

SAYI/ISSUE 41
KASIM/NOVEMBER 2022

EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Editor-in-Chief and Editor

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Editor

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Editor

Editorial Board Members

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Namık Kemal University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Subjects: Engineering
Institution: Istanbul Technical University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences
and Engineering
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine
and Health Sciences, Department of Environmental and
Occupational Health

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Subjects: Environmental Sciences and
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil
Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED
Subjects: Meat Technology
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. Osman TAYLAN
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine
Learning, Quality Management, Artificial
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. İskender AKKURT
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.

INDEX  COPERNICUS
I N T E R N A T I O N A L



<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

e-ISSN 2148-2683

Crataegus Species in Isparta Urban Forest

Fatma Merve NACAĞCI

Sayfa: 1 - 5

Matematiksel ve İşitsel Görevlere Dayalı Bilişsel Yorgunluğun EEG Sinyallerinin Gama Bandından Tespiti

Sevde Gül KORKMAZ, Onur Erdem KORKMAZ, Önder AYDEMİR

Sayfa: 6 - 15

Güvenlik Kameralarında Otomatik Silah ve Bıçak Tespit Sistemi: Karşılaştırmalı YOLO Modelleri

Mehmet Tefik AĞDAŞ, Sevinç GÜLSEÇEN

Sayfa: 16 - 22

Effect of Magnetohydrodynamic Second Order Slip Flow Boundary Condition Coefficients on Flow in Parallel Plates

Hatice ŞİMŞEK

Sayfa: 23 - 30

Digraph groups corresponding to digraphs with one more vertex than arcs

Mehmet Sefa CİHAN

Sayfa: 31 - 35

Endüstri 4.0'ın Uygulanmasında Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Teşviği Alan Firmaların Durum Değerlendirilmesi

Damla ÇEVİK AKA

Sayfa: 36 - 47

Effect of Al₂O₃ Particles on Mechanical Properties of Vinylester Composite Material

Yalçın BOZTOPRAK

Sayfa: 48 - 53

Mercimekte AG ve AC Tekrarları ile Zenginleştirilmiş Kütüphanelerin TG ve TC Tekrarları ile Taranarak Yeni SSR Markörlerin Geliştirilmesi

Şehriban DEMİR, Melike BAKIR

Sayfa: 54 - 58

Enhanced Proliferation of Human Mesenchymal Stem Cells by Self-Assembled Peptide Hydrogel Modified with Heparin Mimetic Peptide

Gülşah SUNAL, Günnur ONAK PULAT, Ozan KARAMAN

Sayfa: 59 - 66

Tekirdağ İli Çorlu İlçesinde Toplu Taşıma Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Üzerine Bir Araştırma

Erdal KILIÇ, Eray ÖNLER

Sayfa: 67 - 72

Bilişsel Radyo ile Etkin Taşıtsal Aglarda En İyiye Yakın Veri Hacmi Edimi

Omer Melih GUL

Sayfa: 73 - 78

Alıç (Crataegus Orientalis subsp) Çekirdeğinin Bazı Karakteristik Özellikleri ve Çekirdek Yağının Yağ Asidi Bileşen Karakterizasyonu

Fatma Sezer ÖZTÜRK, Yunus ÖNAL, İncilay GÖKBULUT

Sayfa: 79 - 84

Nükleer Tıp Öğrencilerinin Radyasyon Okur-Yazarlığının Değerlendirilmesi

Mucize SARIHAN

Sayfa: 85 - 91

Carbazole Based (D-π-A) Sensitizer: Synthesis, Characterization and its DSSC Application

Merve YANDIMOĞLU, Kamuran GÖRGÜN

Sayfa: 92 - 99

Raf Atama Yönetimi için Tamsayı Programlama Destekli Meta-Sezgisel Algoritmalar
Beray BAYAZIT, Gülnihal UÇARKUŞ, Burcu ÇAĞLAR GENÇOSMAN, Mehmet A. BEĞEN

Sayfa: 100 - 117

Performance of History-based Water-Filling Algorithm for Energy-Efficient Data Transmission over Different Fading Channels

Omer Melih GUL

Sayfa: 118 - 125

Analysis of Aflatoxin Types in Red Pepper Flakes Samples by HPLC

Teslima DAŞBAŞI

Sayfa: 126 - 131

Tersanelerdeki İş Kazası Nedenlerinin Önem Düzeylerine Göre Belirlenmesi

Murat YORULMAZ, Mehmet Arif ÖZTÜRK

Sayfa: 132 - 143

Efficacy of Phosphine Fumigation under Cold Temperature against *Frankliniella occidentalis* Perg. (Thysanoptera: Thripidae) on Carnation

Sait ERTÜRK, Mustafa ALKAN

Sayfa: 144 - 149

A Study on Circassian Exile Memorial Park in Göksun-Turkiye

Candan ŞAHİN, Esra BAYAZIT

Sayfa: 150 - 155

Learning Optimized Patterns of Software Vulnerabilities with the Clock-Work Memory Mechanism

Canan BATUR ŞAHİN

Sayfa: 156 - 165

Öğretmenlerin Uzaktan Eğitim Algısı

Selçuk ARABACI, Faruk KARDAŞ

Sayfa: 166 - 174

Artificial Intelligence-based Cerebrovascular Disease Detection on Brain Computed Tomography Images

Ali Fatih KARATAŞ, Vakkas DOÇAN, Volkan KILIÇ

Sayfa: 175 - 182

Detection of Defects in Printed Circuit Boards with Machine Learning and Deep Learning Algorithms

Volkan KAYA, İsmail AKGÜL

Sayfa: 183 - 186

Bitlis İli Merkez İlçesindeki Ekmek Fırınlarının Hijyenik Durumu ve Yönetmeliğe Uygunluğu

Seda OÇUR, Mehmet Sabit GÜLTEKİN

Sayfa: 187 - 201

Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Geçitli Tekrarlayan Birim Modeli Kullanılarak Nehir Akım Tahmini: Ceyhan Havzası Örneği

Yunus ÖZTÜRK, Hüseyin Çağan KILINÇ, Ahmet POLAT

Sayfa: 202 - 210

Examining Fraudulent Financial Statements of Turkish Small and Medium Enterprises (SMEs) from Different Sectors

Ozlem SENVAR, Serhan HAMAL

Sayfa: 211 - 220

ST-PRA+FMEA Hybrid Risk Analysis Application for Catastrophic Events at Hospitals

Hatice Semrin TİMLİOÇLU İPER, Mucize SARIHAN, Efe Serkan BOZ, Onur YARAR, Halil SOYAL

Sayfa: 221 - 228

Forecasting of Occupancy Rate of Dams in İstanbul

Mehmet Eren NALİCİ, Ayhan AKBAŞ

Sayfa: 229 - 239

- Radar ve Daha Geniş Frekans Uygulamaları için Zeolit: Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği*
Ethem İlhan ŞAHİN, Mehriban EMEK
Sayfa: 240 - 245
- Tuzluluk Stresinin Buğdayın Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri*
Elif BAYAT, Hasan KOŞUNKARTAY, Selçuk KODAZ
Sayfa: 246 - 251
- Fotovoltaik Panellerde Farklı Tasarımların Verime Etkisinin Değerlendirilmesi*
İrfan TUNÇKAŞIK, Ercan KÖSE
Sayfa: 252 - 257
- Dalgacık Dönüşümü Esaslı Yöntem Kullanılarak İki ve Üç Boyutlu Paradigmaların Olay İlişkili Potansiyeller Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*
Onur Erdem KORKMAZ
Sayfa: 258 - 268
- The effect of mobile learning in anatomy education on learning skills and motivation of students: systematic review*
Esin ERBEK, Güneş BOLATLI
Sayfa: 269 - 284
- Adaptation of Some Alternative and Winter Barley Varieties to Erzurum Dry Agricultural Conditions*
Selçuk KODAZ, Kamil HALİLOĞLU, Ali ÖZTÜRK
Sayfa: 285 - 294
- Determination of Worldwide Country Clusters by Selecting the Best Machine Learning Algorithm via MULTIMOORA for Covid-19 Pandemic*
Sevgi ABDALLA, Özlem ALPU
Sayfa: 295 - 306
- Derin Öğrenme Yaklaşımlarıyla Çevresel İzlemeye Yönelik Çok-Sınıflı Sınıflandırma*
Şaziye Özge ATİK
Sayfa: 307 - 314
- Yenilikçi Toplu Ulaştırma ve Bu Bağlamda Sıklık Hizmet Parametresinin İncelenmesi*
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Durmuş AKKAYA
Sayfa: 315 - 323
- Sensörsüz Seri Elastik Tekniği ile Bir Kablo Sürümlü Düzlemsel Mekanizmanın Kontrolü*
İrfan KUNDUZ, Atakan DURMAZ, Özlem ALBAYRAK, Tilbe ALP, Perin ÜNAL, Mert ANKARALI
Sayfa: 324 - 330
- Laktasyonun İlk Üç Ayında Annelerin Süt Vermelerinin, Beslenme ve Fiziksel Aktivitelerinin Beden Kütle İndeksi Üzerine Etkileri*
Merve KAHRAMAN, Sabiha Zeynep Aydenk KÖSEOĞLU
Sayfa: 331 - 335
- Effects of Dietary Cold-Pressed Seed Oils on Growth, Coloration and Blood Parameters in Goldfish*
Halime PEHLİVANOĞLU, Mehmet YARDIMCI, Çetin YAĞCILAR
Sayfa: 336 - 342
- Nöral Doku Mühendisliği Uygulamalarına Yönelik Mikro-oluklu İpek Fibroin/Polietilen Oksit Film İskelelerin Geliştirilmesi*
İlyas ÖZÇİÇEK
Sayfa: 343 - 348
- Dengesiz MI-Tabanlı Nıds Veri Setlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması*
Emine CENGİZ, Güneş HARMAN
Sayfa: 349 - 356
- Fibonacci 3-Parameter Generalized Quaternions*
Göksal BİLGİCİ
Sayfa: 357 - 361

IÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Kültür Varlıklarının Sanal Ortamda Yeniden İşlevlendirilmesi: Yerebatan Sarnıcı Örneği
Ersan ERBAŞ, Didem TUNCEL

Sayfa: 362 - 372

Forced Frequency Response Analysis of a Gudgeon Pin

Ekrem GÜLSEVİNÇLER

Sayfa: 373 - 383

Türkiye'ye yönelik dış turizm talebi açısından ülkelerin kümeleme analizi ile sınıflandırılması

Ece AYDOĞDU ULUKAN, Serhat PEKER

Sayfa: 384 - 392

Liquid Sensor Based on Interaction between Decoupled Waveguides and a Cavity with Transverse Offset in a Phononic Crystal

Nurettin KÖRÖZLÜ, Mehmet GÜNAY, Ahmet BİÇER, Ahmet ÇİÇEK

Sayfa: 393 - 399

Optimal PID Controller Design Based on Proportional Gain for Quarter Vehicle Model

Abdullah TURAN, Hüseyin AGGÜMÜŞ

Sayfa: 400 - 404

A Scoring-Based Risk Assessment Method Proposal for Methane Explosions in Underground Coal Mines

Ulaş ÇINAR

Sayfa: 405 - 409

Biyokömür İnkübasyonunun Buğday Verimi ve Bazı Verim Parametrelerine Etkisi

Aykut ŞENER, İbrahim ERDAL

Sayfa: 410 - 415

Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi

Durmuş AKKAYA, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ

Sayfa: 416 - 422

Türkiye'de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında İnşaat Sektörü Analizi

Hakan CEYLAN, Burçak YAVUZ

Sayfa: 423 - 428

Tesis Yeri ve Kapasite Seviyesi Seçimi Problemi ve Pandemi Döneminde Bir Tedarik Zinciri Tasarımı

Vakasına Uygulaması

Batuhan KOCAOĞLU, Emre YAVUZ

Sayfa: 429 - 435

Duchenne Musküler Distrofi'si olan Çocuklarda Güncel Tıbbi Beslenme Tedavisi ve Önemi

Büşra YILMAZ EKİCİ, Sabiha Zeynep Aydenk KÖSEOĞLU

Sayfa: 436 - 441

Twitter Satış Sürecinin Duygu Analizi ile İncelenmesi: Dijital Pazarlama Açısından Bir Değerlendirme

Volkan POLAT

Sayfa: 442 - 448

Türkiye'de Buğdayın Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Değerlendirilmesi

Alptekin Mert YILMAZ, Oktay TOMAR

Sayfa: 449 - 456

Social Entrepreneurial Projects Evaluation in Crisis Areas Through Multi-Criteria Decision Making

Jamil HALLAK, Pınar ÖZKURT, Sidar AĞDUK

Sayfa: 457 - 470

Bir Mikrokanaldaki Kayma Akışında Basınç Kaybı Analizi

Erhan ÖZTÜRK, Ramazan ÇOŞTU, Kenan KAYA

Sayfa: 471 - 484

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Mor Pigmentli Meyve ve Sebzelerin Kansere İlişkisinin İncelenmesi

Rahel ÖNEÇ AYDIN, Sabiha Zeynep Aydenk KÖSEOĞLU

Sayfa: 485 - 491

Çin Dama Düzleminde Fermat Noktası

Ziya AKÇA, Barış TÖZEN

Sayfa: 492 - 498

Doğrudan Yabancı Yatırımların, Finansal Akımların ve Ticari Dışa Açıklığın Çevre Kalitesi Üzerindeki Etkisi: E-7 Ülkelerinden Nedensellik Kanıtları

Mustafa ZUHAL, Burak SEYHAN, Mehmet AKYOL

Sayfa: 499 - 507

Systemic View of Urban Public Space, Proposing a "Human-First" Model For Livable Interspaces/Interfaces.

K. Pınar KIRKIK AYDEMİR, Selma ÇELİKİYAY

Sayfa: 508 - 516



Crataegus Species in Isparta Urban Forest

Fatma Merve Nacakci^{1*}

^{1*} Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Isparta, Turkey (ORCID: [0000-0002-6908-2046](https://orcid.org/0000-0002-6908-2046)), mervenacakci@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1107587)

ATIF/REFERENCE: Nacakci, F. M. (2022). *Crataegus* Species in Isparta Urban Forest. *European Journal of Science and Technology*, (41), 1-5.

Abstract

In this study, the growth and fruit characteristics of two species of maquis, one of the Mediterranean maquis, were determined. The average individual height of *Crataegus orientalis* Pall. ex M. Bieb. subsp. *orientalis* individuals was 2.99 m, the average crown diameter was 2.13 m, and the average number of branches was 2, the average individual height of the *Crataegus monogyna* Jacq. var. *monogyna* individuals was 3.17 m, the average crown diameter was 2.35 m, and the average number of branches was 2.8. While the number of fruits in *C. orientalis* species was 295.82 and fruit weight was 1.72-3.37 g, the number of fruits in *C. monogyna* species was 4274.5 and fruit weight was 0.33-0.90 g. As a result of the analysis of variance applied to compare the growth characteristics of the study according to the aspects, it was determined that there was no statistically significant ($p>0.05$) difference between the aspect groups in terms of height, crown diameter, and the number of branches in *C. orientalis*. In *C. monogyna*, while there was no statistically significant difference between the aspect groups in terms of height and crown diameter, there was a statistically significant difference in the number of branches. As a result of the analysis of variance applied to compare the aspects in terms of fruit characteristics, it was observed that there was a statistically significant difference ($p<0.05$) between the aspect groups in terms of fruit number and fruit weight in *C. orientalis*. At the same time, there was no significant difference in *C. monogyna*. According to the correlation analysis performed, it was determined that the relationship between the number of branches and the height character was insignificant for both species, and all other characters were statistically positively correlated with each other at the 0.01 significance level. Hawthorn species have an ethnobotanical feature used for various purposes such as food, medicinal, ornamental, etc. Local people also benefit from these features in the region where the study area is located. They use their fruits to make jam, marmalade, and vinegar, consume their leaves and flowers as tea, and use them for decorating their homes. It is thought that by studying the growth and fruit characteristics of hawthorn species, the necessary data will be provided for easy cultivation of this species, and a base for further studies will be formed by learning about their local uses.

Keywords: Crataegus, Fruit, Growth, Hawthorn, Isparta.

Isparta Kent Ormanında Bulunan *Crataegus* Türleri

Öz

Bu çalışmada, Akdeniz maki elemanlarından biri olan alıcın iki türüne ait büyüme ve meyve özellikleri belirlenmiştir. *Crataegus orientalis* Pall. ex M.Bieb. subsp. *orientalis* bireylerine ait ortalama birey boyu 2.99 m, ortalama tepe çapı 2.13 m ve ortalama dal sayısı 2 adet olarak, *Crataegus monogyna* Jacq. var. *monogyna* bireylerine ait ortalama birey boyu 3.17 m, ortalama tepe çapı 2.35 m ve ortalama dal sayısı 2.8 adet bulunmuştur. *C. orientalis* türünde meyve sayısı 295.82 adet ve meyve ağırlığı 1.72-3.37 g bulunurken, *C. monogyna* türünde meyve sayısı 4274.5 adet ve meyve ağırlığı 0.33- 0.90 g bulunmuştur. Bakılara göre çalışmaya konu büyüme özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla uygulanan varyans analizi sonucunda *C. orientalis* türünde boy, tepe çapı ve dal sayısı bakımından bakı grupları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p>0.05$) fark olmadığı belirlenmiştir. *C. monogyna* türünde ise boy ve tepe çapı bakımından bakı grupları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı fark bulunmazken dal sayısı bakımından istatistiksel bakımdan anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Bakıların meyve özellikleri bakımından karşılaştırılması amacıyla uygulanan varyans analizi sonucunda *C. orientalis* türünde meyve sayısı ve meyve ağırlığı bakımından bakı grupları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı fark olduğu ($p<0.05$) ortaya çıkarken, *C. monogyna* türünde ise anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Gerçekleştirilen

* Sorumlu Yazar: mervenacakci@isparta.edu.tr

korelasyon analizine göre, her iki tür için de dal sayısı ve boy karakteri arasındaki ilişkinin anlamsız olduğu, diğer tüm karakterlerin istatistiksel açıdan 0.01 önem düzeyinde birbirleri ile pozitif yönde ilişkili oldukları belirlenmiştir. Alıç türleri, gıda, tıbbi, süs vb. amaçlarla kullanımı bulunan etnobotaniksel özelliğe sahiptir. Çalışma alanının bulunduğu yörede de yöre halkı bu özelliklerinden faydalanmaktadır. Meyvelerini reçel, marmelat, sirke yapımında kullanmakta, yaprak ve çiçeklerini çay olarak tüketmekte ve evlerinde dekorasyon amaçlı kullanılmaktadırlar. Alıç türlerinin büyüme ve meyve özelliklerinin çalışılması ile bu türün kültürünün kolay yapılması için gerekli olan verilerin sağlanacağı, yöresel kullanımlarının öğrenilmesi ile daha sonraki yapılacak çalışmalar için altlık oluşturulacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alıç, Büyüme, Crataegus, Meyve, Isparta.

1. Introduction

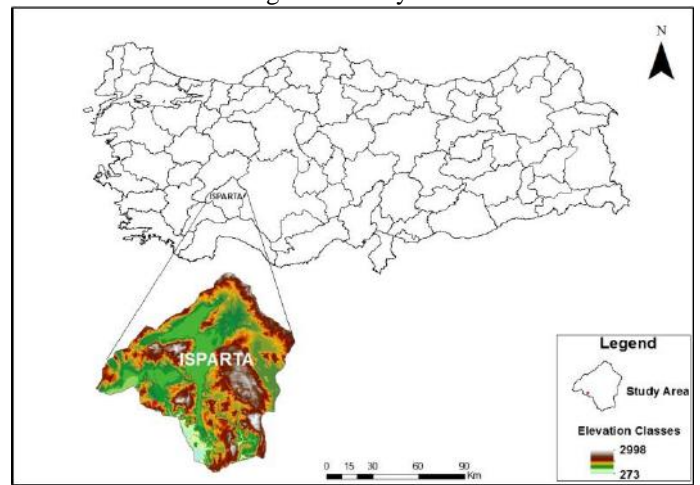
People have tried to treat many diseases with herbs from the past to the present. Because the drugs produced with the developing medicine and technology have many side effects and benefits, some people try to treat their diseases primarily herbal. Some people also refer to plants as a supplementary source of supportive treatment in addition to the drugs they use. These orientations of people show that plants have a significant place today and in the past (Bulut, 2006). The Hawthorn plant is also an important species with ethnobotanical features that have been used for various purposes from past to present. However, this species is often undervalued. This species, which is not planted and planted much in our country, is mainly grafted and used as rootstock for fruits such as apples and pears (Gökbunar, 2007). Hawthorn fruits are one of the essential plants in the food industry because they contain minerals such as calcium, potassium, and magnesium and protein and oil values (Özcan et al., 2005). Besides being consumed as food, hawthorn fruits are also used for medicinal purposes (Venskutonis, 2018; Wang et al., 2015). Hawthorn fruits have antioxidant, antimicrobial, and antibacterial properties, and there are many studies on this subject (Güven et al., 2006; Ebrahimzadeh and Bahramian, 2009; Bahorun et al., 2003; Kirakosyan et al., 2003). It is also known to treat diseases such as anti-aging, Alzheimer's, diabetes, cancer, hyperglycemia, hypertension, and anxiety (Salehi et al., 2009; Nazhand et al., 2020). In addition, hawthorn grows in many regions of the world, such as North America, Europe, North Africa, and Australia, due to its high plasticity. It is known for its resistance to harsh climates and is one of the species we need and will need in the future regarding climate change due to global warming. Due to its widespread, it is possible to cultivate it quickly (Hobbs et al., 1990). Hawthorn is under the *Crataegus* genus of the *Rosaceae* family, and it is known that there are a total of 1060 species in the world. In our country, 21 of these species grow naturally, and only 2 of them are planted or planted (Dönmez, 2003). The most common hawthorn species in our country is *C. monogyna*, *C. oxyacantha*, *C. orientalis*, and *C. aronia* species are also common (Gökbunar, 2007). The growth and fruit characteristics of two of the most common hawthorn species in Turkey (*C. monogyna* and *C. orientalis*) were discussed in this study. In addition, it is aimed to raise awareness about the importance of these species by mentioning their ethnobotanical characteristics.

2. Materials and Methods

Isparta, the province where the study area is located 37° 45' 53" North, 30° 33' 24" East in the north of the Mediterranean Region in the Lakes region (Figure 1). Afyon in the northwest of Isparta, Burdur in the southwest, Antalya in the south, and Konya in the southeast. Its altitude is on average 1050 meters. Since Isparta is located in the transition zone between the Mediterranean and continental climates, the characteristics of both climates are seen

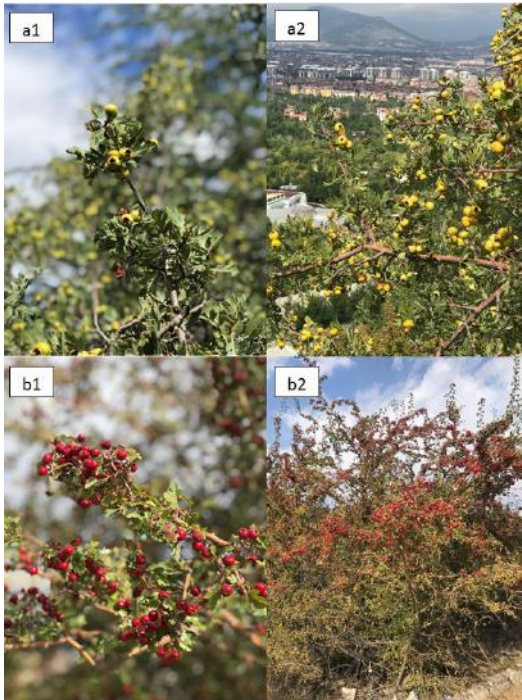
in the region (Anonymous, 2021). The coldest months of the year are January-February, and the hottest months are July-August. The annual average precipitation in Isparta province is 569.4 mm, and the annual average temperature is 12.3°C (MGM, 2021). In the province of Isparta, there are forests consisting of trees such as red pine, black pine, cedar and, juniper, oak, together with the maquis elements unique to the Mediterranean.

Figure 1. Study area



The study area is located in the city center of Isparta, within the boundaries of the urban forest. In the study area, *Crataegus orientalis* Pall. ex M. Bieb. subsp. *orientalis* and *Crataegus monogyna* Jacq. *monogyna* species were detected (Figure 2). *C. orientalis* Pall. ex M. Bieb. subsp. *orientalis* are shrubs or shrubs that can grow up to 3-5 m. The leaf margins are coarsely toothed; the fruits are spherical yellow and reddish-orange. Flowering occurs in May-June, while fruits ripen in September-October. *C. monogyna* Jacq. var. *monogyna* are thorny shrubs or trees that can grow up to 10 m tall. Its leaves are ovoid, divided into 3-5 lobes, and its fruits are spherical red. Flowering occurs in April-May, while fruits ripen in September-October. Within the scope of this study, tree height, crown diameter, the number of branches, fruit number, and fruit weight characteristics of individuals of these two *Crataegus* species were determined. The local view was taken as the basis for the view of individuals. As for the number of branches, the number of branches emerging from the main trunk is taken as a basis. The measured characters were first evaluated according to the aspect, and then the relations of all the characters with each other were examined. Analysis of variance was used to evaluate the characters according to the aspect, and correlation analysis was used to determine the relationship between the characters.

Figure 2. Individuals in the study area (a1-a2: *C. orientalis*, b1-b2: *C. monogyna*)



3. Results and Discussion

3.1. Growth characteristics of *C. orientalis* subsp. *orientalis* growth characteristics of individuals

It was observed that the measured height, crown diameter, and the number of branches were highest in the south and lowest in the individuals in the west (Table 1). The average individual height was 2.99 m, the average crown diameter was 2.13 m, and the average number of branches was 2. As a result of the analysis of variance applied to compare the growth characteristics of the study according to the aspects, it was determined that there was no statistically significant ($p>0.05$) difference between the aspect groups in terms of height, crown diameter, and the number of branches.

3.2. Fruit characteristics of *C. orientalis* subsp. *orientalis* individuals

In terms of fruit number and fruit weight characteristics, it was determined that individuals in the south aspect were the best (Table 2). It was determined that the lowest fruit number was in the individuals in the west and the lowest fruit weight in the individuals in the north. As a result of the analysis of variance applied to compare the aspects in terms of the characteristics that

are the subject of the study, it was found that there was a statistically significant ($p<0.05$) difference between the aspect groups in terms of fruit number and fruit weight.

3.3. Growth characteristics of *C. monogyna* subsp. *monogyna* individuals

The measured height values were found in the highest individuals in the north and the lowest in the individuals in the east (Table 3). In terms of crown diameter, it was determined that the individuals with the largest diameter in the west, the individuals in the east had the least. Regarding the number of branches, it was determined that the individuals with the highest number of branches were found in the south, while the individuals with the least number of branches were found in the west. The average individual height was 3.17 m, the average crown diameter was 2.35 m, and an average number of branches was 2.8. As a result of the analysis of variance applied to compare the growth characteristics of the study according to the aspects, it was revealed that there was no statistically significant ($p>0.05$) difference between the looks in terms of height and crown diameter. However, it was determined that there was a statistically significant ($p<0.05$) difference between the view groups in terms of the number of branches.

3.4. Fruit characteristics of *C. monogyna* subsp. *monogyna* individuals

Regarding fruit number and fruit weight characteristics, the highest values were observed in individuals from the south aspect, while the lowest values were observed in individuals from the west (Table 4). As a result of the analysis of variance applied to compare the aspects in terms of the characteristics of the study, it was determined that there was no statistically significant ($p>0.05$) difference between the aspect groups in terms of fruit number and fruit weight.

3.5. Relationships between characters

According to the correlation analysis performed on *C. orientalis* individuals, it was determined that the relationship between the number of branches and the height character was insignificant. All other characters were statistically positively correlated at the 0.01 significance level (Table 5). According to the correlation analysis performed in *C. monogyna* individuals, it was determined that the relationship between the number of branches and the height character was insignificant. All other characters were statistically positively correlated at the 0.01 significance level (Table 6).

Table 1. Height (H), crown diameter (CD) and number of branches (BN) values according to aspects (*C. orientalis*)

Aspect	H				CD				BN			
	E	W	N	S	E	W	N	S	E	W	N	S
Average	3.01	2.49	3.03	3.44	2.06	1.61	2.30	2.54	1.80	1.80	2.00	2.40
Min.	2.60	1.50	2.20	2.05	0.90	0.60	0.90	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00
Max.	3.60	6.00	4.20	6.40	4.00	5.00	3.50	3.80	3.00	3.00	3.00	5.00
Std. Dev.	0.32	1.33	0.54	1.24	1.12	1.36	0.94	1.00	0.79	0.92	0.82	1.17

Table 2. Number of fruits (FN) and fruit weight (FW) values by aspect (*C. orientalis*)

Aspect	FN				FW			
	E	W	N	S	E	W	N	S
Average	263.0	222.9	216.9	480.5	530.6	535.46	492.82	1244.72
Min.	105.0	67.0	75.0	90.0	180.31	167.03	145.67	182.64
Max.	595.0	695.0	435.0	1125.0	1092.39	1346.95	964.9	2769.18
Std. Dev.	145.59	194.07	110.99	342.95	306.05	402.11	263.0	916.02

Table 3. Height (H), crown diameter (CD) and number of branches (BN) values according to aspects (*C. monogyna*)

Aspect	H				CD				BN			
	E	W	N	S	E	W	N	S	E	W	N	S
Average	2.88	3.07	3.69	3.03	2.26	2.42	2.42	2.31	2.60	1.90	2.50	4.20
Min.	2.40	1.95	1.80	1.80	1.10	1.70	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	2.00
Max.	3.75	4.20	6.50	5.20	4.50	3.10	3.70	4.20	6.00	3.00	4.00	7.00
Std. Dev.	0.51	0.81	1.38	1.02	1.02	0.44	0.87	0.97	1.84	0.74	0.85	1.75

Table 4. Number of fruits (FN) and fruit weight (FW) values by aspect (*C. monogyna*)

Aspect	FN				FW			
	E	W	N	S	E	W	N	S
Average	4628.0	3269.0	4147.0	5054.0	2133.37	1967.13	2485.33	2595.21
Min.	1950.0	210.0	670.0	1750.0	1136.89	1020.60	545.57	972.86
Max.	11120.0	5120.0	8100.0	10760.0	3656.99	3145.14	5822.83	7581.00
Std. Dev.	2525.02	977.03	2260.48	3452.92	796.24	714.99	1552.35	2073.76

Table 5. Relationships between growth characteristics of *C. orientalis* Pall. ex M. Bieb. subsp. *orientalis* individuals and fruit yield

<i>r</i>	H	CD	BN	FN
CD	**	-		
BN	ns	**	-	
FN	**	**	**	-
FW	**	**	**	**

* p <0.05, ** p <0.01

Table 6. Relationships between growth characteristics and fruit yield of *C. monogyna* Jacq. var. *monogyna* individuals

<i>r</i>	H	CD	BN	FN
CD	**	-		
BN	ns	**	-	
FN	**	**	**	-
FW	**	**	**	**

In a study performed on red hawthorn, the average height, crown diameter, and the number of branches in individuals were found to be 2.34 m, 1.79 m, and 2.7, respectively (Baloğlu and Bilir, 2020b). In this study, the average height, crown diameter, and number of branches were found to be 3.17 m, 2.35 m, and 2.8 in individuals, respectively, and showed similar results. Özderin (2014), in a study on *Crataegus* taxa, determined that flower and fruit yields were higher in the south aspect. In this study, flower and fruit yields of both species were found to be high in the south. A study conducted on *Rosa canina* L. species determined that there was a statistically significant and positive relationship between growth characteristics and fruit characteristics (Baloğlu and Bilir, 2020a). In this study, the relationships between growth and fruit characteristics in both species were positive and statistically significant. Bektas et al. (2017), in a study they carried out, determined that the number of branches emerging from the trunk of hawthorn genotypes varied between 1-3. This study determined that the average number of branches in *C. orientalis* species varied between 1-3, and in *C. monogyna* species 1-7. The fruit weight of *C. azarolus* L. species was between 0.81-2.14 g (Karadeniz and Kalkışım,

1996), fruit weight of hawthorn species was between 0.58-3.48 g in a study carried out in Erzincan (Gündoğdu et al., 2014). In the study, fruit weight in hawthorn genotypes was between 1.54-4.72 g (Balta et al., 2015), fruit weight was between 0.98-6.76 g in natural hawthorn populations in a study conducted in Malatya (Bektaş et al., 2017), in another study conducted in Malatya. It was determined that the fruit weight of hawthorn species varied between 0.76-4.27 g (Ercişli et al., 2015). Similar results were obtained in this study, and the fruit weight was found to be 1.72-3.37 g in *C. orientalis* species and 0.33-0.90 g in *C. monogyna* species.

4. Conclusions and Recommendations

As a result of the study, outputs on growth and fruit characteristics of two naturally grown *Crataegus* species were obtained. According to the result, it can be said that it is an ideal view for the cultivation of southern persimmon for both species in this and similar regions. If it is to be planted or planted, it is thought that choosing the southern view will be more advantageous in terms of both growth characteristics and fruit

yield. It was concluded that growth and fruit characteristics were positively related in both species. This shows that fruit yield estimation can be made by looking at the growth characteristics. In addition, knowing the growth and fruit characteristics and the interaction between growth and fruit yield is essential for cultivating this species. This study was carried out in a limited area and with a limited number of individuals. In the case of working in larger areas and with more individuals, more comprehensive results can be obtained. The accuracy of recommendations to be made can be made more precise. It is thought that this and similar studies to be carried out both in these two species and in other *Crataegus* species will reinforce the importance of the *Crataegus* species and form a basis for studies to investigate the use of *Crataegus* species for food and medicinal purposes. With its flora and fauna, Isparta city forest has particular importance to the people of Isparta. In addition to hawthorn species, the urban forest is also home to many plant species with ethnobotanical characteristics, such as rosehip, wild plum, wild apple, and wild pear. Hawthorn species are also found in large numbers in the area. According to the results of our study, hawthorn species in the area can be collected and consumed as food. According to the observations made in the area, it has been seen that the local people who know the hawthorn plant make jam, marmalade, and vinegar from the hawthorn individuals here and collect them for decorative purposes in their homes. They also stated that they boiled the leaves and drank them for upper respiratory tract ailments and cardiovascular health and boiled the flower to reduce blood pressure. However, as a result of the interviews, it has been seen that there are as many people who do not know as much as those who know this plant. The use of this plant can be increased by increasing the studies on hawthorn in these and similar regions and introducing it to the local people. In addition, by providing state incentives to the public to cultivate this plant, product supply can be provided for the pharmaceutical industry.

References

Anonim, 2021. Isparta Çevre Durum Raporu. Isparta Valiliği İl Çevre Müdürlüğü, Isparta.

Bahorun, T., Aumjaud, E., Ramphul, H., Ryca, M., Luximon-Ramma, A., Trotin, F., & Aruoma, O. I. (2003). Phenolic constituents and antioxidant capacities of *Crataegus monogyna* (Hawthorn) callus extracts. *Food/Nahrung*, 47(3), 191-198.

Baloğlu T. & Bilir N. (2020a). Kuşburnu'nda (*Rosa canina* L.) Bazı Meyve ve Büyüme Özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11, 124-129.

Baloğlu, T., & Bilir, N., 2020b. Kırmızı Alıçta (*Crataegus Monogyna*) Meyve Verimi İle Bazı Büyüme Özellikleri Etkileşimi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(2), 66-72.

Balta MF, Karakaya O ve Kaptan Ekici G (2015). Çorum'da yetişen alıçların (*Crataegus* spp.) fiziksel özellikleri. *Ordu Univ. Bil. Tek. Derg.* 5:35-41.

Bektaş, M., Bükücü, Ş. B., Özcan, A., & Sütyemez, M. (2017). Akçadağ ve Hekimhan İlçelerinde Yetişen Alıç (*Crataegus* spp.) Genotiplerinin Bitki ve Pomolojik Özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4), 484-490.

Bulut Y., 2006, Manavgat (Antalya) Yöresinin Faydalı Bitkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta s. 107.

Dönmez, A. A., 2003. The Genus *Crataegus* L. (*Rosaceae*) with special reference to hybridization and biodiversity in Turkey, *Turkish Journal of Botany*, 27: 28: 29-37, (2004).

Ebrahimzadeh, M. A., & Bahramian, F. (2009). Antioxidant Activity of *Crataegus pentagyna* Subsp. *elburensis* Fruits Extracts. *Pakistan journal of biological sciences*, 12(5), 413-419.

Ercişli S, Yanar M, Şengül M, Yıldız H, Topdas EF, Taşkın T, Zengin Y ve Yılmaz KU (2015). Physicochemical and biological activity of hawthorn (*Crataegus* spp. L.) fruits in Turkey. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 14: 83-93.

Gökbunar, L. 2007. Alıç (*Crataegus* sp.)'ın in vitro mikroçoğaltımı, Kahramanmaraş Sütcü Imam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

Gündoğdu M, Özrenk K, Ercişli Kan T, Kodad O and Hegedus A (2014). Organic acids, sugars, vitamin c and pomological characteristics of eleven hawthorn species (*Crataegus* spp.) from Turkey. *Biological Research* 47: 1-5.

Güven, K., Yücel, E., & Cetintaş, F. (2006). Antimicrobial activities of fruits of *Crataegus*. and *Pyrus*. Species. *Pharmaceutical biology*, 44(2), 79-83.

Hobbs, C., Foster, S. 1990. Hawthorn. *Herbal Gam* 22, 30- 31.

Karadeniz T ve Kalkışım Ö (1996). Edremit ve Gevaş ilçelerinde yetişen alıç (*Crataegus azarolus* L.) tiplerinin meyve özellikleri ve ümitvar tiplerin seçimi. *Yüzüncüyıl Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 6: 27-33.

Kirakosyan, A., Seymour, E., Kaufman, P. B., Warber, S., Bolling, S., & Chang, S. C. (2003). Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (Hawthorn) subjected to drought and cold stress. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(14), 3973-3976.

MGM, 2021. Date Of Access:22.02.2022 <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISPARTA>

Nazhand, A., Lucarini, M., Durazzo, A., Zaccardelli, M., Cristarella, S., Souto, S. B., ... & Santini, A. (2020). Hawthorn (*Crataegus* spp.): An updated overview on its beneficial properties. *Forests*, 11(5), 564.

Özcan, M., Haciseferogulları, H., Marakoglu, T., ve Arslan, D. 2005. Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering* 69, 409-415.

Özderin S. (2014). *Batı Anadolu'da Doğal Yayılış Gösteren Bazı Alıç (Crataegus L. spp.) Taksonlarının Botanik ve Kimyasal Özellikleri*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

Salehi, S.; Long, S.R.; Proteau, P.J.; Filtz, T.M. Hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) extract exhibits atropine-sensitive activity in a cultured cardiomyocyte assay. *J. Nat. Med.* 2009, 63, 1–8.

Venskutonis, P., 2018. Phytochemical composition and bioactivities of hawthorn (*Crataegus* spp.): Review of recent research advances. *J. Food Bioact.*, 4.

Wang, C. *Crataegus pinnatifida* Bge. (Shanzha, Hawthorn Fruit). In *Dietary Chinese Herbs*, 1st ed.; Liu, Y., Wang, Z., Zhang, J., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 355–361.



Matematiksel ve İşitsel Görevlere Dayalı Bilişsel Yorgunluğun EEG Sinyallerinin Gama Bandından Tespiti

Sevde Gül Korkmaz¹, Onur Erdem Korkmaz^{2*}, Önder Aydemir³

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6043-1353), sevdedoner@gmail.com

^{2*} Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6336-6147), onurerdem.korkmaz@atauni.edu.tr

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1177-8518), onderaydemir@ktu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 20 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1168173)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, S. G., Korkmaz, O. E. & Aydemir, Ö. (2022). Matematiksel ve İşitsel Görevlere Dayalı Bilişsel Yorgunluğun EEG Sinyallerinin Gama Bandından Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 6-15.

Öz

Bilişsel yorgunluk, var olan bilişsel performansı devam ettirebilmek için sürekli olmayan bir yetersizlik durumudur. Bilişsel yorgunluk yapılan işte hataların artmasına, çeşitli güvenlik zafiyetlerinin ortaya çıkmasına ve performans azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bilişsel yorgunluğun tespiti bazı meslek grupları için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, geliştirilen yeni hibrit bilişsel görev kullanılarak yorgunluk tespit edilmeye çalışılmıştır. Bilişsel yorgunluğun tespiti amacıyla oluşturulan paradigma kullanılarak toplam 8 katılımcıyla deneyler gerçekleştirilmiş ve EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Kaydedilen EEG sinyalleri kullanılarak, beynin farklı bölgelerinin, farklı frekans bantlarının ve farklı EEG uzunluklarının bilişsel iş yükünün sınıflandırması üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapay sinir ağı algoritmasıyla tüm elektrotların gama frekansına ait bant gücü ve 5 saniye uzunluğundaki EEG parçaları kullanılarak en yüksek %99,49 sınıflandırma doğruluğu ile bilişsel yorgunluk tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel yorgunluk, EEG, Gama bandı, Sınıflandırma, Yapay sinir ağları.

Detection of Cognitive Fatigue Based on Mathematical and Auditory Tasks using Gamma Band of EEG Signals

Abstract

Cognitive fatigue is a discontinuous inability to maintain the existing cognitive performance. Cognitive fatigue causes an increase in errors, the emergence of various security vulnerabilities, and a decrease in performance. In this study, fatigue was tried to be determined by using the developed hybrid cognitive task. Experiments were carried out with a total of 8 participants using the paradigm created for the detection of cognitive fatigue and EEG signals were recorded. Using the recorded EEG signals, the effects of different brain regions, different frequency bands, and different EEG lengths on the classification of cognitive workload were investigated. In addition, band power of EEG signals in situations with resting and cognitive workload were compared graphically. With the artificial neural network algorithm, the highest 99.49% classification accuracy was obtained by using the band power of the gamma frequency of all electrodes and the 5-second EEG segments.

Keywords: Cognitive fatigue, EEG, Gamma band, Classification, Artificial neural network.

* Sorumlu Yazar: onurerdem.korkmaz@atauni.edu.tr

1. Giriş

Yorgunluk, insan fizyolojisi, duygusal, davranışsal ve bilişsel bileşenleri olan çok çeşitli bir konudur. Çok yaygın, çeşitli sebeplere dayanan, kendine has ve çözümlenmesi zor bir olgudur. Yorgunluk genelde fiziksel veya zihinsel çalışmalardan dolayı oluşan genel geçer bir kavram değildir. Daha ziyade kişinin sergilediği performansı karşılayamayan, dinlenmeyle geçmeyen ve gerekçeleri olmayan bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır (Bjørheim ve ark., 2022). Yorgunluk oldukça çeşitli tanımları içinde barındıran bir kavramdır ve her zaman kas sisteminden kaynaklı fizyolojik yorgunluklar olmamaktadır. Günlük hayat performansını etkileyen yorgunluk türlerinden biri de bilişsel yorgunluktur. Bilişsel yorgunluk uzun süreli hareketler sonucu meydana gelen psiko-biyolojik bir durumdur (Salankar ve ark., 2022).

Bilişsel yorgunluk günlük hayatta birçok alanda etkilerini göstermektedir. Fiziksel açıdan geçici bir durum olarak kabul edilse de çok ciddi ve tehlikeli sonuçlara sebebiyet vermektedir (Marotta ve ark., 2022). Literatürdeki çalışmalarda görüldüğü üzere bilişsel yorgunluğun herhangi bir iş yapma durumunda hata yapma oranını arttırdığı, özellikle yetişkinlerde sıklıkla rastlanan nörolojik rahatsızlıkların belirtisi olduğu belirtilmiştir (Chaudhuri ve Behan, 2004). Bunların yanında bilişsel yorgunluğun spor ve egzersiz alanında da performansın önemli bir belirleyicisi olarak kabul edilmiştir (Weinberg ve Gould, 2003).

Her ne kadar literatürde bilişsel yorgunluğun tespit edilmesinde elektrodermal aktivite (Chiossi ve ark., 2022), magnetoensefalografi, elektrokardiyografi ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme gibi tekniklerde kullanılsa da elektroensefalografi (EEG) (Abukhettala ve ark., 2022) kullanım kolaylığı, daha hızlı tepki süresi ve yüksek zamansal çözünürlük sağlaması nedeniyle bilişsel yorgunluğun tespit edilmesinde en sık tercih edilen yöntemdir (Ansari ve ark., 2022). Bilişsel yorgunluğun tespit edilmesinde yapılan araştırmaların biri, Dehais ve arkadaşlarının yapmış olduğu 32 kanallı EEG sisteminin zihinsel yorgunluğu ve zihinsel aşırı yüklenmenin elektrofizyolojik etkilerinin ölçülmesi olmuştur. Gerçek uçuş durumunu canlandıran simülatörle 2 deney yapılmış, bilişsel yorgunluğun tespitinde alfa, teta ve beta bant güçlerinin etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır. SD %76.9 ve zihinsel yorgunluğu ayırt etmede %89.1'e ulaşmışlardır (Dehais ve ark., 2020). Bir başka çalışmada Trejo ve arkadaşları 30 kanal üzerinden aldıkları EEG sinyalleriyle 16 kişiyle deney yapmışlardır. Elde edilen EEG sinyalleriyle Bayes sınıflandırma algoritması kullanılarak 3 durumlu yorgunluk modeli geliştirilmiştir (Trejo ve ark., 2007). Bir başka çalışmada ise Sun ve arkadaşları 26 kişiye 20 dakikalık dikkat testi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan algoritma çapraz doğrulama yoluyla yorgunluk sınıflandırmasında %81.5'lik bir doğruluk göstermiştir (Sun ve ark., 2014). Bir başka çalışmada da Papakostas 19 kadın ve erkekte oluşan deneklere Winconsin Kart Sıralama Testi ile bu testin farklı bir versiyonunu kullanarak 76 oturumluk bir bilişsel deney gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında kaydettiği EEG sinyalleriyle Destek Vektör Makinesi Algoritması kullanılarak

sınıflandırma işlemi yapılmış ve %67'lik bir doğruluk elde edilmiştir (Papakostas ve ark., 2019). Pires ve arkadaşları bilişsel yorgunluk sonrasında frontal kortekste bir aktivite artışı olduğu EEG sinyalleriyle belirlemişlerdir (Pires ve ark., 2018).

Yukarıda özetlenen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere literatürde bilişsel yorgunluğun tespit edilmesi farklı deneysel paradigmalara tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak hem matematiksel hem de işitsel açıdan kişilerin bilişsel olarak yorgunluğunu tespit eden bir çalışma raporlanmamıştır. Her iki yaklaşımın beraber kullanılmasıyla daha etkili hibrit bilişsel iş yükü paradigması elde edilmiştir. Bu çalışmada kişilerin dinlenme durumunda, matematiksel işlem yaptığı ve hem matematiksel işlem hem de işitsel bir görev verildiği esnada kaydedilmiş EEG sinyalleri sınıflandırılarak kişilerin bilişsel yorgunluğu sinyallerin gama band güçleri öznelikleri ve yapay sinir ağları sınıflandırıcısı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca farklı EEG bant güçlerinin bilişsel iş yükü tespitinde nasıl etkisi olduğu araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti Tanıtımı

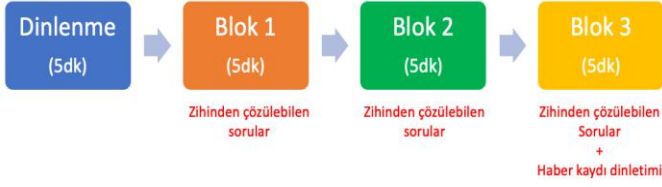
Bu çalışma altı alt adımdan oluşmakta ve bu adımlar blok diyagram ile Şekil 1'de gösterilmektedir. Öncelikle bilişsel iş yükünün tespit edilmesini sağlayacak paradigma bir LED ekranda katılımcıya gösterilmektedir. Katılımcının deney boyunca uyarılara verdiği beyin elektriksel tepkisi kaydedilmektedir. EEG kaydından sonra ön işleme aşamasında, EEG sinyallerinin doğasında yer almayan çok yüksek frekans bileşenleri giderilerek gürültüden temizlenir. Daha sonra EEG verileri dinlenme ve bilişsel iş yükünün olduğu bloklara bölünür. Elde edilen bloklar 0.25 s, 0.5 s, 1 s, 3 s ve 5 s'lik alt bloklara ayrılır. Elde edilen her bir alt veri bloklarından öznelikler çıkarılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Veri setinin elde edilme biçimi aşağıda alt başlıklar altında detaylandırılmıştır.

2.2. Paradigma

Bilişsel iş yükünün tespiti için hazırlanan paradigma Şekil 2'de gösterildiği gibi 4 bloktan oluşmaktadır. İlk blokta katılımcı bilgisayar ekranındaki '+' sembolüne bakarak 5 dk boyunca dinlenmiştir. İkinci blokta katılımcı, bilgisayar ekranında görüntülenen soruları 5 dk boyunca zihinsel olarak çözmüştür. Daha sonra 1 dk'lık dinlenme arası verilmiştir. Dinlenme sonunda üçüncü bloğa geçilmiştir. Üçüncü blokta da yine katılımcı 5 dk boyunca karşısındaki ekranda görülen soruları zihinden çözmüştür. Üçüncü bloktan sonra yine 1 dk'lık dinlenme arası verilmiştir. Son olarak dördüncü blokta katılımcı yine 5 dk boyunca karşısındaki ekranda beliren soruları zihinden çözerken aynı zamanda arka planda çalan haber kayıtlarını da dinlemiştir. Deney başlamadan önce katılımcıya son blokta soruları çözerken bir yandan da haber kaydını dinlemesi gerektiği hatırlatılmış, deney sonunda haber kayıtlarıyla alakalı sorular sorulacağı söylenmiştir. Böylelikle katılımcılar dördüncü blokta soruları çözerken bir yanda da haber kaydını dinlemiştir. Deney sonunda haberle ilgili sorular sorularak verilen cevaplar not edilmiştir.

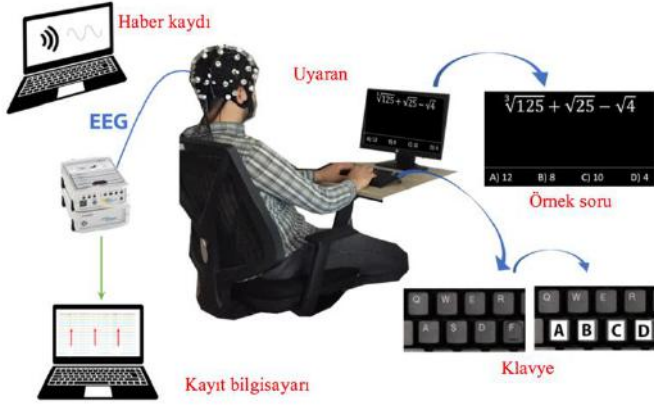


Şekil 1. Yürütülen Çalışmanın Blok Diyagramı



Şekil 2. Deneyde Yer Alan Bloklar ve Süreleri

Bilişsel iş yükünün oluşturulduğu blok1, blok2 ve blok3'te çoktan seçmeli (A-B-C-D olmak üzere 4 seçenekli) ve zihinden çözülebilen sorular sorulmuştur. Soruların zorluk seviyeleri blok 1, blok 2 ve blok 3 için mümkün olduğunca eşit ayarlanmıştır. Bu çalışmada oluşturulan deney düzeneği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Bilişsel yorgunluğun tespiti için oluşturulan deney düzeneği

2.3. EEG Kaydı

Bilişsel yorgunluğu saptamak için beş erkek (ortalama yaş 30 ± 6.05) ve üç kadın (ortalama yaş 30 ± 5.29) olmak üzere toplam sekiz katılımcı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların herhangi bir görme ya da nörolojik bozukluğu bulunmamaktadır. Ayrıca tüm katılımcılar sağ elini kullanmaktadır. Katılımcılardan hiçbiri daha önce benzer bir deneye katılmamıştır. Veri toplama işlemi Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Tüm katılımcılar deney başlamadan önce kurul tarafından sağlanan onay formunu imzalamışlardır.

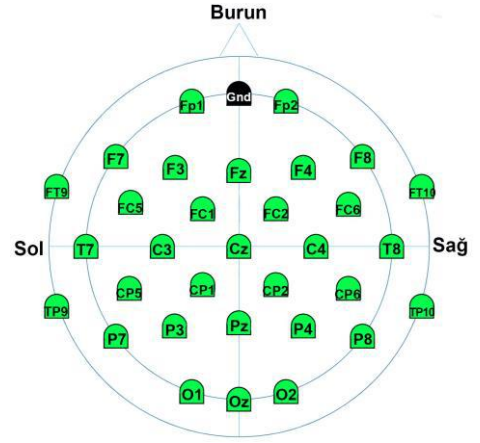
EEG verileri, actiCHamp (Brain Products GmbH, Gilching, Almanya) cihazı kullanılarak, 32 kanaldan uluslararası 10-20 standartına göre yerleştirilmiş elektrotlar kullanılarak kaydedilmiştir. Örnekleme frekansı 250 Hz olarak belirlenmiş, 'Fz' referans elektrotu ve alın bölgesindeki toprak (ing. ground) elektrotu kullanılarak veriler kaydedilmiştir. Deneyler boyunca, tüm elektrotların empedanslarının $5 \text{ k}\Omega$ 'un altında olması için iletkenliği artırıcı jel kullanılmıştır. Veri alınırken kullanılan elektrot dizilimi Şekil 4'te görülmektedir.

2.4. Ön İşleme

Ön işleme adımında katılımcılardan elde edilen EEG verisi 0.1-4 Hz (delta), 4-8 Hz (teta), 8-13 Hz (alfa), 13-30 Hz (beta), 30-100 Hz (gama) ve 0.1-100 Hz (tüm frekans bandı, TFB) olmak üzere 6 farklı bant geçiren filtre uygulanmıştır. Bu şekilde farklı bant bileşenlerinin sınıflandırma üzerine etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında 4. derece Butterworth sonsuz dürtü yanıtı (ing. infinite impulse response, IIR) bant geçiren filtre

kullanılmıştır. Sayısal filtreler genel olarak IIR ve sonlu dürtü yanıtı (ing. finite impulse response, FIR) olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Karakaş ve ark., 2022). Filtreye giden giriş ve çıkış sinyalleri, evrişim toplamı ile ilişkilidir.



Şekil 4. Veri alınırken kullanılan elektrotların dizilimi

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k) \quad (1)$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2)$$

1. ve 2. eşitlikler sırasıyla IIR ve FIR temsil etmektedir. $x(n)$, $y(n)$ ve $h(n)$ ise sırasıyla giriş, çıkış ve filtrenin birim dürtü yanıtını temsil etmektedir, N ise filtrenin derecesini göstermektedir.

Pratikte, IIR filtresinin çıkışını Eşitlik 1'deki gibi kullanarak hesaplamak mümkün değildir çünkü darbe yanıtının uzunluğu çok uzundur (teoride sonsuzdur). Bunun yerine, IIR filtreleme denklemi özyinelemeli biçimde Eşitlik 3'te gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

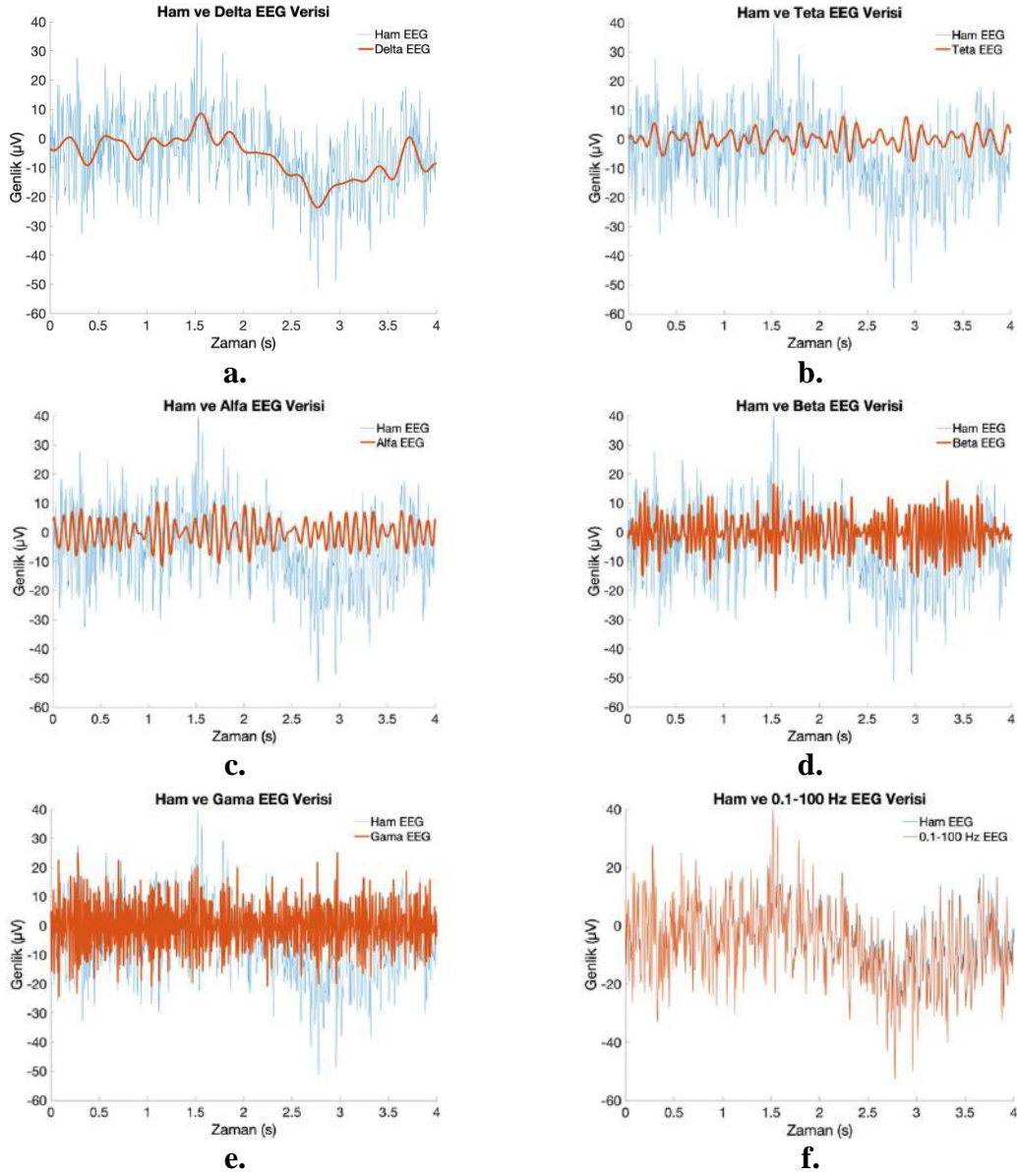
$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k) = \sum_{k=0}^N b(k)x(n-k) + \sum_{k=0}^M a(k)x(n-k) \quad (3)$$

Bu eşitlikteki a_k ve b_k filtre katsayılarını göstermektedir. Bant geçiren filtre tasarımında IIR filtre türlerinden Butterworth kullanılmıştır. Filtrenin transfer fonksiyonu;

$$B(\omega) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}\right]^{1/2}} \quad (4)$$

Burada n filtrenin derecesini göstermektedir.

Şekil 5. a'da birinci katılımcının dinlenme bloğunun 11. kanalından alınmış 4 s ham EEG verisi ve bu verinin 0.1-4 Hz bant geçiren ve delta bandı olarak adlandırılan EEG parçalarının üst üste çizdirilmiş halleri görülmektedir. Şekil 5. b, c, d, e, f ise sırasıyla teta, alfa, beta, gama ve TFB bantları ve aynı ham EEG verisinin üst üste çizdirilmiş halleri görülmektedir. Şekil 6'da ise bileşenlerine ayrılan delta, teta, alfa, beta ve gama bantlarının toplamı ve aynı ham EEG verisi üst üste çizdirilmiştir. Şekil 6'dan frekans bileşenlerine ayrılan orijinal sinyal ile frekans



Şekil 5. Uygulanan bant geçiren filtreler sonucunda elde edilmiş EEG verileri

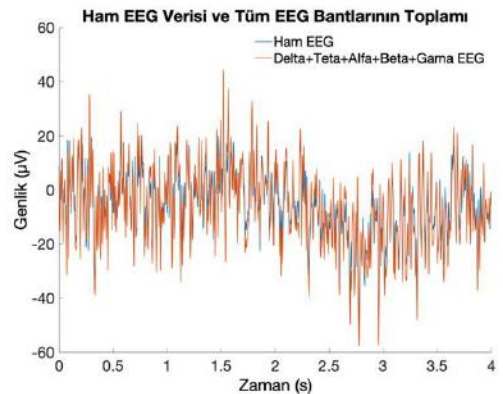
bileşenlerinin toplamından elde edilen yeni sinyalin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Yani ele alınan alt frekans

bileşenlerinin orijinal EEG sinyalini yaklaşık olarak temsil ettiği söylenebilir. Böylelikle orijinal EEG sinyalini oluşturan alt frekans bileşenlerinin sınıflandırma performansına dolayısıyla bilişsel iş yükünün tespit edilmesine etkisi araştırılmıştır.

2.5. Bloklara Ayırma

Bloklara ayırma aşamasında, ön işleme adımında farklı frekans bileşenlerine ayrılmış verilerin her biri dinlenme, blok 1, blok 2 ve blok 3 gruplarına ayrılmıştır. Katılımcılardan deney esnasında veriler alınırken uyaran sunumunun yapıldığı bilgisayar, verilerin kaydedildiği bilgisayar ve beyin elektriksel aktivitesinin alındığı EEG cihazı arasındaki bağlantılar Şekil 7’de görülmektedir. Uyaran sunumunun yapıldığı bilgisayarda hangi bloğun başladığına dair tetikleme bilgisi (ing. stimulus; S1, S2, S3 vb.) LPT portu aracılığıyla EEG cihazına 1 ms gecikme ile gönderilmektedir. Elektrotlardan gelen beyin elektriksel

aktivitesi ve bu tetikleme bilgileri EEG cihazında birleştirilerek kayıt bilgisayarına zaman kilitli şekilde gönderilmektedir.



Şekil 6. Tüm frekans bileşenlerinin toplamı ve ham EEG verisi

Dinlenme bloğunun başında 'S1' tetikleme işareti, sonunda ise 'S2' tetikleme işareti LPT portundan EEG cihazına gönderilmektedir. Benzer şekilde blok 1 başlangıç ve bitişi için sırasıyla 'S3' ve 'S4' tetikleme işaretleri, blok 2 başlangıç ve bitişi için sırasıyla 'S5' ve 'S6' tetikleme işaretleri ve son olarak blok3 başlangıç ve bitişi için sırasıyla 'S7' ve 'S8' tetikleme işaretleri gönderilmektedir. Blokların başlangıç ve bitiş tetikleme işaretleri Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 7. Deney bağlantıları

Blokların başlangıç ve bitiş tetikleme işareti arasında 75000 zaman noktası bulunmaktadır. Örnekleme frekansı 250 Hz olduğundan, 75000 zaman noktası 300 s yani 5 dk ya karşılık gelmektedir. Bu şekilde her bir blok (dinlenme, blok1, blok2 ve blok3) 5 dk olacak şekilde bölünmektedir. Dinlenme-blok 1, blok 1-blok 2 ve blok 2-blok 3 ardışık bloklar arasında 1 dk ara dinlenme verilmiş, katılımcı bu sürede bir sonraki blok için dinlendirilmiştir

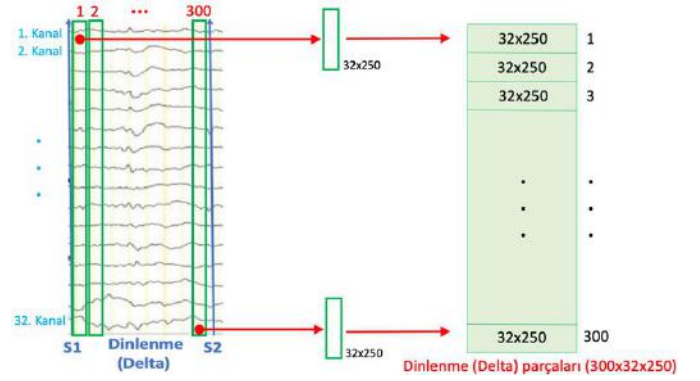


Şekil 8. Bloklar ve tetikleme işaretleri

6 farklı bant geçiren filtre (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama ve TFB) uygulanmış ve dört farklı bloğa ayrılmış (Dinlenme, Blok1, Blok2 ve Blok3) EEG verisi sonucunda toplam 24 farklı kombinasyon elde edilmiştir ve bu kombinasyonlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Her bir blok ve frekans bandı için EEG verisi 0.25 s, 0.5 s, 1 s, 3 s ve 5 s uzunluğundaki alt parçalara ayrılmıştır. Şekil 9'da dinlenme bloğunun delta bandı için 1 s lik parçalara ayrılmış temsili EEG parçaları görülmektedir. Dinlenme bloğu 300 s (5 dk) uzunluğunda olduğundan, 1 s'lik parçalar sonucunda toplam 300 parça EEG verisi elde edilmiştir. Örnekleme frekansı 250 Hz olduğundan her bir parçanın uzunluğu 250 zaman noktasından oluşmakta, 32 kanaldan veri alındığından toplam 32x250 boyutlu matris elde edilmektedir. Sonuç olarak dinlenme bloğu 1 s'lik parçalara ayrıldığında her birinin uzunluğu 32x250 olan toplam 300 parça EEG verisi elde edilmiş ve hücre (ing. cell) tipi saklama biriminde kaydedilmiştir. Tablo 1'de yer alan tüm blok ve frekans bantları için 0.25 s, 0.5 s, 1 s, 3 s ve 5 s uzunluğundaki parçalar e-ISSN: 2148-2683

ayrı bir hücre tipi depolama türünde saklanarak öznelik çıkarma aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 9. Dinlenme bloğu ve delta frekans bandı için elde edilen 1 s'lik EEG parçaları

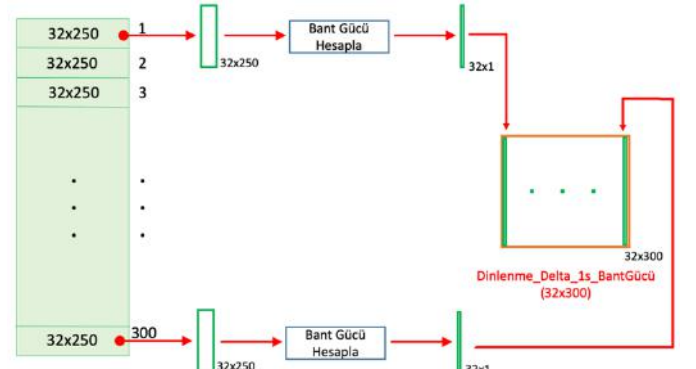
Her bir blok ve frekans bandında; 0.25 s için her biri 32x62 uzunluğunda toplam 1200 adet (1200x32x62), 0.5 s için her biri 32x125 uzunluğunda toplam 600 adet (600x32x125), 1 s için her biri 32x250 uzunluğunda toplam 300 adet (300x32x250), 3 s için her biri 32x750 uzunluğunda toplam 100 adet (100x32x750) ve son olarak 5 s için her biri 32x1250 uzunluğunda toplam 60 adet (60x32x1250) veri parçası bulunmaktadır. Dinlenme bloğu için farklı frekans bileşenleri ve farklı EEG uzunlukları için elde edilen veri hücreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Benzer veri hücreleri blok 1, blok 2 ve blok 3 için de elde edilmiştir.

2.6. Öznelik Çıkarma

Öznelik çıkarma aşamasında bant gücü özneliği kullanılmıştır. Bu özneliğe ait ayrıntılar aşağıda sunulmuştur. Frekans bantlarındaki güç hesaplanırken, bir zaman-frekans sinyali ayrıştırması elde etmek için Eşitlik 5'te verilen spektrogram yöntemini kullanılmaktadır.

$$E_f = \sum_t |X(f, t)|^2 \quad (5)$$

Bu eşitlikte x(t) orijinal sinyali, X(f,t) orijinal x(t) sinyalinin zaman frekans gösterimini, E_f ise frekans alanındaki enerji marjinalerini göstermektedir. Bant gücü ise E_B ile gösterilmektedir ve bantta yer alan enerji marjinalerinin toplanmasıyla elde edilir ve aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 10. Dinlenme bloğunun delta frekans bandında 1 s'lik EEG parçaları için bant gücü hesaplama

$$E_B = \sum_{f \in B} E_f \quad (6)$$

Tablo 1. Dinlenme bloğunda farklı frekans bileşenleri ve EEG uzunlukları için veri hücre boyutları

Dinlenme Bloğu	0.25 s	0.5 s	1 s	3 s	5 s
Delta	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250
Teta	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250
Alfa	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250
Beta	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250
Gama	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250
TFB	1200x32x62	600x32x125	300x32x250	100x32x750	60x32x1250

Daha öncede ifade edildiği gibi; 0.25 s, 0.5 s, 1 s, 3 s ve 5 s'lik EEG uzunlukları için sırasıyla 62, 125, 250, 750 ve 1250 zaman noktası elde edilmektedir. Farklı zaman noktası uzunluğundaki bu değerlerin bant güçleri hesaplandığında bir sayı değeri elde edilmektedir. 32 kanaldan elde edilen bu zaman noktalarının her biri için bant gücü hesaplandığında sonuçta 32x1'lik bir vektör elde edilmektedir. Tablo 2'de dinlenme bloğunda 1 s uzunluğundaki EEG sinyallerinin delta frekans bandı için uzunluğun 300x32x250 olduğu görülmektedir. Burada 32 kanaldan alınan ve her birinin uzunluğu 250 zaman noktasından oluşan 300 adet EEG verisi bulunmaktadır. Birinci 32x250 boyutlu matrisin bant gücü her kanal için ayrı ayrı hesaplandığında sonuçta 32x1'lik vektör elde edilmektedir. Bu işlem 300 adet örnek için tekrarlandığında sonuçta 300x32 boyutlu matris elde edilmektedir. Bu matris dinlenme bloğundaki verinin delta frekans bandındaki 1 s'lik parçalarından elde edilen bant gücü değerlerini göstermektedir ve Dilenme_Delta_1s_BantGücü matrisi şeklinde isimlendirilmiştir. Aynı işlemler Tablo 2'de yer alan ve dinlenme bloğu için oluşturulan tüm matris değerleri için tekrarlanmıştır. Yukarıda açıklanan adımlar Şekil 10'da detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Şekil 10'da dinlenme bloğunda delta frekans bandında 1 s'lik EEG parçalarının bant güçlerinin hesaplanma adımları gösterilmiştir. Bu işlem sonucunda 32x300 boyutlu matris elde edilmiştir. Tablo 2'de yer alan tüm matrisler için aynı adımlar tekrarlanarak elde edilen değerler Tablo 3'te gösterilmiştir. Yine Tablo 3'te yer alan değerler blok 1, blok 2 ve blok 3 içinde elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında dinlenme ve iş yükünün olduğu blokların karşılaştırıldığı yani dinlenme-blok 1, dinlenme-blok 2 ve dinlenme-blok 3 ikili sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin delta frekans bandı ve 0.25 s uzunluğunda EEG parçalarından çıkarılan bant gücü öznitelikleriyle dinlenme ve blok 1 karşılaştırması için

sınıflandırılmıştır. Bu amaçla aynı uzunluk ve frekans bandında yer alan dinlenme ve bilişsel iş yükünün olduğu blok bir araya getirilerek sınıflandırılacak veri seti oluşturulmuştur.

2.7. Sınıflandırma

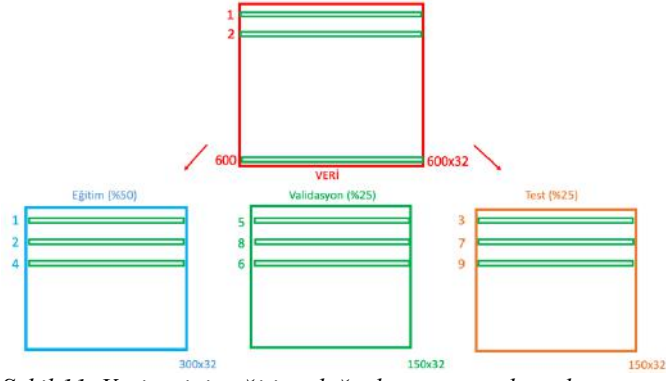
Yukarıda açıklanan adımlar sonucunda her biri Nx32 boyutunda veri matrisi ve Nx1 boyutundaki etiket matrisi elde edilmektedir. Burada N kullanılan EEG parça uzunluğuna göre değişmektedir. Örneğin 1 s'lik EEG parçaları kullanıldığında 300 adet örnek dinlenme bloğundan, 300 adet örnek ise iş yükü bloğundan (blok1 veya blok2 veya blok3) geldiğinden burada N=600 olmaktadır. Benzer şekilde EEG uzunluğu sırasıyla 0.25 s, 0.5 s, 3 s ve 5 s seçildiğinde N sırasıyla 2400, 1200, 200 ve 120 ye eşit olmaktadır.

EEG parça uzunluğuna, frekans bileşenine ve kullanılan öznitelige bağlı olarak elde edilen veri seti kullanılarak üç farklı sınıflandırma algoritmasıyla sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. N adet öznitelik vektörü her defasında rastgele biçimde %50 eğitim, %25 doğrulama ve %25 test olmak üzere üç parçaya ayrılarak, toplamda 50 kez sınıflandırma işlemi tekrarlanmıştır.

Sonuçlar kısmında bu 50 kez tekrarlanan sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen ortalama test doğrulukları gösterilmiştir. 50 kez tekrarlanan sınıflandırma işlemi ve veri setinin eğitim, doğrulama ve test parçalarına ayrılması süreci Şekil 11'de gösterilmiştir. Buna göre her defasında farklı öznitelik vektörleri eğitim, doğrulama ve test grubuna dahil olmakta bu şekilde yanlış doğruluklar elde edilmemektedir.

Tablo 2. Dinlenme bloğunda farklı frekans bileşenleri ve EEG uzunlukları için elde edilen bant güçleri matrisleri

Dinlenme Bloğu	0.25 s	0.5 s	1 s	3 s	5 s
Delta	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60
Teta	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60
Alfa	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60
Beta	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60
Gama	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60
TFB	32x1200	32x600	32x300	32x100	32x60



Şekil 11. Veri setinin eğitim, doğrulama ve test kısımlarına ayrılması

Sınıflandırma aşamasında tek çıkış nöronu ve tek gizli katmanı olan iki katmanlı YSA modeli kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı 50 olan YSA modeli aşağıda gösterilmiştir.

$$\hat{y} = \tilde{g}\left(\sum_{j=1}^M w_{1j}^{(2)} * g\left(\sum_{i=1}^d w_{ji}^{(1)} * x_i + w_{j0}^{(1)}\right) + w_{11}^{(2)}\right) \quad (7)$$

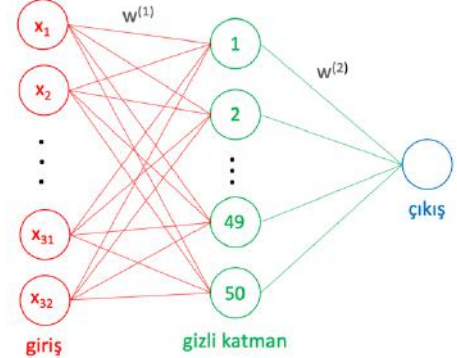
(x_i) , i'inci girişi, $(w_{ji})^k$ k'ncü katmandaki i'inci nöronu j'inci nöron arasındaki katman ağırlığını, (g) tanjant sigmoid fonksiyonunu ve (\tilde{g}) lineer fonksiyonu göstermektedir. Ayrıca, (d) ise giriş vektörünün boyutunu göstermektedir. Tüm veri seti için toplam hata;

$$J(w) = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y_n \log \hat{y}_n + (1 - y_n) \log(1 - \hat{y}_n)] \quad (8)$$

Tablo 3. Farklı EEG bantları ve farklı EEG uzunlukları için, tüm kanallar kullanılarak dinlenme ve iş yükü bloklarının tüm kişiler için ortalama sınıflandırma doğrulukları

	Dinlenme & Blok1					Dinlenme & Blok2					Dinlenme & Blok3				
	0.25 s	0.5 s	1 s	3 s	5 s	0.25 s	0.5 s	1 s	3 s	5 s	0.25s	0.5 s	1 s	3 s	5 s
Delta	66.26	66.38	67.51	69.44	71.23	67.57	67.91	67.84	68.77	68.70	69.59	70.09	70.97	72.86	72.82
Teta	74.37	76.83	82.50	86.39	87.90	79.83	83.27	85.90	92.02	93.60	80.72	84.26	85.60	91.26	92.98
Alfa	75.75	78.54	84.08	87.37	88.57	80.28	83.86	86.47	90.09	91.18	81.60	85.17	86.81	90.94	93.04
Beta	81.69	84.69	89.15	92.03	92.75	87.44	90.53	93.47	95.47	96.11	88.47	91.39	93.47	95.15	95.29
Gama	87.09	89.99	92.78	94.68	95.46	93.28	95.57	97.29	98.39	99.18	94.48	96.44	97.67	98.35	99.49
TFB	79.22	79.56	80.53	81.51	82.41	83.08	83.90	84.28	85.95	87.16	88.20	88.86	89.38	90.02	91.45

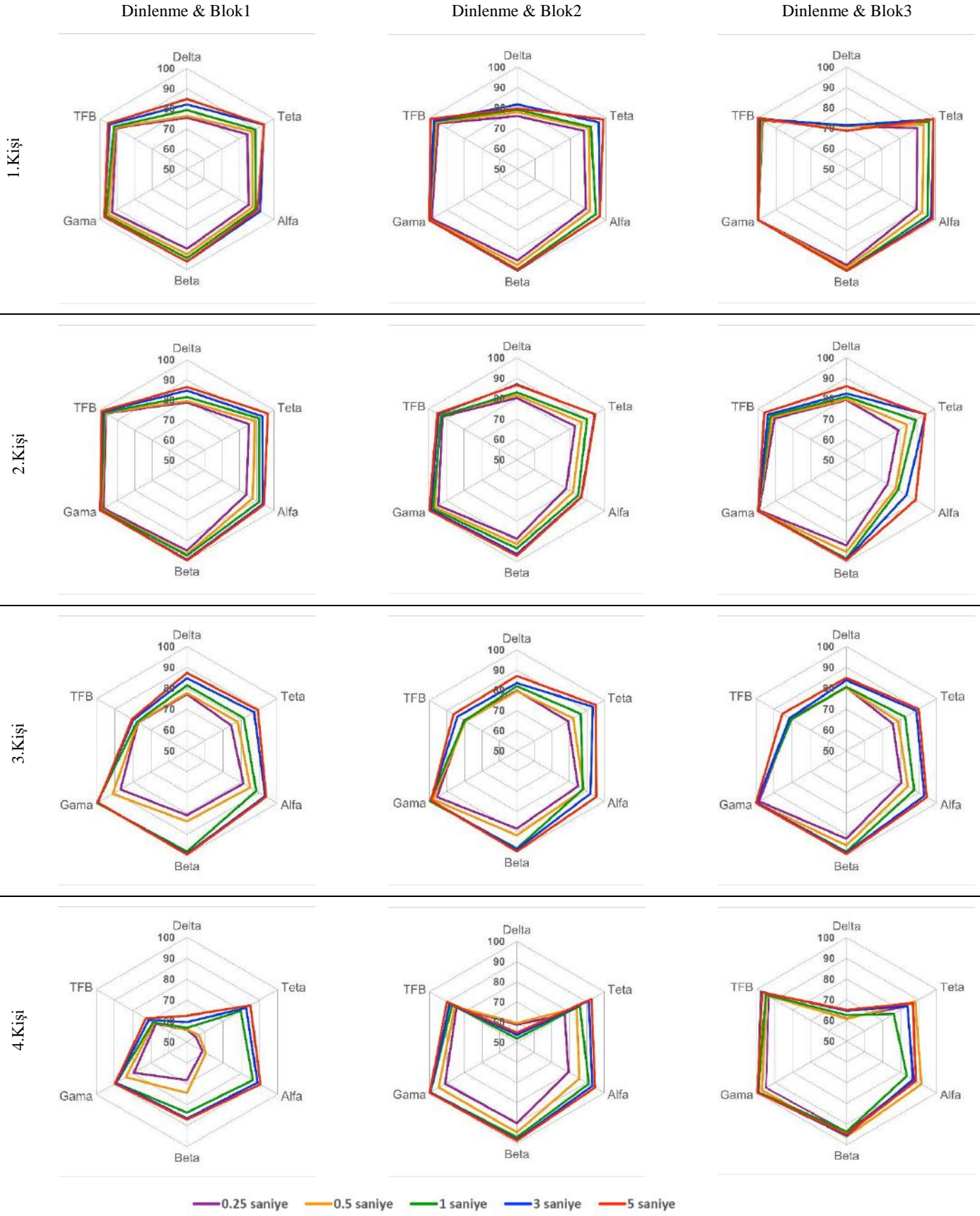
Burada (N) sinyaldeki toplam örnek sayısını, (\hat{y}_l) sinir ağı modeli tarafından hesaplanan tahmini değeri ve (y_l) ise örneğin gerçek etiket değerini göstermektedir. Oluşturulan YSA modeli Şekil 12'de görülmektedir.



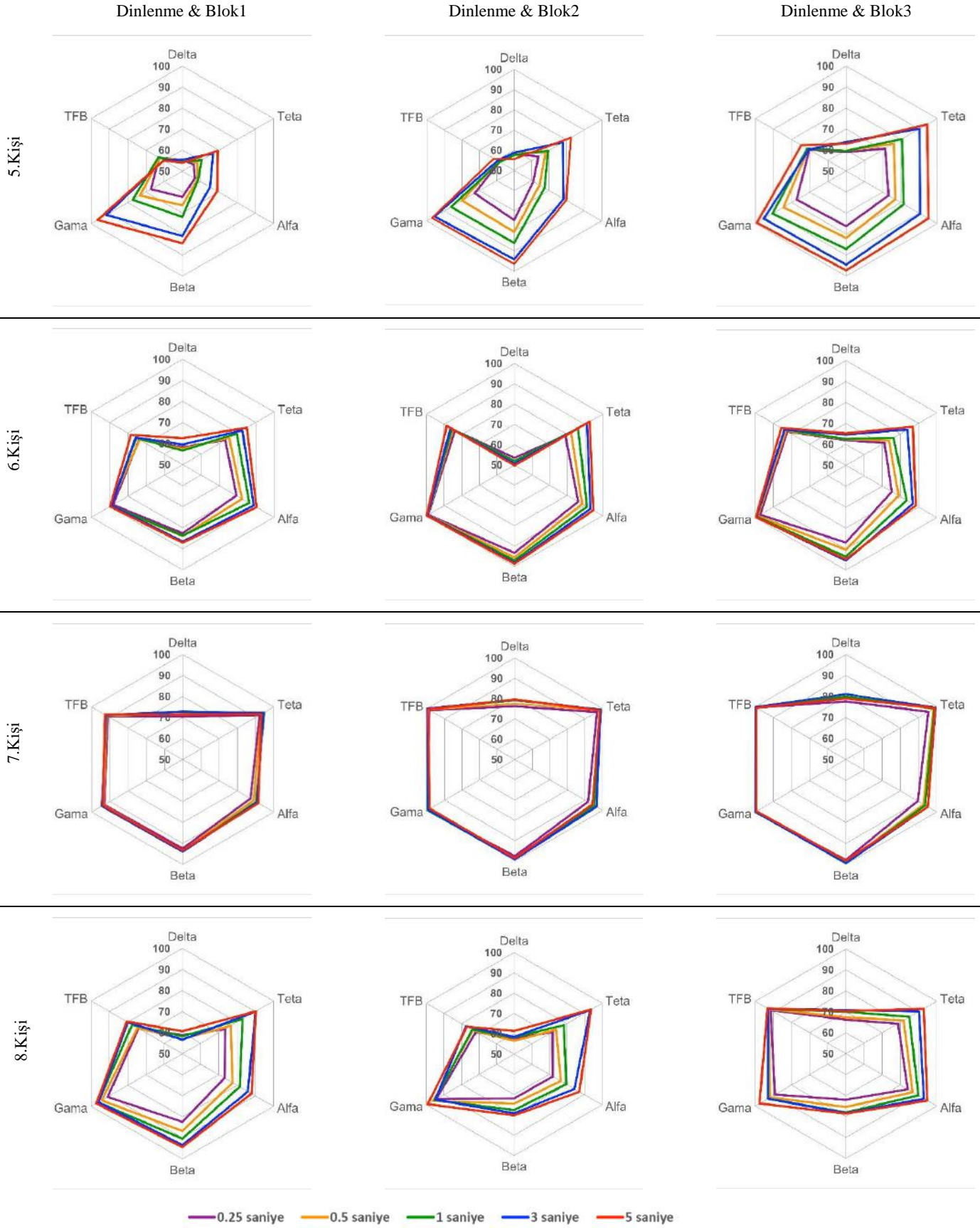
Şekil 12. Yapay sinir ağı modeli

3. Sonuçlar

Elde edilen deneysel sonuçların daha rahat değerlendirilebilmesi adına radar grafikleri şeklinde gösterilmiştir. Buna göre radar grafiklerin köşelerinde EEG bantları, iç kısımda ise farklı uzunluktaki EEG uzunluklarına ait sınıflandırma doğrulukları görülmektedir. Birinci sütunda dinlenme ile blok 1'e ait ikili sınıflandırma sonuçları, ikinci ve üçüncü sütunlarda ise sırasıyla dinlenme-blok2 ve dinlenme-blok3 ikili sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 13. Tüm kanallar kullanılarak 1, 2, 3 ve 4. kişiler için elde edilen doğruluklar



Şekil 14. Tüm kanallar kullanılarak 5, 6, 7 ve 8. kişiler için elde edilen doğruluklar

4. Bulgular

Şekil 13 ve 14'ten de görüleceği üzere, tüm kanallar kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları incelendiğinde gama bandının dinlenme ve bilişsel iş yükünün olduğu bloklardaki EEG sinyallerini birbirinden ayırmada diğer bantlara göre daha etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca dinlenme ve iş yükü bloklarına ait EEG parçalarını birbirinden ayırmada 5 s'lik EEG uzunluklarının kullanılması da SD'ünü artırmaktadır. Tablo 4'ten de görüleceği üzere, dinlenme-blok 2 ve dinlenme-blok 3 de yer alan EEG sinyallerini kullanarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları, dinlenme-blok1 de yer alan EEG sinyallerinden daha da yüksektir. Bu durumun deneyin blok1 ile başlamasından ve zihnin henüz blok2 ve blok3 deki kadar yorulmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Tablo 4 incelendiğinde en yüksek SD %99.49 ile gama bandı ve 5s'lik EEG parçaları kullanılarak dinlenme-blok3 EEG verilerinden elde edilmiştir. Blok 3 de yapılan matematiksel işlemlerin yanında haber kaydının dinletilmesi de bilişsel olarak kişinin daha çok yorulmasına ve dinlenme bloğundan daha iyi ayrılmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- ABUKHETTALA, K., & Oğuz, A. T. A. (2022). Analyzing of EEG Signals with Deep Learning and Discrete Wavelet Transform. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 514-52
- Ansari, S., Du, H., Naghdy, F., & Stirling, D. (2022). Automatic Driver Cognitive Fatigue Detection based on Upper Body Posture Variations. *Expert Systems with Applications*, 117568.
- Bjørheim, F., Siriwardane, S. C., & Pavlou, D., 2022. A review of fatigue damage detection and measurement techniques. *International Journal of Fatigue*, 154, 106556.
- Chaudhuri, A., ve Behan, P. O., 2004. Fatigue in neurological disorders. *The lancet*, 978-988. doi:10.1016/S0140-6736(04)15794-2
- Chiossi, F., Welsch, R., Villa, S., Chuang, L., & Mayer, S., 2022. Virtual Reality Adaptation Using Electrodermal Activity to Support the User Experience. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(2), 55. doi:10.3390/bdcc6020055
- Dehais, F., Somon, B., Mullen, T., ve Callan, D. E., 2020. A neuroergonomics approach to measure pilot's cognitive incapacitation in the real world with EEG. *Applied Human Factors and Ergonomics*, 111-117. doi:10.1007/978-3-030-51041-1_16
- Karakaş, M. F., & Latifoğlu, F. (2022). Metaheuristic FIR Filter Design with Multi-Objective Atomic Orbital Search Algorithm. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (39), 13-16.
- Marotta, L., Scheltinga, B. L., van Middelaar, R., Bramer, W. M., van Beijnum, B. J. F., Reenalda, J., & Buurke, J. H., 2022. Accelerometer-Based Identification of Fatigue in the Lower Limbs during Cyclical Physical Exercise: A Systematic Review. *Sensors*, 22(8), 3008. doi:10.3390/s22083008
- Papakostas, M., Rajavenkatanarayanan, A., ve Makedon, F., 2019. Cogbeacon: A multi-modal dataset and data-collection platform for modeling cognitive fatigue. *Technologies*, 7, 46. doi:10.3390/technologies7020046
- Pires, F. O., Silva-Júnior, F. L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Pinheiro, F. A., De Franca, N. M., ve Meireles Santos, T., 2018. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a

- distance-based cycling trial. *Frontiers in physiology*, 227. doi:10.3389/fphys.2018.00227
- Salankar, N., Koundal, D., Chakraborty, C., & Garg, L., 2022. Automated attention deficit classification system from multimodal physiological signals. *Multimedia Tools and Applications*, 1-16. doi:10.1007/s11042-022-12170-1
- Sun, Y., Lim, J., Meng, J., Kwok, K., Thakor, N., ve Bezerianos, A., 2014. Discriminative analysis of brain functional connectivity patterns for mental fatigue classification. *Annals of biomedical engineering*, 42, 2084-2094. doi:10.1007/s10439-014-1059-8
- Trejo, L. J., Knuth, K., Prado, R., Rosipal, R., Kubitz, K., Kochavi, R., ve Zhang, Y., 2007. EEG-based estimation of mental fatigue: convergent evidence for a three-state model. *Foundations of Augmented Cognition*, 2000-2012. doi:10.1007/978-3-540-73216-7_23
- Weinberg, R., ve Gould, D., 2003. Introduction to psychological skills training. *Foundations of sport and exercise psychology*, 327-352. doi:10.1080/1612197X.2003.9671724



Güvenlik Kameralarında Otomatik Silah ve Bıçak Tespit Sistemi: Karşılaştırmalı YOLO Modelleri*

Mehmet Tevfik Ağdaş^{1†}, Sevinç Gülseçen²

¹Enformatik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5608-6240), m.agdas@ogr.iu.edu.tr

²Enformatik Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8537-7111), gulsecen@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1163675)

ATIF/REFERENCE: Ağdaş, M.T., Gülseçen, S., (2022). Güvenlik Kameralarında Otomatik Silah ve Bıçak Tespit Sistemi: Karşılaştırmalı YOLO Modelleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (41), 16-22.

Öz

Güvenlik kamera sistemleri genellikle sosyal ve kamusal alanlarda güvenli ortam koşulları oluşturmak için kullanılmaktadır. Günümüz güvenlik kamerası sistemlerinde insan görüşü yerine yapay zeka tabanlı bilgisayar görüşünden yararlanılmaya başlanılmıştır. Bu çalışma da toplumsal ve kamusal alanlarda olabilecek silah ve bıçak görüntülerinin bilgisayarlı görüş ile görülüp tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada yöntem ve model olarak görüntü işleme teknolojisi ve genellikle literatürde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği bilgisinin mevcut olduğu YOLO algoritmaları kullanılmıştır. YOLO algoritmalarından YOLOv4, YOLOv5, YOLOR ve YOLOX modelleri kullanılmıştır. Çalışmada veri seti olarak 5078 görüntü kullanılmış ve bu görüntülerin 3000 adetini silah ve 2078 adetini bıçak görüntüleri oluşturmaktadır. Görüntüler kullanılarak gerçekleştirilecek deneysel çalışmalarda güvenilirliğin sağlanması için görüntülerin seçiciliğinin zor olması tercih edilmiştir. YOLO algoritmalarının karşılaştırmalı deneysel çalışmaları yapılmış ve sonuçları yayınlanmıştır. Görüntülerde silah ve bıçak tespitinde en başarılı sonuç %97,6 map@0,5 değeri ile YOLOR modelinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silah Tespiti, Bıçak Tespiti, YOLO, Görüntü İşleme.

Automatic Weapon and Knife Detection System on Security Cameras: Comparative YOLO Models

Abstract

Security camera systems are generally used to create safe environmental conditions in social and public spaces. In today's security camera systems, artificial intelligence-based computer vision has started to be used instead of human vision. In this study, it is aimed to see and detect images of weapons and knives that may be in social and public spaces with computer vision. In the study, image processing technology and YOLO algorithms were used as methods and models, where there is generally information that quite successful results have been obtained in the literature. YOLOv4, YOLOv5, YOLOR and YOLOX models from YOLO algorithms were used. In the study, 5078 images were used as a data set and 3000 of these images are weapons and 2078 knife images. In order to ensure reliability in experimental studies to be performed using images, it was preferred that the selectivity of the images be difficult. Comparative experimental studies of YOLO algorithms have been conducted and their results have been published. The most successful result in detecting weapons and knives in the images was obtained with the YOLOR model with a map@0.5% value of 97.6.

Keywords: Weapons, Knife, YOLO, Image Processing.

* Bu makale çalışması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Programı, Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN danışmanlığında, Videolarda Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Anormal Durum Tespiti ve Boyut İndirgeme Sistemi isimli doktora tezinden türetilmiştir.

† Sorumlu Yazar: mtagdas@munzur.edu.tr

1. Giriş

Silahlı terörizm, toplum üzerinde şiddet, sağlık, psikolojik ve ekonomik olumsuzluklara sebebiyet vermektedir. Silah, sadece ateşli silahları kapsamamakta her türlü insanlara ve diğer canlı cansız varlıklara zarar verici aletlerde bu sınıfta yer almaktadır. Her yıl binlerce insan silah terörüyle ölmektedir. Ayrıca silah kullanımı toplumların şekillenmesinde büyük öneme sahiptir. Silahların yaygın kullanılması toplumlarda çocuk yaşlarda psikolojik ruhsal travmalara neden olmaktadır. Çocukların ilerleyen yaşlarında kişilik bozukluğu veya silah özentisi gibi olumsuz sonuçlar gözlemlenmektedir. Toplumlarda silah kullanımının erken tespit edilmesi ve müdahale edilmesi bu tür insanlarda oluşabilecek yıkıcı etkilerin azaltılmasında faydalı olabileceği savunulmaktadır [1],[2].

Kamusal ve özel kişisel alanlarda güvenliğin sağlanması ve silahlı eylemlerin tespiti için kişiler genellikle güvenlik kameralarına ihtiyaç duymaktadır. Olası bir tehlike durumlarında önceden tespit edilmesi veya olan olaylara açıklık getirilmesi için güvenlik kamerası görüntüleri büyük öneme sahiptir. Güvenlik kamerası sistemlerinde görüntüler çoğu zaman insan görü özellikleri kullanılarak analiz edilmektedir. İnsanın duygusal bir varlık olması ve zaman zaman dikkat eksiklikleri olabilmesi sebebiyle bazı olayların anlık olarak takibinde güvenlik zaafiyetleri doğmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu tarz görüntülerin incelenmesi ve karar verilmesi aşamasında insan görüşü yerine makine öğrenmesi alt yapılı bilgisayarlı görünümünün kullanılması daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [3-6].

Bu çalışmada, akıllı gözetim ve güvenlik kameralarının görüntülerinde otomatik silah ve bıçak tespiti çalışması hedeflenmektedir. Bu çalışmasının gerçekleşmesi için derin öğrenme tabanlı bilgisayarda görüntü işleme teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun içinde daha önceleri yapılmış derin öğrenme tabanlı görüntü işleme modelleri incelenmiş ve önceden eğitilmiş derin öğrenme modellerinin başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Literatür incelemesinde güncel ve çok başarılı sonuçlar veren derin öğrenme tabanlı Yolo modelleri örneklerinden bazıları incelenmiştir. Bunlardan bazıları;

Warsi vd. (2019) çalışmasında, YOLOv3 algoritması kullanarak silah algılaması çalışması yapmışlardır [7]. Narejo vd. (2021) çalışmasında, akıllı güvenlik sistemlerinde YOLOv3 algoritmasını kullanarak silah algılanması projesini yapmışlardır [8]. Ashraf vd. (2021) çalışmalarında, CNN ve YOLOv5 algoritmalarını kullanarak güvenlik ve video gözetim sistemlerinde silah algılanması uygulamasını yapmışlardır [9]. Akbulut ve Halaf (2021) çalışmalarında, YOLO algoritmaları ve OpenCV kütüphanelerini kullanarak akıllı silah tespiti uygulamasını yapmışlardır [10]. Duran-Vega vd. (2021) çalışmalarında, YOLOv5 algoritmalarını kullanarak videolarda gerçek zamanlı tabanca tespiti için yarı tekrarlayan sinir ağlarına dayanan bir zamansal YOLOv5 dedektörü uygulamasını yapmışlardır [11].

Çalışmada, akıllı güvenlik sistemleri ve güvenlik kameralarında otomatik silah ve bıçak görüntülerinin anlık olarak tespit edilmesi çalışması yapılacaktır. Bu çalışmada makine öğrenmesi temelli derin öğrenme temelli daha önceden milyonlarca ImageNet görüntüsü ile eğitilmiş YOLO algoritmaları kullanılacaktır. Çalışmada 5078 birbirine yakın

sayıda bıçak ve silah görüntü kullanılacaktır. YOLO algoritmalarından, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR model türleri kullanılıp sonuçları karşılaştırmalı olarak sonuçlar kısmında paylaşılacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, makine öğrenmesi temelli derin öğrenme tabanlı daha önceden milyonlarca ImageNet görüntüsüyle eğitilmiş YOLO algoritmalarından, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR modelleri kullanılacaktır. Sistem uygulamaları için Darknet ve PyTorch kütüphanesinden ve Tesla P100 ekran kartı ve 16 gb ram bellek donanımlarından yararlanılmıştır.

2.1. YOLO Modelleri

Yolo, Joseph Redmon, Santosh Divvalai Ross Girshick ve Ali Farhadi'nin 2016 yılında tanıtması ve OpenCV'nin People Choice Ödülünü kazanması ile büyük beğeni toplayan bir bilgisayarlı görü ailesinin üyesidir. Yolo modeli, tek tek aşamalı ağ geçişlerinden farklı olarak ağı tek geçişinde hem nesne tanımlama hem de sınıflandırma işlemi yapabilmekte ve tek aşamalı detektör olarak çalışabilmektedir. Bu model, tek tek aşamalı modellere göre genellikle daha hızlı ve daha güvenilir doğruluk skorları vermektedir [12].

Yolo algoritması modeli milyonlarca resim üzerinden eğitilmiş bir ağa sahiptir. Her geçen gün geliştiricileri tarafından bu ağ daha da büyütülmüş ve bu büyütülme aşamalarında farklı matematiksel algoritmalarla farklı hızlarda çalışabilecek sürümler ortaya çıkarılmıştır. Bu sürümler sırasıyla YOLO, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR şeklinde olmuştur. Literatür çalışmaları incelendiğinde en yaygın kullanılan versiyonların YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5 oldukları gözlemlenmiştir. Bu modellerden oldukça başarılı sonuçlar alınabildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da yaygın olarak kullanılan versiyonlardan YOLOv4 ve YOLOv5 versiyonları ve yeni henüz az kullanılmış olan önceki versiyonlardan daha hızlı oldukları iddaa edilen YOLOX ve YOLOR versiyonları da kullanılması hedeflenmiştir.

2.1.1. YOLOv4

YOLOv4 modeli, darknet sinir ağı çerçevesinde oluşturulmuş bir nesne tespiti algoritmasıdır. YOLOv4, hızlı ve başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle bir çok uygulamada kullanılmaktadır. Derin evrişimli sinir ağlarını kullanarak nesnelere tespit edebilmekte ve ayrıca kutucuklar içerisinde göstermektedir. Veriler eğitilip YOLOv4 ağına aktarılmasından sonra görüntüler üzerindeki nesnelere hangi sınıfa ait olduğunu göstermektedir. Bu işlem sonucunda bir güven skoru oluşturmaktadır. Güven skoru, tahmin doğruluğunu göstermektedir. Güven skoru 0 ile 1 arasında olmaktadır [13]. Güven skorunun ölçümü için görüntünün örtüşme ölçütü olan IoU (Intersection over Union) değerinin bilinmesi gerekmektedir. Görüntüler üzerinde analizler yapılırken görüntülerin en dip pikselinden başlanmak üzere kesitler alınır ve kesitlerin bütünü temsil ne kadar temsil ettiğinin belirlenmesi için IoU değerine bakılmaktadır. IoU değerinin hesaplanması formülü denklem (2) de, Güven skoru formülü denklem (1) de gösterilmiştir.

$$\text{Güven Skoru} = Pr(\text{Nesne}) * IoU \quad (1)$$

$$IoU = \frac{\text{Kesişim}(\text{Gerçek-Referans} \cap \text{Tahmin})}{\text{Birleşim}(\text{Gerçek-Referans} \cup \text{Tahmin})} \quad (2)$$



Şekil 1. Görüntü Kesiş Örtüşmesi (IoU)
(Figure 1. Intersection Over Union)

Şekil 1 de görüntüde kesiş örtüşmesi örneği gösterilmiştir. YOLOv4 modelinde görüntülerden alınan kesitin bütünü temsil etmesi oldukça önemlidir. Ayrıca YOLOv4 ağı, üç bölüme oluşmaktadır. Bu bölümler omurga, boyun ve kafadır. Omurga, farklı görüntüler üzerinden özellik çıkarıp işleyen evrimsel sinir ağı bölümüdür. YOLOv4’de alt yapı olarak CSPDarknet53 sinir ağı kullanılmaktadır [14]. Ayrıca omurga bölümü içinde Bag of Specials ve Bag of Freebies bölümleri bulunmaktadır. Bu bölümler verisetinin zenginleştirilmesi için kullanılmaktadır [13]. Boyun, nesnelerin farklı boyutlarda da algılanabilmesi için kullanılmaktadır. Kafa bölümü, YOLOv3 ile benzer yapıya sahip Dense Prediction katmanıdır. Kafa bölümünde nesnelerin koordinatlarını, etiketlerini ve güven skorunu içeren bir vektör oluşturulmaktadır. Ayrıca YOLOv4’te SAM, SPP, PANet ağlarında etkin olarak kullanılmaktadır [15],[16],[17].

2.1.2. YOLOv5

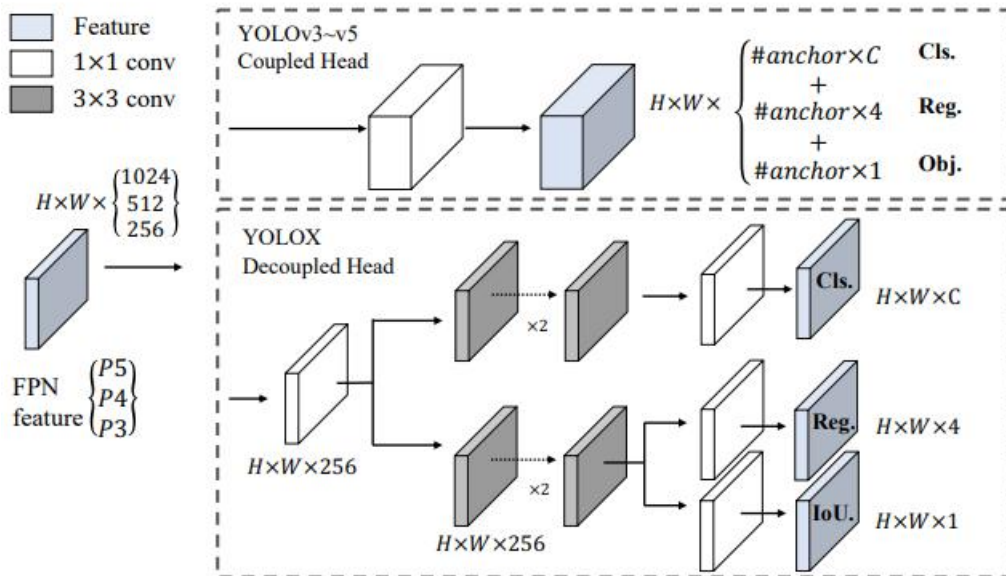
YOLOv5 modelinin mimarisinde de YOLOv4 modelinde olduğu gibi omurga, boyun ve kafa yapıları kullanılmıştır. Giriş görüntüleri omurga(backbone) yapısı sayesinde özellik çıkarma işlemine tabi tutulur. Omurga yapısı sayesinde elde edilen özellikler kullanılarak, bir özellik haritası oluşturulur. Özellik haritalarını kafa (head) yapılarına aktaran boyun (neck) aşağıdan yukarıya, yukarıdan aşağı yönünde bir kaç yoldan oluşmaktadır. Tek aşamalı nesne tespiti işlemlerinde kafa yapılarında yoğun bir şekilde güven skoru ve başarımları elde edilmektedir.

Darknet kütüphanesi üzerinde geliştirilen YOLOv4 algoritmasından farklı olarak YOLOv5 algoritması Pytorch Kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir [18].

2.1.3. YOLOX

Yolox, ilk olarak Akış Algı Yarışması (CVPR2021) Otomatik Sürüş Workshop’unda tanıtılmıştır. Darknet alt yapısı kullanan bir modeldir. YOLOv4 ve YOLOv5 aşırı optimize edilmiş yapılar olduğundan bu yapıda YOLOv3-SPP ağ yapısı ile geliştirilmiştir. YoloV3-SPP, gelişmiş bir CSPNet omurgasını ve ek bir PAN kullanılmısim benimsenerek YoloV5 mimarisi kullanılarak geliştirilmiş ağ yapısıdır [19].

Bu modelde, nesne algılama işlemlerinde çakışmalara neden olduğu bilinen ve doğruluğun azalmasına neden olan sınıflandırma ve regresyon görevleri aynı anda gerçekleştirilmektedir. Bu sorunun çözümü için ayrıştırılmış kafa yapısı oluşturulmuştur. Geleneksel yolo serilerinde omurga ve özellik piramitleri hala klasik kafa yapıları ile elde edilmektedir. Ancak Yolox modelinde ayrılmış bir kafa kullanılmış ve daha yüksek doğruluk skorları elde edilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2. YOLOX Modeli ile YOLOv3-v5 Modelinin Yapısı Arasındaki Fark
(Figure 2. The Difference Between the YOLOX Model and the Structure of the YOLOv3-v5 Model)

Yukarıdaki şekil2’de YOLOv3-v5 modellerinin yapısı ile YOLOX modelinin yapısı arasındaki fark gösterilmiştir. Her bir FPN seviyesi için özellik kanalının 256’ya dönüştürülmesi için önce 1x1 conv katmanı benimsenmiş ve iki paralel dal eklenmiştir. Sırasıyla sınıflandırma ve regrasyon görevleri için 3X3 dönüşüm katmanı eklenmiştir. Ayrıca regresyon dalına IoU dalı eklenmiştir [20].

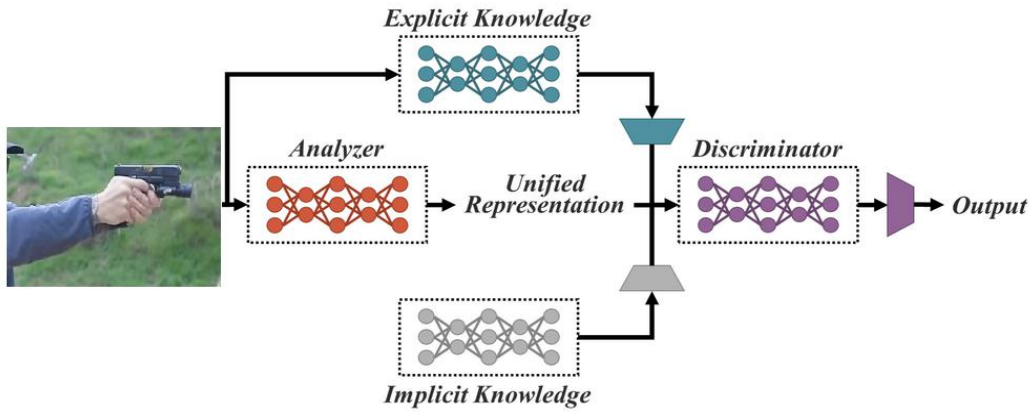
YOLOX, Mozaik ve karıştırma stratejileri kullanılarak güçlü bir şekilde güçlendirilmiş bir veri seti üzerinde eğitilmiştir.

2.1.4. YOLOR

YOLOR, YOLOv5 modeline benzer şekilde Pytorch kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. CSPNet, doğruluk

skorları üzerinde azalmaya sebebiyet versede yolo modellerinde algılama hızını artırabilmek için yüksek verimli evrişimli katmanlar uygulamıştır. Scaled YOLOv4, kavramları alıp son teknoloji ürün bir detektör ailesine uygulamıştır.

Günümüzde yapay zeka eğitiminde kullanılan modeller, ağı önce genel bir görev için genel büyük veri seti ile eğitmekte sonra özel görevler için veri setlerini ince ayarlarla düzenlemektedir. Bu eğitim sırasında ince ayar işlemleri ile modelin ağırlıkları da ayarlanmaktadır. YOLOR, COCO veri setinde mevcut görevlerle, yani nesne algılama, örnek segmentasyonu, panoptic segmentasyon, anahtar nokta algılama, malzeme segmentasyonu, resim yazısı, çok etiketli görüntü sınıflandırması ve uzun kuyruk nesne tanıma ile örtük bir bilgi ağını önceden eğitmektedir [21].



Şekil 3. YOLOR Modelinin Çalışma Yapısı
(Figure 3. The Working Structure of the YOLOR Model)

Şekil 3’de YOLOR modelinin çalışma prensibi gösterilmektedir. YOLOR, COCO veri kümesini optimize ederken açık bilgiyi temsil edebilen başka bir parametre kümesini de eğitmektedir. Tahmin için ise hem örtük hem de açık bilgiyi kullanmaktadır [21].

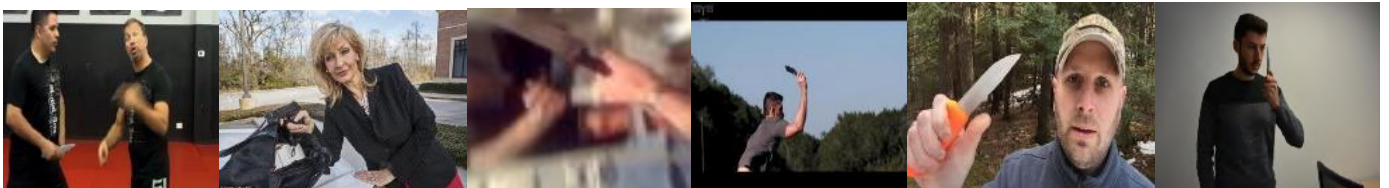
2.2. Veri Seti

Bu çalışmada, daha önceleri çalışmalara kaynak olmuş veri seti kullanılmıştır. Veri seti iki ayrı nesne grubunu içermektedir. Bunlar silah ve bıçak verileridir. Silah verisinde zengin içeriğe sahip 3000 adet görüntü bulunmaktadır. Silah görüntüleri internet görüntüleri ve güvenlik kameralarından alınmıştır. Bu görüntüler daha önceleri Olmos vd. (2018), çalışmalarında kaynak olarak kullanılmıştır [22]. Bıçak verisi için ise 2078 adet görüntü kullanılmıştır. Bu görüntüler en az bir adet bıçak görüntüsü içermektedir. Bu görüntülerde internet ortamı, Youtube videoları

ve güvenlik kameraları görüntülerinden derlenmiştir. Bıçak görüntüleri seçilirlen bazı özellikler aranmıştır. Bu özellikler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Çeşitli tür, şekil, renk boyut ve farklı malzemeden yapılması
- Kameraların yakınında ve uzağında olması
- Bıçakların elle kısmen tutulmuş olması
- Bıçak görüntüsüne benzer çeldiricilerinde olması
- İç ve dış mekan görüntülerinde bıçak senaryolarının bulunmasına dikkat edilmiştir.

Bıçak veri setide daha önceleri Castillo vd. (2019), çalışmalarına kaynak veri olarak kullanılmıştır [23]. Kullanılan veri setine ait örnek görüntüler Resim 1. ve Resim2.’de verilmiştir. Resim 1 ve resim 2 de gösterildiği gibi görüntülerin her türlü açı ve bakış açısından olmasına dikkat edilmiştir.



Resim1. Örnek bıçak verileri görüntüleri (Picture 1. Sample knife data images)



Resim 2. Örnek silah verileri görüntüleri (Picture 2. Sample weapon data images)

Bıçak ve silah veri seti üzerinde ön işleme işlemleri yapılmış bazı görüntülerin açıları değiştirilerek görüntü sayısı artırılmıştır. Çalışma için kullanılan görüntü sayısı 9253 görüntü olarak kullanılmıştır. Bu görüntülerin 6600 adeti eğitim, 1000 adeti test ve 653-adet doğrulama verisi olarak kullanılmıştır.

3. Önerilen Metodoloji

Bu çalışmada, güvenlik kamerası görüntülerinde otomatik silah ve bıçak tespiti uygulaması yapılması hedeflenmiştir. Önerilen modelin seçiminde daha önceleri yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde YOLO modellerinin başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada da YOLO modellerinden en güncel ve en başarılı sonuçlar veren modellerden YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR modelleri kullanılması çalışma

için metodoloji olarak önerilmiştir. Hem bu modellerin performansları arasındaki farklar gözlemlenecek hem de otomatik silah ve bıçak algılanması çalışması gerçekleştirilmiş olacaktır.

4. Analiz

Bu çalışmada güvenlik kamerası görüntülerinden otomatik silah ve bıçak algılanması için literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak popüler ve başarılı sonuçlar veren daha önceden eğitilmiş model olan YOLO modelleri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. YOLO modellerinden YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR modelleri kullanılmıştır.

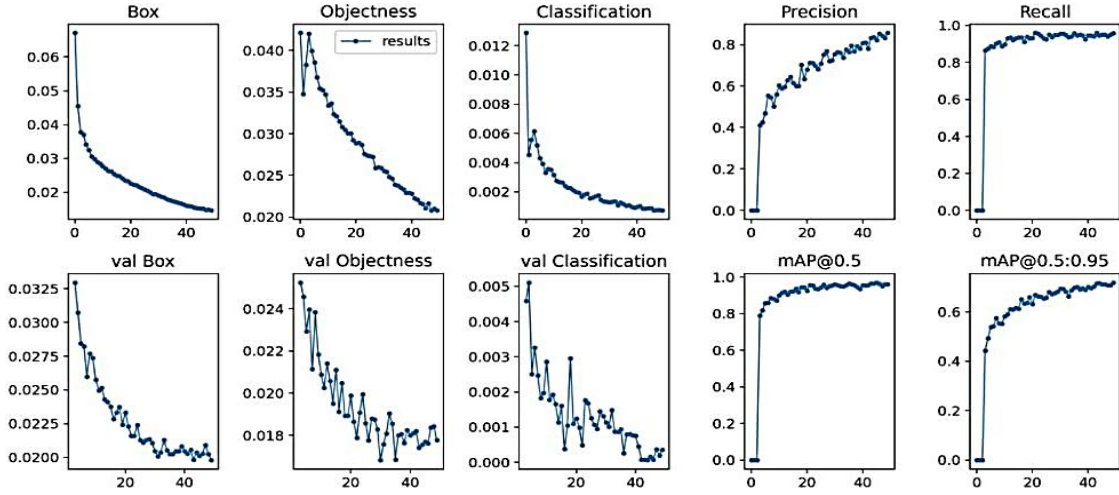
Karşılaştırma işleminin sağlıklı ve güvenilir olması için benzer Epoch, Batch ve Image Size değerleri seçilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada elde edilmiş karşılaştırmalı yüzdesel skorlar (Table 1. Comparative percentage scores obtained in the study)

MODEL	BATCH	EPOCH	Image Size	Recall	Precision	Map@0,5
YOLOv4	8	50	416x416	0,91	0,90	0,9412
YOLOv5	8	50	416x416	0,816	0,86	0,864
YOLOX	8	50	416x416	0,89	0,894	0,9069
YOLOR	8	50	416x416	0,958	0,967	0,976

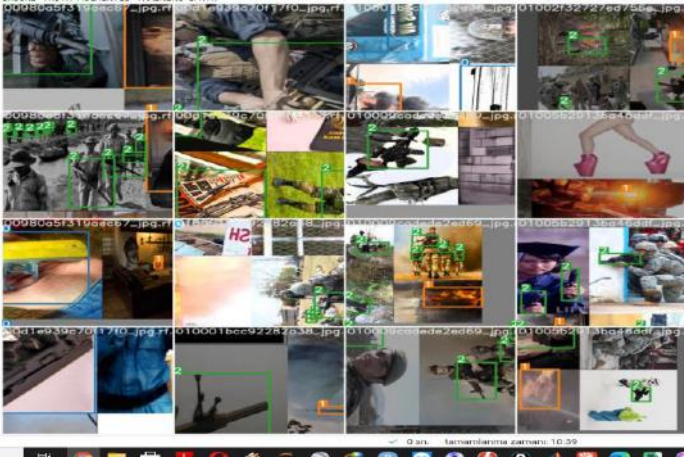
Çalışmada uygulanan modeller arasında en başarılı sonuçların YOLOR algoritmasının vermiş olduğu gözlemlenmiştir. YOLOR modeli çalışma süresi olarakta diğer modellere göre çok daha kısa sürede tamamlanmıştır. YOLOR

modeline göre silah ve bıçak tespiti işlemi sonuçları recall değeri 0,958, precision değeri 0,967 ve nesnelerin kesişiminin ortalama hassasiyet değeri olan Map@0,5 0,976 olarak hesaplanmıştır. YOLOR modelinde hesaplanan diğer değerlerde grafik halinde sonuçları da aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Deneysel çalışma analizlerinin grafiksel gösterimi
(Figure 4. Graphical representation of experimental study analyzes)

Görüntülerin analizler işlemleri neticesinde tespit edilmesine dair nesnel ve yüzdesel olarak sonuçlarının örnek görüntüleri resim 3 ve resim 4 te gösterilmiştir.



Resim 3. Örnek silah bıçak algılama nesnel
(Picture 3. Example weapon knife detection objective)



Resim 4. Örnek silah bıçak algılama yüzdesel
(Picture 4. Sample weapon knife detection percentage)

5. Sonuç

Bu çalışmada, görüntülerdeki silah ve bıçakların otomatik algılanması için güncel YOLO algoritmaları ile karşılaştırmalı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan YOLOv3 modeli yerine daha güncel daha hızlı performans sonuçları veren YOLOv4, YOLOv5, YOLOX ve YOLOR modelleri tercih edilmiştir. Modellerin performanslarının doğruluğunun kıyaslanabilmesi için modellerde 8 batch, 50-epoch ve görüntülerin boyutlarının 416x416 ebatlarında olması sağlanmıştır. Çalışmada yapılan deneysel çalışmalar neticesinde modeller arasındaki en başarılı performansı % 95,8 recall, 0,967 Precision ve %97,6 Map@0,5 değerleri YOLOR algoritması ile elde edilmiştir. YOLOR algoritmasından sonra ise en başarılı sonuçlar sırasıyla daha önceki versiyon olmasına rağmen %94,12 map@0,5 başarımla YOLOv4 algoritmasından, %90,69 map@0,5 değeriyle YOLOX ve %86,5 map@0,5 değeriyle YOLOv5 algoritmasından elde edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Velastin, S. A., Boghossian, B. A., & Vicencio-Silva, M. A. (2006). A motion-based image processing system for detecting potentially dangerous situations in underground railway stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(2), 96-113.
- [2] Bilgin, R. (2014). Çatışma Ve Şiddet Ortamında Büyüyen Çocuklar Sorunu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 135-152.
- [3] Kumar, P. M., Gandhi, U., Varatharajan, R., Manogaran, G., Jidhesh, R., & Vadivel, T. (2019). Intelligent face recognition and navigation system using neural learning for smart security in Internet of Things. *Cluster Computing*, 22(4), 7733-7744.

- [4] Babanne, V., Mahajan, N. S., Sharma, R. L., & Gargate, P. P. (2019, December). Machine learning based smart surveillance system. In *2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)* (pp. 84-86). IEEE.
- [5] Joshi, A., Jagdale, N., Gandhi, R., & Chaudhari, S. (2019, June). Smart surveillance system for detection of suspicious behaviour using machine learning. In *International Conference on Intelligent Computing, Information and Control Systems* (pp. 239-248). Springer, Cham.
- [6] Ko, K. E., & Sim, K. B. (2018). Deep convolutional framework for abnormal behavior detection in a smart surveillance system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67, 226-234.
- [7] Warsi, A., Abdullah, M., Husen, M. N., Yahya, M., Khan, S., & Jawaid, N. (2019, August). Gun detection system using YOLOv3. In *2019 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)* (pp. 1-4). IEEE.
- [8] Narejo, S., Pandey, B., Rodriguez, C., & Anjum, M. R. (2021). Weapon Detection Using YOLO V3 for Smart Surveillance System. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [9] Ashraf, A. H., Imran, M., Qahtani, A. M., Alsufyani, A., Almutiry, O., Mahmood, A., ... & Habib, M. (2022). Weapons Detection for Security and Video Surveillance Using CNN and YOLO-V5s. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, 70(2), 2761-2775.
- [10] AKBULUT, Y., & KHALAF, R. Smart Arms Detection System Using YOLO Algorithm and OpenCV Libraries. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(1), 129-136.
- [11] Duran-Vega, M. A., Gonzalez-Mendoza, M., Chang-Fernandez, L., & Suarez-Ramirez, C. D. (2021). TYolov5: A Temporal Yolov5 Detector Based on Quasi-Recurrent Neural Networks for Real-Time Handgun Detection in Video. *arXiv preprint arXiv:2111.08867*.
- [12] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788).
- [13] GÜÇLÜ, E., AYDIN, İ., ŞAHBAZ, K., Erhan, A. K. I. N., & KARAKÖSE, M. (2021). Demiryolu Bağlantı Elemanlarında Bulunan Kusurların YOLOv4 ve Bulanık Mantık Kullanarak Tespiti. *Demiryolu Mühendisliği*, (14), 249-262.
- [14] Wang, C. Y., Liao, H. Y. M., Wu, Y. H., Chen, P. Y., Hsieh, J. W., & Yeh, I. H. (2020). CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 390-391).
- [15] Woo, S., Park, J., Lee, J. Y., & Kweon, I. S. (2018). Cbam: Convolutional block attention module. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 3-19).
- [16] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(9), 1904-1916.
- [17] Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). Path aggregation network for instance segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8759-8768).
- [18] Murat, S. (2021). *İnsansız hava aracı görüntülerinden derin öğrenme yöntemleriyle nesne tanıma* (Master's thesis, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- [19] Zhang, S., Song, L., Liu, S., Ge, Z., Li, Z., He, X., & Sun, J. (2021). Workshop on Autonomous Driving at CVPR 2021: Technical Report for Streaming Perception Challenge. *arXiv preprint arXiv:2108.04230*.
- [20] Ge, Z., Liu, S., Wang, F., Li, Z., & Sun, J. (2021). Yolox: Exceeding yolo series in 2021. *arXiv preprint arXiv:2107.08430*.
- [21] Wang, C. Y., Yeh, I. H., & Liao, H. Y. M. (2021). You Only Learn One Representation: Unified Network for Multiple Tasks. *arXiv preprint arXiv:2105.04206*.
- [22] Olmos, R., Tabik, S., & Herrera, F. (2018) Automatic handgun detection alarm in videos using deep learning. *Neurocomputing*, 275, 66-72. doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.012.
- [23] Castillo, A., Tabik, S., Pérez, F., Olmos, R., Herrera, F. (2019) Brightness guided preprocessing for automatic cold steel weapon detection in surveillance videos using deep learning. *Neurocomputing*, 330, 151-161. doi.org/10.1016/j.neucom.2018.10.076.



Effect of Magnetohydrodynamic Second Order Slip Flow Boundary Condition Coefficients on Flow in Parallel Plates

Hatice Şimşek^{1*}

^{1*} Tekirdag Namik Kemal University, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdag, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0041-3406),
h.simsek@nku.edu.tr

(First received 25 March 2022 and in final form 2 May 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Şimşek, H. (2022). Effect of Magnetohydrodynamic Second Order Slip Flow Boundary Condition Coefficients on Flow in Parallel Plates. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 23-30.

Abstract

In this study, the fully developed velocity profile in magnetohydrodynamic (MHD) flow between microparallel plates was analyzed analytically using all the second-order slip velocity boundary conditions available in the literature. The heat flux is assumed to be constant. The magnetic field acts perpendicular to the plate surface. The momentum equation is solved analytically using the quadratic slip velocity boundary condition model in slip flow. The extent to which the second-order slip velocity boundary conditions affect the slip flow at the center and at the wall is shown with both graphs and tables. In the study, it was emphasized how effective the magnetic field is especially in the case of second order slip flow, and the percentage of the second order slip flow in the presence/absence of magnetic field was calculated as a percentage.

Keywords: MHD, Second order velocity slip, Parallel plate, Viscous dissipation, Analytical solution

* Corresponding Author: h.simsek@nku.edu.tr

1. Introduction

In the 1980s, MEMS (micro-electro-mechanical systems), a new field covering all aspects of science and technology, has become the focus of attention of many researchers.

Magneto-hydrodynamics (MHD) plays a very significant role in astrophysics, galactic magnetism, engineering, and controlled nuclear fusion. As in nature, the magnetic field or MHD affects the behaviour of fluid and flow in industrial processes. In addition to micro electronic industry, medical industry, micro-device technology, bioengineering and micro-scale heat exchanger systems, simultaneous increase of technical applications at micro-scale level in aviation, food, chemical, pharmaceutical and automotive industries has led to a recent growth of importance for fluids to determine the momentum and heat transfer characteristics in magneto-hydrodynamics (MHD) flow at micro-scale. The electrically conductive fluid is affected by the magnetic field both in terms of heat transfer and flow. This makes magnetic field important as a heat transfer recovery method.

With increasing dilution and dilution in the gas flow in microchannels, more accurate boundary conditions were required and a second-order slip velocity boundary condition was used. The absence of a conventionally accepted second-order slip boundary condition in the literature makes it difficult to use the slip flow equations. Despite the studies, uncertainties remain on the correct value of the second-order slip boundary condition coefficient. Undoubtedly, in this case, it emerges as an important problem extending to the Navier-Stokes equations in the transition flow regime.

In the study, the second order slip velocity boundary condition coefficients proposed by [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9],[10] how it affects the slip velocity was investigated.

The extent to which MHD flow affects heat transfer and flow control was investigated for the first time by [11]. Depending on the electrical conductivity and magnetization property, the flow rates and speeds of fluids vary under the impact of a magnetic field. If a magnetic field is applied to a fluid with electrical conductivity, an electric current is induced in the fluid, and the so-called Lorentz force is formed between the resulting electric current and the magnetic field. Thus, emerging Lorentz force affects the fluid flow, hence heat transfer. The generation of these currents has also led to designing appliances such as MHD generator devices, MHD pumps, accelerators and flow-meters.

In the literature where the second-order velocity boundary conditions model for slip flow government was used for different geometries, either merely slip flow regime or magneto-hydrodynamics (MHD) was taken into account simultaneously with slip flow regime. Those studies are summarized below.

The fully developed gas flow between parallel plates is investigated in the work by [12] and the momentum and energy equations are solved using both the slip flow and temperature jump boundary conditions of the second order. In his work, [13] has obtained the second-order slip boundary condition model from the Kinetics Theory for the wall-bounded dilution (rarefied) gas flow. The slip flow contains very close estimates to numerical solutions of linearised Boltzmann equation for entire Knudsen numbers. [14] have analysed the viscous fluid flow and heat transfer through an isothermal, pervious and linear shrinking plate that was exposed to constant absorption and placed in a stagnant

medium, by using the second-order slip flow model previously proposed by [13]. [15] has numerically studied some basic parameters of fluid flow and heat transfer including slip coefficient, magnetic parameter, Prandtl Nu with Eckert Nu and the impact of viscous dissipation on the slip flow of electrically conductive fluid moving through a permeable surface in two-dimensional and steady regime. [16] has experimentally examined gas flow through a rectangular micro-channel using the second-order slip boundary condition whereas [17] has numeriacally investigated the slip flow in a natural convection by applying constant heat flux to the walls of a micro channel with perpendicular parallel plates. Stagnation point flow from a vertical plate with constant heat flux, in mixed convection under a steady regime has been discussed by [18] using the second-order slip flow model proposed by [13] whereas [19] have examined heat transfer through a vertical, porous and expanding / shrinking plate under a permanent regime referring to the same model by [13]. The MHD was analyzed analytically by study [20] on how the second-order slip flow affects heat and mass transfer. In the study, MHD flow and heat transfer over a permeable expanding/shrinking surface was discussed using the second-order slip model. Another research by [21] has examined the heat transfer of frictional Maxwell flow over MHD flow on a porous medium while analysing the second order slip effect as well. [22] have analysed the effect of second-order slip on the flow of a Maxwell fluid with second-order friction while monitoring the second-order slip flow between the wall and the fluid on it. [23] have investigated the effect of magnetic field and second-order slip flow on kasson flow through heat transfer, which is subject to suction/injection and convective boundary condition. Their analyses have depicted that friction on the surface was increased by the progress of the second-order slip parameter, in the existence of kasson flow parameter and Nusselt number. [24] have theoretically discussed the combined analysis of entropy generation and activation energy via modeling the second-order slip velocity flow on a sloping parabolized surface.[25] have monitored the MHD flow of nanofluids creating homogeneous-heterogeneous reaction on a porous medium, influenced by the second-order slip velocity. Under these conditions, the basic flow equation has been entirely solved and the coefficient of surface friction has been found to be significantly different from the results of previous literature, in the presence of second order slip rates. Another research by [26] has focused on joule heating, and second-order the distributor flow at MHD stagnation on a permeable medium with joule heating and second order slip condition. They have numerically and graphically modelled the effects of viscous diffusion, Joule heating and the second-order slip on flow area by comparing various values of the basic parameters.

Generally, the second-order slip velocity boundary conditions are it is shown in equation (1).

$$u_s - u_w = b_1 \lambda \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_w - b_2 \lambda^2 \left. \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|_w, \quad (1)$$

are explained by this model. Here us slip velocity, u_w wall speed, b_1 first order slip velocity boundary condition coefficients, b_2 second order slip velocity boundary condition coefficients, respectively.

Table 1. b_1 and b_2 Slip velocity boundary condition coefficients

Author	b_1	b_2
Cercignani and Daneri, (1963)	1.1466	0.9756
Cercignani & Lorenzani, (2010)	1.1209	0.2347
Deissler, (1964)	1	9/8
Hadjiconstantinou, (2003)	1.11	0.61
Hsia and Domoto, (1983)	1	1/2
Karniadakis & Beskok, (2002)	1	-1/2
Lorenzani, (2011)	1.1366	0.69261
Mitsuya, (1993)	1	2/9
Pitakarnnop et al., (2010)	1.1466	0.647
Schamberg, (1947)	1	$5\pi/12$

This study demonstrates ten models proposed by [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], and [10] with authors' names and the corresponding coefficients for each model, as tabulated in table 1.

The aim of this study is to reveal the extent to which the coefficients of the second-order slip velocity boundary conditions existing in the literature, when used together with the magnetic parameter "M", affect the velocity profiles in the slip flow.

2. Material and Method

2.1. Formulation Of The Problem

The geometry and coordinate system is displayed in Figure 1. The magnetic Reynolds number is small and has been neglected next to the magnetic field induced by the motion of the electrically conductive fluid. At the same time, electric field strength, Hall effect and Joule heating are neglected. The flow is two-dimensional and the coordinate system is placed in the center of the microplates. The x-axis is placed on the center axis and the y-axis is perpendicular to it. Under these conditions, the basic dimensional equations of the flow under the influence of magnetic field, conservation of mass and conservation of momentum and its equation are given below.

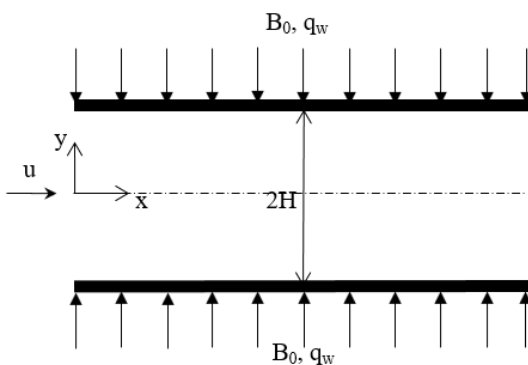


Figure 1. Geometry and coordinate system.

Regarding the above assumption, equation (2) is momentum equation, equations (3) and (4) define the quadratic slip velocity boundary conditions;

$$\frac{d^2u}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} + \frac{\sigma B_0^2}{\mu} u, \quad (2)$$

$$y = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad (3)$$

$$y = +H, \quad u = u_s = -b_1 \lambda \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=+H} - b_2 \lambda^2 \left. \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|_{y=+H} \quad (4)$$

where σ , p , μ , B_0 represent electrical conductivity, pressure, dynamic viscosity and magnetic field strength of the fluid, respectively. Defining directly, u_s is the slip velocity, and λ symbolizes molecular mean free path.

Dimensionless quantities used in the analysis of the physical phenomenon examined in the study

$$X = \frac{x}{H}, \quad Y = \frac{y}{H}, \quad U = \frac{u}{u_m}, \quad U_s = \frac{u_s}{u_m}, \quad P = \frac{pH}{\mu u_m}, \quad (5)$$

It is defined as U dimensionless axial coordinate, dimensionless velocity component in X direction, u_m dimension average velocity, U_s dimensionless sliding velocity, H half distance between plates, Y dimensionless normal coordinate, P dimensionless static pressure.

Dimensionless momentum equation in the X direction and coupled boundary conditions;

$$\frac{d^2U}{dY^2} = \frac{dP}{dX} + M^2 U, \quad (6)$$

$$Y = 0, \quad \left. \frac{dU}{dY} \right|_{Y=0} = 0, \quad (7)$$

$$Y = 1, \quad U = U_s = -2b_1 Kn \left. \frac{dU}{dY} \right|_{Y=1} - 4b_2 Kn^2 \left. \frac{d^2U}{dY^2} \right|_{Y=1}, \quad (8)$$

M is the Hartmann number described by the Eq. (5)

$$M = \left(\frac{\sigma B_0^2 H^2}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

The analytical solution of Eq. (6) which is dependent to the boundary conditions in Eqs. (7-8) is achieved;

$$U = \frac{\zeta_1}{\zeta_2}, \quad (10)$$

$$\zeta_1 = M \text{Cosh}(MY) - M \text{Cosh}(M) - 2b_1 Kn M^2 \text{Sinh}(M) - 4b_2 Kn^2 M^3 \text{Cosh}(M), \quad (11)$$

$$\zeta_2 = \text{Sinh}(M) - M \text{Cosh}(M) - 2b_1 Kn M^2 \text{Sinh}(M) - 4b_2 Kn^2 M^3 \text{Cosh}(M), \quad (12)$$

3. Results and Discussion

In this study, the results obtained for Knudsen numbers range from 0 to 0.1, while for Hartmann numbers it is between 0 and 2.

The impact of first, second order slip boundary condition model on the velocity field is displayed via different slip models, as shown in Figures 2-4, concerning the variations of Kn number, the basic parameter of slip flow, and M , the basic parameter of magnetic field.

Figure 2 exhibits the effect of first and second order slip boundary condition on velocity profile in various slip models, in the absence of magnetic field influence ($M=0$). At $M=0$ and $Kn=0$, non-sliding state occurs on the wall and axis with the first and

second order slip boundary condition models. At $M = 0$, compared to the first order slip boundary condition, as the Knudsen number is increased by the second order slip boundary condition, slip velocity on the plate wall also rises for all models except Model [6] while a lowered effect is seen in axis velocity (maximum velocity) varying by the mass position. In Model [6], checked to the first order, the second order slip boundary condition for $M = 0$ decreases slip velocity on the plate wall with an increase in Kn number while enhancing the velocity on axis (highest velocity) in accordance with mass positioning.

The effect of magnetic field on velocity profile is shown in Figure 3 and Figure 4. Furthermore, slip velocity on the wall is much more increased by arising Knudsen number and magnetic field parameter M in a contradictory effect to the reduced axis velocity. The second order slip boundary condition accentuates this effect even more for all models excluding the Model [6] while making velocity profile more massive (flattened) and causing a larger increase in velocity on the wall than does the first order slip velocity boundary condition. In Model [6], an opposing situation is observed. Here, the second order slip boundary condition model is seen to lower slip velocity on the wall while raising it on the axis, depending on an rise in magnetic field parameter and Knudsen number.

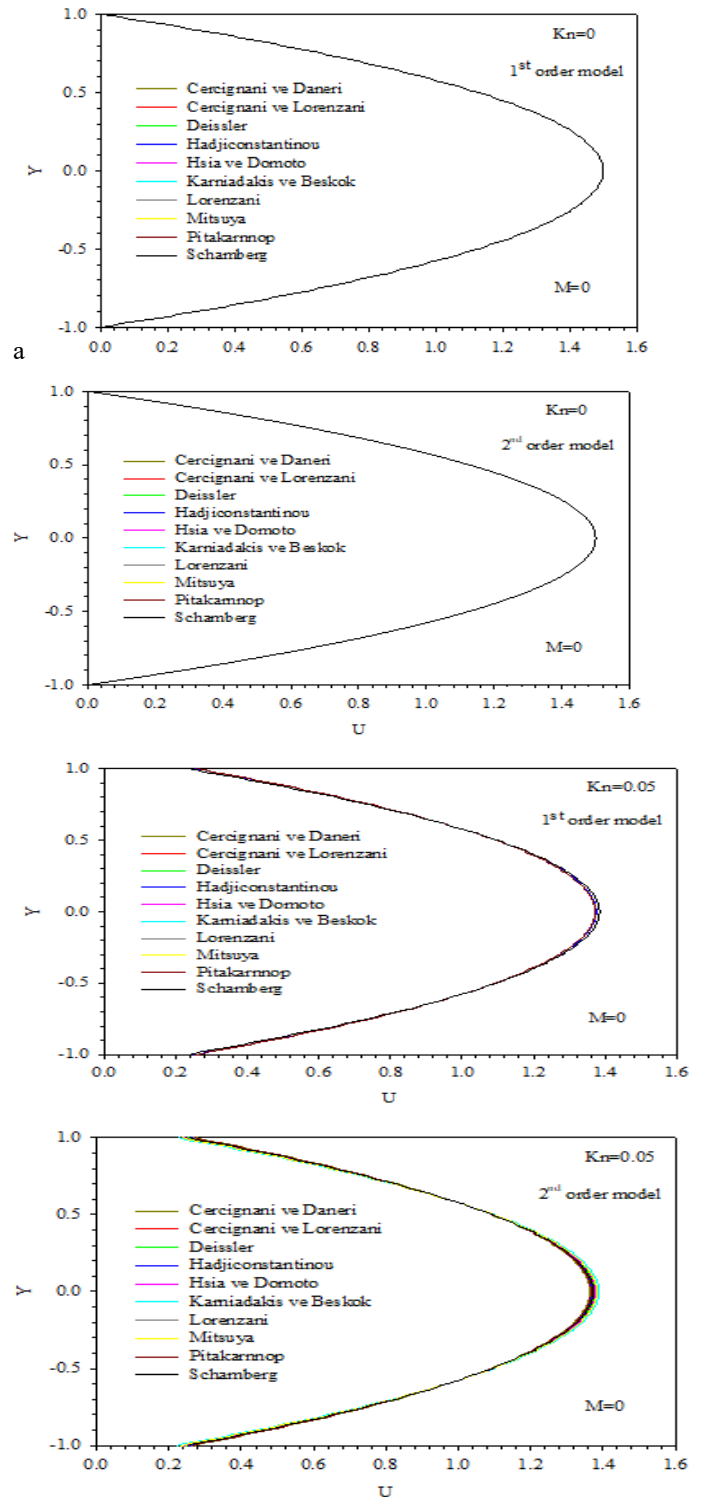
In Figure 2-4, the dimensionless velocities intersect at the same point against the Knudsen number and the slip boundary condition model. This port indicates where the fluid velocity is equal to the medium velocity ($U=1$). Due to the suppression of the velocity profiles by the magnetic parameter M , the intersection point moves away from the axis and approaches the wall surface.

The utilization of second order slip boundary condition model is found out to increase velocity by 8.609% on the wall and decrease it by 1.714% on the axis for model [1] at $M = 0$, $Kn = 0.1$. The increase rate for model [2] is 2.402% on the wall the decrease on the axis is 0.378% ; for model [3], similar trends are detected as 11.473% increase on the wall and 1.886% decrease on axis. The results obtained for proceeding models are as follows: 5.929% increase on wall velocity and 0.978% decrease on axis for model [4]; 5.684% increase on the wall and 0.868% decrease on axis for model [5]; 6.959% decrease on wall velocity and 0.920% increase on axis velocity for model [6]; an increase of 6.459% on the wall and a decrease of 1.090% on the axis for model [7], an increase of 2.647% on the wall whereas a decrease of 0.390% on the axis for model [8], an increase of 5.996% on wall velocity whereas 1.013% decrease on axis velocity for model [9] and finally increasing rate of 12.972% on the wall with a decrescent impact on the axis by 2.171% model [10].

This variation is triggered by arising magnetic field impact so as to generate a velocity change at $M = 2$, $Kn = 0.1$ with the following scores: An increase by 14.069% on the wall and decrease by 2.638% on the axis for model [1], 4.352% increase on the wall and 0.705% decrease on the axis for model [2]; 11.473% velocity increase on the wall and 1.886% decrease on the axis for model [3] with no change at $M = 0$ and $M = 2$. The values appear as 10.164% increase on the wall and 1.764% decrease on the axis for model [4]; 9.843% increase on the wall and 1.598% decrease on the axis for model [5]; 15.00% decrease on the wall whereas 1.837% increase on the axis for model [6], 10.940% increase on the wall and 1.954% decrease on the axis for model [7]; an increase of 4.838% in wall velocity whereas a decrease of 0.739% in axis velocity for model [8]; an increase in wall velocity by 10.233% with a decreasing value of 1.819% on

the axis model for model [9], an increase on the wall by 20.162% whereas a decreasing velocity of 3.767% on the axis for model [10].

For models [1,2,4,5,7-10], the magnetic field fosters a reducing effect on wall slip velocity whereas an enhancing impact on the axis. The magnetic field is remarked to bring out a reverse situation for model [6] with an increasing slip velocity on the axis and decrescent one on the wall. Yet, no change is noted for model [3].



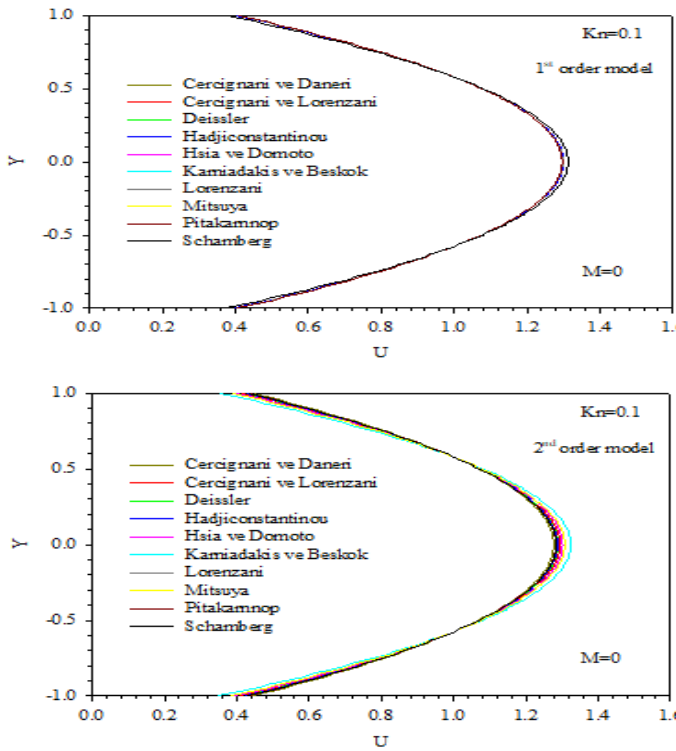


Figure 2. The impact of second order slip boundary conditions coefficient for various slip models on fully developed velocity profile ($M = 0$).

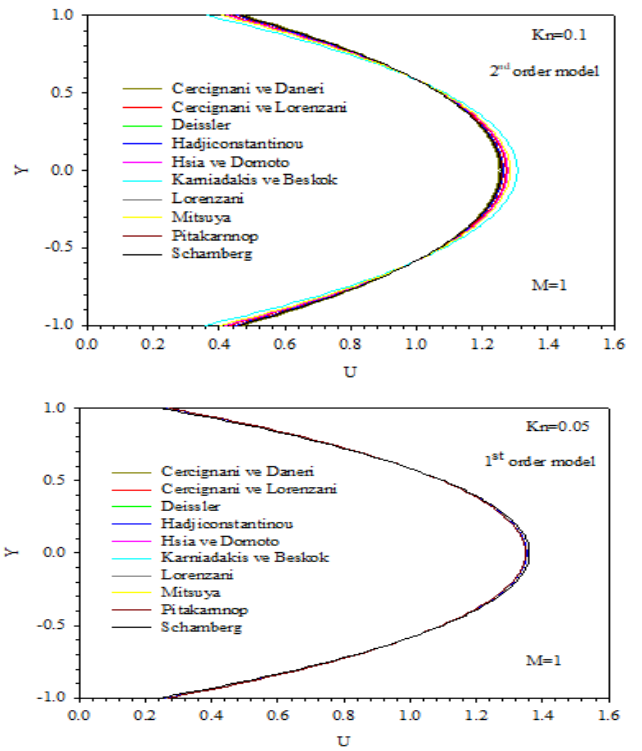
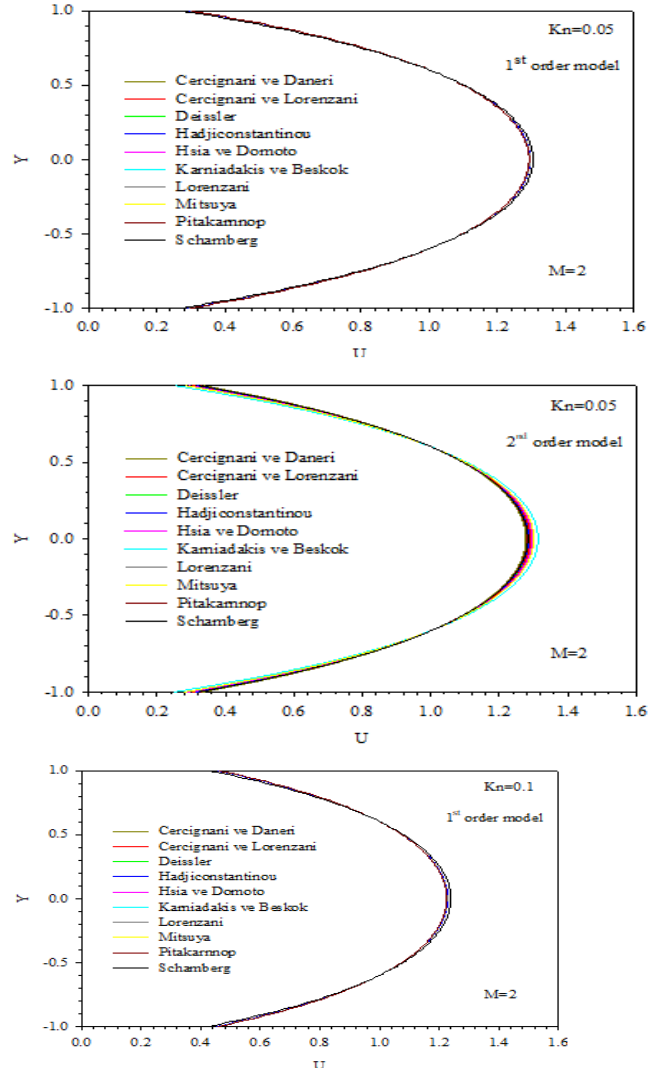
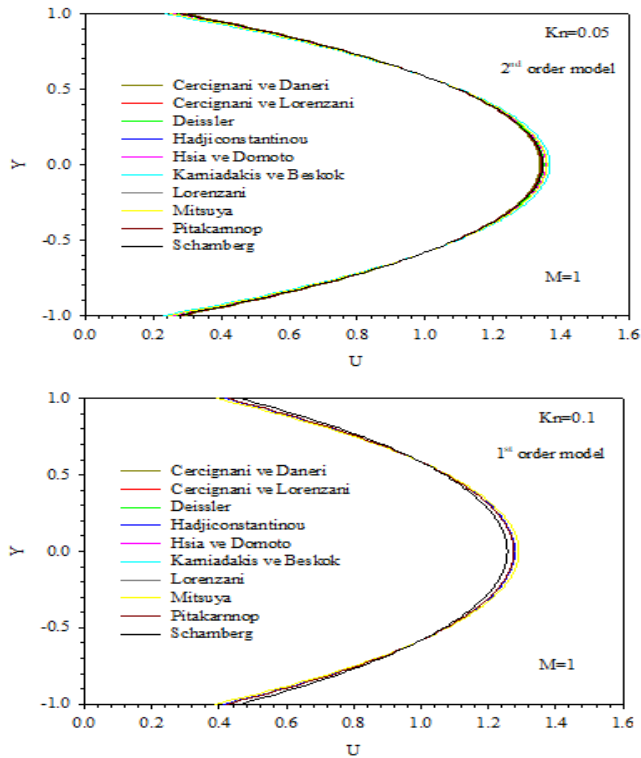


Figure 3. The impact of second order slip boundary conditions coefficient model for various slip models on fully developed velocity profile ($M = 1$).



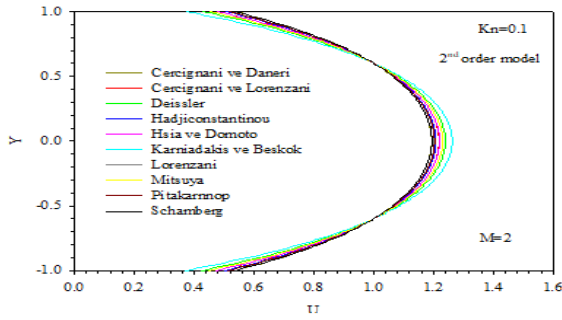


Figure 4. The impact of second order slip boundary condition coefficient for various slip models on fully developed velocity profile (M= 2).

Table 2. Comparison of slip velocities occurring in the axis at different values of Kn number and M.

Kn	M = 0									
	First order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
0.05	1.372 0	1.374 2	1.384 6	1.375 1	1.384 6	1.384 6	1.372 9	1.384 6	1.372 0	1.384 6
0.10	1.296 2	1.298 9	1.312 5	1.300 1	1.312 5	1.312 5	1.294 3	1.312 5	1.296 2	1.312 5
Kn	Second order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
	0.00	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
0.05	1.364	1.372	1.374	1.370	1.380	1.389	1.367	1.382	1.366	1.373
0.10	1.277	1.294	1.288	1.287	1.301	1.324	1.283	1.307	1.283	1.284

Table 3. Comparison of slip velocities occurring in the axis at different values of Kn number and M.

Kn	M = 1									
	First order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476
0.05	1.348	1.350	1.360	1.351	1.360	1.360	1.349	1.360	1.348	1.360
0.10	1.274	1.277	1.290	1.278	1.290	1.290	1.275	1.290	1.274	1.256
Kn	Second order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
	0.00	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476	1.476
0.05	1.338	1.348	1.348	1.345	1.355	1.366	1.342	1.358	1.341	1.346
0.10	1.251	1.271	1.260	1.262	1.276	1.306	1.258	1.284	1.258	1.256

Table 4. Comparison of slip velocities occurring in the axis at different values of Kn number and M.

Kn	M = 2									
	First order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417
0.05	1.292	1.294	1.304	1.295	1.304	1.304	1.293	1.304	1.292	1.304
0.10	1.225	1.227	1.239	1.228	1.239	1.239	1.226	1.239	1.225	1.239
Kn	Second order									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
	0.00	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417	1.417
0.05	1.277	1.290	1.286	1.285	1.295	1.313	1.282	1.300	1.282	1.283
0.10	1.193	1.218	1.239	1.207	1.219	1.262	1.202	1.230	1.203	1.194

Table 5. Comparison of slip velocities in the wall at different Kn numbers and M values.

Kn	M = 0									
	First order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.255	0.251	0.230	0.249	0.230	0.230	0.254	0.230	0.255	0.230
0.10	0.407	0.402	0.375	0.399	0.375	0.375	0.405	0.375	0.407	0.375
Kn	Second order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.271	0.255	0.250	0.260	0.239	0.221	0.265	0.234	0.266	0.253
0.10	0.446	0.412	0.423	0.425	0.397	0.350	0.433	0.385	0.433	0.430

Table 6. Comparison of slip velocities in the wall at different Kn numbers and M values.

Kn	M=1									
	First order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.268	0.263	0.242	0.261	0.242	0.242	0.266	0.242	0.268	0.242
0.10	0.422	0.417	0.389	0.414	0.389	0.389	0.420	0.389	0.422	0.461
Kn	Second order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.289	0.269	0.268	0.275	0.254	0.229	0.281	0.247	0.282	0.272
0.10	0.472	0.430	0.452	0.448	0.419	0.356	0.457	0.403	0.456	0.461

Table 7. Comparison of slip velocities in the wall at different Kn numbers and M values.

Kn	M = 2									
	First order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.299	0.294	0.271	0.292	0.271	0.271	0.297	0.271	0.299	0.271
0.10	0.460	0.454	0.426	0.452	0.426	0.426	0.458	0.426	0.460	0.426
Kn	Second order									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.334	0.303	0.314	0.315	0.291	0.250	0.322	0.280	0.322	0.321
0.10	0.535	0.475	0.426	0.503	0.473	0.371	0.514	0.448	0.513	0.534

Table 8. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 0									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	-0.57	-0.145	-0.705	-0.372	-0.318	0.323	-0.416	-0.137	-0.387	-0.822
0.10	-1.71	-0.378	-1.886	-0.978	-0.868	0.920	-1.090	-0.390	-1.013	-2.171

Table 9. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 1									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	-0.762	-0.185	-0.919	-0.483	-0.413	0.431	-0.543	-0.184	-0.506	-1.069
0.10	-1.894	-0.487	-2.359	-1.243	-1.112	1.201	-1.382	-0.506	-1.287	-0.000

Table 10. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 2									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=0	[2] Y=0	[3] Y=0	[4] Y=0	[5] Y=0	[6] Y=0	[7] Y=0	[8] Y=0	[9] Y=0	[10] Y=0
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	-1.150	-0.286	-1.407	-0.746	-0.640	0.670	-0.826	-0.292	-0.771	-1.628
0.10	-2.638	-0.705	0.000	-1.764	-1.598	1.837	-1.954	-0.739	-1.819	-3.767

Table 11. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 0									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	5.809	1.564	7.753	3.923	3.632	-4.057	4.290	1.661	3.977	8.882
0.10	8.609	2.402	11.473	5.929	5.684	-6.959	6.459	2.647	5.996	12.972

Table 12. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 1									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±1
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	7.360	1.970	9.765	4.972	4.685	-5.306	5.431	2.142	5.030	11.123
0.10	10.537	3.043	13.932	7.388	7.079	-9.218	7.983	3.371	7.463	0.000

Table 13. Relative percentage changes of velocity depending on different Kn numbers and M values.

Kn	M = 2									
	$\frac{U_{second\ order} - U_{first\ order}}{U_{second\ order}} \times 100$									
	[1] Y=±1	[2] Y=±1	[3] Y=±1	[4] Y=±1	[5] Y=±1	[6] Y=±1	[7] Y=±1	[8] Y=±1	[9] Y=±1	[10] Y=±x
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05	10.529	2.934	13.763	7.233	6.833	-8.43	7.871	3.210	7.342	15.561
0.10	14.069	4.352	0.000	10.164	9.843	-15.0	10.940	4.838	10.233	20.164

4. Conclusions and Recommendations

In the study, velocity distribution was obtained analytically depending on magnetic field parameter M, first and second order slip velocity boundary condition coefficients b₁, b₂ and Knudsen number. The research is based on slip velocity boundary condition coefficients proposed for second order velocity slip boundary condition models by [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] and [10] as shown in Table 1. The results obtained for Knudsen number range between 0 and 0.1 whereas they scale between 0 and 2 for magnetic field parameter referred as Hartmann number. Slip velocity is analytically solved to accumulate Knudsen number depending on the coefficients of first and second order slip boundary conditions b₁ and b₂ as well as the magnetic field parameter M.

Using the second order slip boundary condition coefficient, it is revealed that slip velocity at M = 0 and Kn = 0 in the first and second order slip velocity boundary conditions generate a non-slip state both on the wall and axis. At M = 0, compared to the first order slip boundary condition, as the Knudsen nu is increased by the second order slip boundary condition, slip velocity on the plate wall also rises for all models except Model [6] while a lowered effect is seen in axis velocity (maximum velocity)

varying by the mass position. Furthermore, slip velocity on the wall is much more increased by arising Knudsen number and magnetic field parameter M in a contradictory effect to the reduced axis velocity. The second order slip boundary condition accentuates this effect even more for all models excluding Model [6] while making velocity profile more massive (flattened) and causing a larger increase in velocity on the wall than does the first order slip velocity boundary condition.

For models [1,2,4,5,7-10], the magnetic field fosters a reducing effect on wall slip velocity whereas an enhancing impact on the axis. The magnetic field is remarked to bring out a reverse situation for model [6] with an increasing slip velocity on the axis and decreasing one on the wall. Yet, no change is noted for model [3].

5. Acknowledge

- [1] Cercignani, C. and A. Daneri, Flow of a rarefied gas between two parallel plates. *Journal of Applied Physics*, 1963. 34(12): p. 3509-3513.
- [2] Cercignani, C. and S. Lorenzani, Variational derivation of second-order slip coefficients on the basis of the Boltzmann equation for hard-sphere molecules. *Physics of Fluids*, 2010. 22(6): p. 062004.
- [3] Deissler, R., An analysis of second-order slip flow and temperature-jump boundary conditions for rarefied gases. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1964. 7(6): p. 681-694.
- [4] Hadjiconstantinou, N.G., Comment on Cercignani's second-order slip coefficient. *Physics of Fluids*, 2003. 15(8): p. 2352-2354.
- [5] Hsia, Y.-T. and G. Domoto, An experimental investigation of molecular rarefaction effects in gas lubricated bearings at ultra-low clearances. 1983.
- [6] Karniadakis, G.E., A. Beskok, and M. Gad-el-Hak, *Micro flows: fundamentals and simulation*. *Appl. Mech. Rev.*, 2002. 55(4): p. B76-B76.
- [7] Lorenzani, S., Higher order slip according to the linearized Boltzmann equation with general boundary conditions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2011. 369(1944): p. 2228-2236.
- [8] Mitsuya, Y., Modified Reynolds equation for ultra-thin film gas lubrication using 1.5-order slip-flow model and considering surface accommodation coefficient. 1993.
- [9] Pitakarnnop, J., et al., A novel experimental setup for gas microflows. *Microfluidics and Nanofluidics*, 2010. 8(1): p. 57-72.
- [10] Schamberg, R., *The fundamental differential equations and the boundary conditions for high speed slip-flow, and their application to several specific problems*. 1947, California institute of technology.
- [11] Hartmann, J. and F. Lazarus, Hg-dynamics II. Theory of laminar flow of electrically conductive Liquids in a Homogeneous Magnetic Field, 1937. 15(7).
- [12] Kushwaha, H.M. and S. Sahu, Analysis of gaseous flow in a micropipe with second order velocity slip and temperature jump boundary conditions. *Heat and Mass Transfer*, 2014. 50(12): p. 1649-1659.
- [13] Wu, L., A slip model for rarefied gas flows at arbitrary Knudsen number. *Applied Physics Letters*, 2008. 93(25): p. 253103.
- [14] Singh, G. and A. Chamkha, Dual solutions for second-order slip flow and heat transfer on a vertical permeable shrinking sheet. *Ain Shams Engineering Journal*, 2013. 4(4): p. 911-917.
- [15] Yazdi, M., et al., Slip MHD liquid flow and heat transfer over non-linear permeable stretching surface with chemical reaction. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2011. 54(15-16): p. 3214-3225.
- [16] Colin, S., P. Lalonde, and R. Caen, Validation of a second-order slip flow model in rectangular microchannels. *Heat transfer engineering*, 2004. 25(3): p. 23-30.
- [17] Rahimi, B. and H. Niazmand, Effects of high-order slip/jump, thermal creep, and variable thermophysical properties on natural convection in microchannels with constant wall heat fluxes. *Heat transfer engineering*, 2014. 35(18): p. 1528-1538.
- [18] Roşca, A.V. and I. Pop, Flow and heat transfer over a vertical permeable stretching/shrinking sheet with a second order slip. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013. 60: p. 355-364.
- [19] Roşca, N.C. and I. Pop, Mixed convection stagnation point flow past a vertical flat plate with a second order slip: heat flux case. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013. 65: p. 102-109.
- [20] Turkyilmazoglu, M., Heat and mass transfer of MHD second order slip flow. *Computers & Fluids*, 2013. 71: p. 426-434.
- [21] Aman, S., Q. Al-Mdallal, and I. Khan, Heat transfer and second order slip effect on MHD flow of fractional Maxwell fluid in a porous medium. *Journal of King Saud University-Science*, 2020. 32(1): p. 450-458.
- [22] Liu, Y. and B. Guo, Effects of second-order slip on the flow of a fractional Maxwell MHD fluid. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 2017. 24: p. 232-241.
- [23] Majeed, A., et al., Impact of magnetic field and second-order slip flow of Casson liquid with heat transfer subject to suction/injection and convective boundary condition. *Journal of Magnetism*, 2019. 24(1): p. 81-89.
- [24] Qayyum, S., et al., Modeling and theoretical investigation of curved parabolized surface of second-order velocity slip flow: Combined analysis of entropy generation and activation energy. *Modern Physics Letters B*, 2020. 34(33): p. 2050383.
- [25] Almutairi, F., S. Khaled, and A. Ebaid, MHD flow of nanofluid with homogeneous-heterogeneous reactions in a porous medium under the influence of second-order velocity slip. *Mathematics*, 2019. 7(3): p. 220.
- [26] Sayyed, S., B. Singh, and N. Bano, MHD Stagnation-Point Dissipative Flow in a Porous Medium with Joule Heating and Second-Order Slip, in *Computing, Communication and Signal Processing*. 2019, Springer. p. 601-609.



Digraph groups corresponding to digraphs with one more vertex than arcs

Mehmet Sefa Cihan^{1*}

^{1*} University of Essex, Mathematical Sciences, Colchester, United Kingdom (ORCID: 0000-0002-4303-9023), mc16458@essex.ac.uk

(First received 16 September 2022 and in final form 20 October 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1189983)

ATIF/REFERENCE: Cihan, M. S. (2022). Digraph groups corresponding to digraphs with one more vertex than arcs. *European Journal of Science and Technology*, (41), 31-35.

Abstract

Cuno & Williams [1] examined digraph groups $G_{\Gamma}(R)$ in which the undirected graph is triangle free and $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)|$ (the number of generators and realtors are equal). Cuno & Williams showed there are 6 cases to consider, and Cuno & Williams demonstrated that the corresponding group $G_{\Gamma}(R)$ is either infinite or finite cyclic in most cases. In this paper, we investigate the case $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)| - 1$, which is next step, and we prove that there are 35 cases to consider.

Keywords: Digraph Groups, girth, finite, infinite, cyclic.

Köşelerden bir fazla kenarları olan graflara karşılık gelen yönlendirilmiş graf grupları

Öz

Cuno ve Williams yönlendirilmemiş grafında üçgen bulundurmeyen ve $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)|$ (üreteç ve ilişki sayısı eşit) olan yönlendirilmiş graf gruplarını $G_{\Gamma}(R)$ incelemiştir. Yapılan inceleme neticesinde, Cuno & Williams anlamlı 6 durumun var olduğunu ve bunlara karşılık gelen grupların çoğu durumda sonlu devirli ya da sonsuz olduğunu göstermiştir. Mevzubahis çalışmanın bir sonraki adımı olan $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)| - 1$ durumu bu makalede incelenmekte ve anlamlı 35 durumun var olduğu ispat edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yönlendirilmiş graf grupları, en küçük daire, sonlu, sonsuz, devirli

*This paper is extracted from the Author's PhD thesis (<http://repository.essex.ac.uk/33375/1/Dissertation.pdf>).

*The author is funded by Turkish Ministry of National Education.

*Corresponding Author: mv16458@essex.ac.uk

1. Introduction

Presentations with more generators than relators must define infinite groups, as seen when the groups are abelianized [3, page 84]. Cuno & Williams [1] examined digraph groups $G_\Gamma(R)$ in which the undirected graph is triangle free (i.e., the girth $g(\Gamma) \geq 4$) and $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)|$ (the number of generators and relators are equal). Cuno & Williams showed there are 6 cases to consider, and Cuno & Williams demonstrated that the corresponding group $G_\Gamma(R)$ is either infinite or finite cyclic in most cases. The purpose of this present work is to prove that there are 35 classes of digraphs in the case $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)| - 1$. We also state how the corresponding group for a digraph present as a digraph group.

We first explain certain terms for digraphs before making the theorem. A digraph whose underlying undirected graph is connected is referred to as a weakly connected digraph. Sources are vertices with positive outdegree and zero indegree, sinks are vertices with positive indegree and zero outdegree, and leaves are vertices whose indegree and outdegree total to one. Every leaf is either a source or a sink.

We will use a remark when constructing the graphs. Therefore, we state it here.

Remark [1. page 7]. “This statement introduces a **reflection principle**: Let Γ be any digraph, and $R(a, b)$ be any word. Then, the digraph Γ' may be defined as being formed by interchanging every arc with the opposite direction, and the word $R'(a, b)$ as the word that results from interchanging the letters a and b and replacing every letter with its inverse, thus α and β are also interchanged. Then, $G_\Gamma(R) \cong G_{\Gamma'}(R')$ ”.

2. Proving the main theorem

We need to refer to certain classes of digraphs, Therefore, the graphs are created under the following conditions.

(i). Γ is connected ($G_\Gamma(R) \cong G_{\Gamma_1}(R) * \dots * G_{\Gamma_N}(R)$ if Γ is disconnected with components $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$. We can therefore assume that Γ is connected) [2, page 13].

(ii). $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)| - 1$ (the group is infinite if $|V(\Gamma)| > |A(\Gamma)|$ [3], and Cuno and Williams demonstrated all possible digraphs for $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)|$ in [1]).

(iii). $0 \leq \sigma_1 \leq \sigma \leq 1$ and $0 \leq \tau_1 \leq \tau \leq 1$ where $\sigma, \sigma_1, \tau, \tau_1$ are the number of sources, source leaves, sinks, and sink leaves, respectively (it is explained why we should search between 0 and 1 in [1]).

(iv). $\sigma \geq \tau$ and if $\sigma = \tau$, then $\sigma_1 \geq \tau_1$ (by reflection principle).

Main Theorem:

There are 35 possible digraph families as indicated in Figure 3 and Figure 4 under above circumstances (i)-(iv).

Proof.

There are two options because the entire digraph is connected. Think about the scenario when the graph has no leaves at first. There are two options for the form of the underlying graph. The first one is that two cycles are fused together with a path connecting them to create the underlying

graph (as in Γ_1); the other one is to connect two cycles using a path that is shared by both cycles (as in Γ_2). The graphs are shown in Figure 1, where two specific vertices k and l are identified. Now, Γ_1 and Γ_2 in Figure 1 need to be directed to examine the possible digraph families.

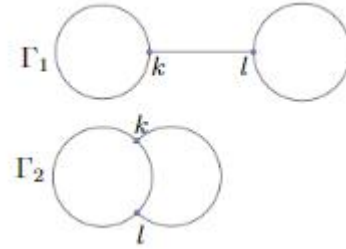


Figure 1: Two possible undirected graphs with $|V| = |A| - 1$

By conditions (iii) and (iv), we have $(\sigma, \tau) = (0, 0), (1, 0)$ or $(1, 1)$.

Case 1: $(\sigma, \tau) = (0, 0)$. Then $(\sigma_1, \tau_1) = (0, 0)$.

This case is with no source and no sink.

For Γ_1 , this is (i) in Figure 2: these 2 cycles do not have a source or a sink and thus they are the directed cycles and the path between them could be in any direction (basically from l to k or k to l , which do not matter since both cases are isomorphic to each other.

For Γ_2 , there are $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ possibilities to direct this undirected graph because there are 2 possibilities in the first cycle, second cycle and intersection part of the cycles for each one (basically from k to l or l to k for each one).

(1) It is not feasible because k is a source, which is not possible, if k to l for the first cycle, the intersection part of the cycles and the second cycle.

(2) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is produced by converting the first cycle and the intersection part of the cycles from k to l , and the second cycle from l to k .

(3) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is produced by converting the first cycle and the second cycle from k to l , the intersection part of the cycles from l to k .

(4) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is produced by converting the first cycle from k to l , the intersection part of the cycles and the second cycle from l to k .

(5) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is produced by converting the first cycle from l to k , the intersection part of the cycles and the second cycle from k to l .

(6) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is obtained by converting the first cycle and the second cycle from l to k , and the intersection of the cycles from k to l .

(7) The one that is isomorphic to (vii) in Figure 2 is obtained by converting the first cycle and the intersection part of the cycles from l to k , and the second cycle from k to l .

(8) It is not feasible because k is a sink, which is not possible, if l to k for the first cycle, the intersection part of the cycles and the second cycle.

Case 2: $(\sigma, \tau) = (1, 0)$. Then $(\sigma_1, \tau_1) = (0, 0)$ or $(1, 0)$.

This case is with 1 source and the first possibility is that there are 1 source and no leaves.

Case 2(a): $(\sigma, \tau) = (1, 0)$ and $(\sigma_1, \tau_1) = (0, 0)$

For I_1 , this source could be on any of the cycles (it makes no difference because they are isomorphic) or on the path that connects the cycles. If the source is on the cycle (say on first cycle), then k cannot be a sink because the path that connects the cycles has to be from k to l and the second cycle cannot have one more sink or source since the entire digraph has 1 source and no sink in total and this second cycle is a directed cycle basically. Thus, this is result in (ii) in Figure 3.

If this source is on the path that connects the cycles (let t be a source $k \leq t \leq l$), then there is a path from t to k and t to l . These cycles cannot have one more sink or source since the entire digraph has 1 source and no sink in total and these cycles are directed cycles basically. Thus, this is result in (iii) in Figure 3.

For I_2 , this source can be on the first cycle, second cycle or intersection of these two cycles. These three possibilities are isomorphic to each other and so we will just consider the case when this source is on the first cycle. Since there is a source on the first cycle there is a path from the source to k and l . Now, to direct the undirected graph, there are $2 \cdot 2 = 4$ possibilities (2 possibilities for each one both intersection part of the cycles and second cycle, which are basically from k to l or l to k).

- (1) It is not feasible because l is a sink if k to l for both second cycle and intersection part of the cycles.
- (2) The one that is isomorphic to (viii) in Figure 3 is obtained by converting the second cycle from l to k and the intersection part of the cycles from k to l .
- (3) The one that is isomorphic to (viii) in Figure 3 is obtained by converting the second cycle from k to l and the intersection part of the cycles from l to k .
- (4) It is not feasible because k is a sink if l to k for both second cycle and intersection part of the cycles.

The second possibility is that there are 1 source and 1 leaf.

Case 2(b): $(\sigma, \tau) = (1, 0)$ and $(\sigma_1, \tau_1) = (1, 0)$

In addition to Case 2(a), there is now a source leaf. To acquire the possible digraphs, we must add a source leaf to Figure 1. Figure 2 depicts the possibilities by labeling three vertices t, k, l .

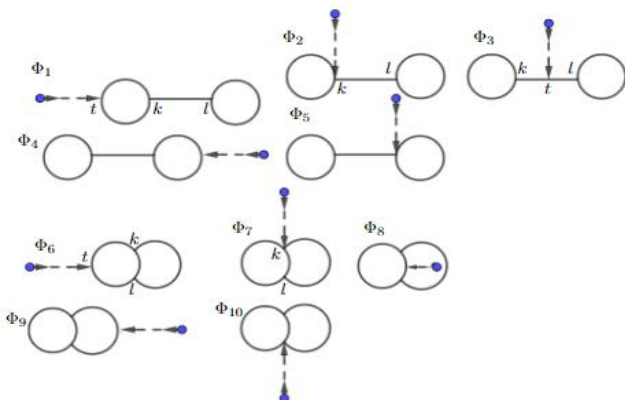


Figure 2: Possible undirected graphs with a source leaf for $|V| = |A| - 1$.

It can be seen that $[\Phi_1$ and $\Phi_4]$, $[\Phi_2$ and $\Phi_5]$, $[\Phi_6, \Phi_8$ and $\Phi_9]$, $[\Phi_7$ and $\Phi_{10}]$, are isomorphic. As a result, while assigning directions to arcs, it is sufficient to evaluate the graphs $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_6, \Phi_7$. It should be highlighted that there cannot be one more source or sink by (iii) since we already have a source leaf in Figure 2.

There are $4 \cdot 2 \cdot 1 = 8$ possibilities (4 possibilities for first cycle-basically t to k or k to t for upper part of the cycle and also for lower part of the cycle-, 2 possibilities for intersection part of the cycles (basically k to l or l to k) and only 1 possibility for second cycle (it has to be a directed cycle) to direct the undirected graph Φ_1 in Figure 2.

- (1) The one that is isomorphic to (xii) in Figure 4 is obtained by converting upper part and lower part of the first cycle from t to k and intersection part of the cycles from k to l .
- (2) It is not feasible because k is a sink, which is not possible, if t to k for upper part and lower part of the first cycle l to k for intersection part of the cycles.
- (3) The one that is isomorphic to (xiii) in Figure 4 is obtained by converting upper part of the first cycle from t to k , lower part of the first cycle from k to t and intersection part of the cycles from k to l .
- (4) The one that is isomorphic to (xiv) in Figure 4 is obtained by converting upper part of the first cycle from t to k , lower part of the first cycle from k to t and intersection part of the cycles from l to k .
- (5) The one that is isomorphic to (xiii) in Figure 4 is obtained by converting upper part of the first cycle from k to t , lower part of the first cycle from t to k and intersection part of the cycles from k to l .
- (6) The one that is isomorphic to (xiv) in Figure 4 is obtained by converting upper part of the first cycle from k to t , lower part of the first cycle from t to k and intersection part of the cycles from l to k .
- (7) It is not feasible because k is a source, which is not possible, if k to t for upper part and lower part of the first cycle k to l for intersection part of the cycles.
- (8) It is not feasible because t is a sink, which is not possible, if k to t for upper part and lower part of the first cycle l to k for intersection part of the cycles.

When the graphs in Figure 2 are directed by using same method, we have (xvii) and (xviii) for the graph Φ_2 , (xv), (xvi) for the graph Φ_3 , (xxviii), (xxix), (xxx) for the graph Φ_6 and (xxvi), (xxvii) for the graph Φ_7 .

Case 3: $(\sigma, \tau) = (1, 1)$. Then $(\sigma_1, \tau_1) = (0, 0), (1, 0)$ or $(1, 1)$.

This case is with 1 source and 1 sink and the first possibility is that there are no source leaves and no sink leaves.

Case 3(a): $(\sigma, \tau) = (1, 1)$ and $(\sigma_1, \tau_1) = (0, 0)$

The resulting digraphs are (iv), (v), (vi) in Figure 3 after directing the graphs I_1 in Figure 1 and (ix), (x), (xi) in Figure 4 after directing the graphs I_2 in Figure 2.

The second possibility is that there is 1 source leaf and no sink leaves.

Case 3(b): $(\sigma, \tau) = (1, 1)$ and $(\sigma_1, \tau_1) = (1, 0)$

The resulting digraphs are (xix), (xx) and (xxi) in Figure 4 after directing the graphs Φ_1 in Figure 2, (xxiv) and (xxv) in Figure 4 after directing the graphs Φ_2 in Figure 2, (xxii), (xxiii) in Figure 4 after directing the graphs Φ_3 in Figure 2, (xxxiii), (xxxiv), (xxxv) in Figure 4 after directing the graphs Φ_6 in Figure 2 and (xxxi), (xxxii) in Figure 4 after directing the graphs Φ_7 in Figure 2.

Case 3(c): $(\sigma, \tau) = (1, 1)$ and $(\sigma_1, \tau_1) = (1, 1)$

The last possibility is that there are 1 source leaf and 1 sink leaf. Because there must be an arc between every source and sink, it is impossible for this situation to exist. Otherwise, the digraph with two vertices and one arc between them would have more vertices than arcs.

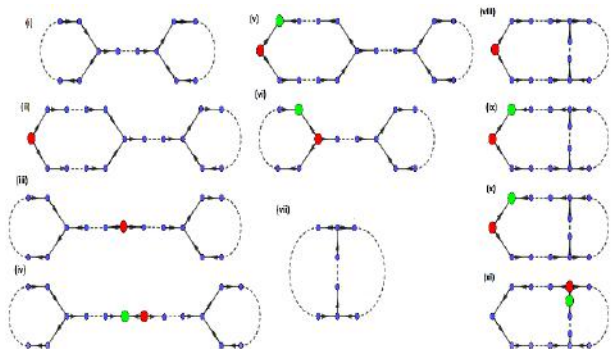


Figure 3: Classes of digraphs without leaf

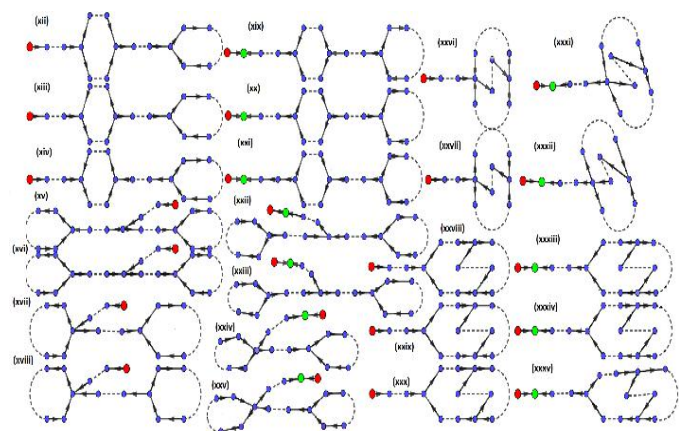


Figure 4: Classes of digraphs with leaf

3. Digraph groups

We will now specify how to construct a group presentation from a digraph. Let Γ be a finite digraph with vertex set $V(\Gamma)$ and (directed) arc set $A(\Gamma)$. The vertices $v \in V(\Gamma)$ correspond to the generators x_v and the arcs $(u, v) \in A(\Gamma)$ correspond to the relators $R(x_u, x_v)$ so that the group $G_\Gamma(R)$ is defined by the presentation

$$P_\Gamma(R) = \langle x_v \ (v \in V(\Gamma)) \mid R(x_u, x_v) \ ((u, v) \in A(\Gamma)) \rangle$$

A group is called a **digraph group** if it is isomorphic to $G_\Gamma(R)$ for some Γ and R [1].

Notational Convention 3.1 [1]. “We use α and β to represent the exponent sums of a and b in a cyclically reduced word $R(a, b)$, respectively, and K is used to indicate a group defined *e-ISSN: 2148-2683*

by the presentation $\langle a, b \mid R(a, b) \rangle$. As far as cyclic permutation is considered, the word R has the form $a^{\alpha_1} b^{\beta_1} \dots a^{\alpha_t} b^{\beta_t}$ with $t \geq 1$ and $\alpha_i, \beta_i \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$ ($1 \leq i \leq t$).”

Pride defined the following property in [4, page 246]. “If no non-empty word of the form $a^k b^{-l}$ ($k, l \in \mathbb{Z}$) is equal to the identity in that group, then a two-generator group with generators a and b is said to have Property W_1 (with respect to a and b). Under the hypothesis that the girth of the underlying undirected graph of Γ is at least 4”. The conclusion that $G_\Gamma(R)$ is neither finite of rank 3 nor trivial cannot necessarily be drawn if the underlying undirected graph of Γ , or the undirected graph created from by replacing each directed edge with an undirected edge, has a cycle of length 2 or 3. We therefore put forth the hypothesis that the undirected graph of Γ has a girth of at least 4 [1].

Corollary 3.2 [4, Theorem 4]. “Let Γ be a non-empty finite digraph whose underlying undirected graph has the girth $g(\Gamma) \geq 4$ and let $R(a, b)$ be as in notational convention. If K has Property W_1 , then $G_\Gamma(R)$ is infinite”.

Therefore, it is crucial to research groups that do not have Property W_1 .

Proposition 3.3 [4, page 248]. If $k, l \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$ with $a^k = b^l$ in K are present, then, $a^\alpha = b^\beta$ in K , where $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$.

Thus, $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$ and $a^\alpha = b^\beta$ in K if and only if K does not have Property W_1 .

Now we know that our relator is $a^\alpha = b^\beta$. We will explain how it works in an example to understand how a digraph group can present.

Example 3.4. Let Λ be a digraph as in Figure 5 (this is just one of the possibilities for Γ_1 in Figure 1), below.

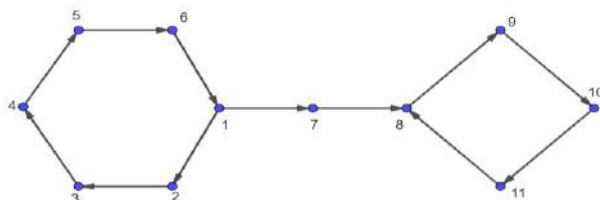


Figure 5: An example of a diigraph

The small circles are the generators and the lines between them are the relators. The corresponding digraph groups $G_\Lambda(R)$ can present as

$$\langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, \mid R(x_1, x_2), R(x_2, x_3), R(x_3, x_4), R(x_4, x_5), R(x_5, x_6), R(x_6, x_1), R(x_1, x_7), R(x_7, x_8), R(x_8, x_9), R(x_9, x_{10}), R(x_{10}, x_{11}), R(x_{11}, x_8) \rangle,$$

where each relator $R(a, b) = a^\alpha b^{-\beta}$ ($\alpha \neq 0, \beta \neq 0$).

Now the question is whether the corresponding digraph group write in terms of one generator. If yes, then we could say this digraph group is finite cyclic (the author assures that this answer and more is true).

4. Conclusions and Recommendations

In this paper, we proved that there are 35 classes of digraphs to consider in the case $|V(\Gamma)| = |A(\Gamma)| - 1$. We also describe how a class of digraphs is represented by a corresponding group, known as a digraph group.

Open question. When we think in general, the example 3.4 above is just one small case for one digraph family in 35 possible digraph families as we already show. Can this find a way to show all of them are finite or infinite. If yes, then what the order is for finite ones.

5. Acknowledge

Many thanks to Prof. Gerald Williams for his very helpful comments and suggestions.

References

- [1] Cuno, J and Williams, G. (2020). A class of digraph groups defined by balanced presentations. In: *J. Pure Appl. Algebra* 224(8), pp. 106342, 16. issn: 0022-4049. doi:10.1016/j.jpaa.2020.106342
- [2] Bondy, J. A. and Murty, U. S. R. (1982). *Graph theory with applications*. Fifth. Vol. 290. American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, pp. x+ 264.
- [3] Johnson, D. L. (1997). *Presentations of groups*. Second. Vol. 15. London Mathematical Society Student Texts. Cambridge University Press, Cambridge, pp. xii+216. isbn: 0-521-58542-2. doi: 10.1017/CBO9781139168410.
- [4] Pride, S. J. (1987). Groups with presentations in which each defining relator involves exactly two generators. In: *J. London Math. Soc. (2)* 36.2, pp. 245–256. issn: 0024-6107. doi: 10.1112/jlms/s2-36.2.245.



Endüstri 4.0'ın Uygulanmasında Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Teşviği Alan Firmaların Durum Değerlendirilmesi

Damla Çevik Aka^{1*}

^{1*} Kırklareli Üniversitesi, İşletme Bölümü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı, Kırklareli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9622-273X), damlacevik@sakarya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 11 Şubat 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.961437)

ATIF/REFERENCE: Çevik Aka, D. (2022). Endüstri 4.0'ın Uygulanmasında Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Teşviği Alan Firmaların Durum Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 36-47.

Öz

Endüstri 4.0'ın kritik başarı faktörlerini somutlaştırmasındaki literatür ve ampirik çalışmalardaki eksiklik, bu alandaki çalışmalara olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Çalışmanın birincil amacı, bugünün ve geleceğin üretim alanlarında etkili olan endüstri 4.0 için gereken anahtar başarı faktörlerini belirleyebilmek ve önceliklendirmektir. Ardından belirlenen kriterlerle Endüstri 4.0 kapsamında yatırım teşviği alan farklı sektörlerdeki işletmeler için teşvik sonrası durum değerlendirilmesi yapılmaktadır. Araştırmaya konu olan işletmeler, Kocaeli'nde otomotiv, plastik ve alüminyum sektöründe faaliyet gösteren küçük ölçekli firmalardır. Çalışmada birden fazla karar vericinin, birkaç alternatifin ve çok kriterin yer alması ve sezgisel değerlendirmelerin de hesaba katılması sebebiyle Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS kullanılmıştır. Literatürden şekillenen sekiz kriter ve teşvik almış üç firma, yatırım desteği sunan kurumun üç uzman mühendisi tarafından değerlendirilmiştir. Çalışma, bulanık TOPSIS yönteminin işletmelerin mevcut durum değerlendirilmelerinde etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kritik Başarı Faktörleri, Aralık tip-2 Bulanık TOPSIS, Endüstri 4.0, Bulanık TOPSIS, Durum Analizi.

Determination of Critical Success Factors in the Implementation of Industry 4.0 and Evaluation of the Situation of Firms Receiving Investment Incentives with the Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS Method

Abstract

The lack of literature and empirical studies in concretizing the critical success factors of Industry 4.0 reveals the need for studies in this field. The primary purpose of the study is to identify and prioritize the key success factors required for industry 4.0, which is effective in the production areas of today and the future. Then, a post-incentive situation assessment is made for businesses in different sectors that receive investment incentives within the scope of Industry 4.0 with the determined criterias. The businesses in the research are small-scale firms operating in the automotive, plastic and aluminum sectors in Kocaeli. In the study, Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS, one of the Multi-Criteria Decision Making Methods, was used due to the presence of more than one decision maker, several alternatives and multiple criteria, and intuitive evaluations. Eight criterias shaped from the literature and three firms that received incentives were evaluated by three expert engineers of the institution providing investment support. The study has shown that the fuzzy TOPSIS method can be used as an effective method for evaluating the current situation of the firms.

Keywords: Critical Success Factors, Interval Type 2 Fuzzy TOPSIS, Industry 4.0, Fuzzy TOPSIS, Situation Analysis.

* Sorumlu Yazar: damlacevik@sakarya.edu.tr

1. Giriş

2011 yılı sonrasında dijital teknolojilerin ve internetin üretim sistemleri içinde kullanım ihtiyacının artması ile beraber küresel düzeyde Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bir dönem başlamıştır. Firmaların gelişmek, çağın gerisinde kalmamak ve dönüşümün faydalarından yararlanmak gibi sebeplerinden dolayı yeni endüstriyel süreç için kritik adımları doğru uygulaması bir gereklilik haline gelmiştir. Üretimde karmaşıklığın ortadan kaldırılarak daha sade iş akışlarının gerekliliği, çalışanların üretim süreçlerine yüksek derecede hakim olma isteği, bütün bunlarla beraber işletmelerin karlılığını artırma arzusu (Hofmann ve Rüşch, 2017) ve kentsel çevrenin özellikle sürdürülebilir bir yapıya dönüşme gayreti yeni endüstriyel dönüşümü etkilemiştir.

Teknolojinin gelecekteki yönelimleri belirsiz olduğundan, firmaların Endüstri 4.0 gibi bugünün endüstrisini takip ederek uygun stratejiler belirlemeleri gerekmektedir (Ivanov vd., 2016). Hem stratejik hem de teknolojik perspektiften Endüstri 4.0'a geçiş, üretim tesislerinde tamamen dijital bir dönüşüme giden ve her adımı görselleştiren kapsamlı bir stratejik yol haritasına duyulan önemi arttırmıştır (Sarvari vd., 2018). Büyük dijital dönüşüm sürecinin başarılı ve uzun vadede süreklilik sağlaması için kritik olan stratejik adımların doğru belirlenmesidir. Endüstri 4.0'ın gerektirdiği bu süreç, şirketlerin yenilik yapma kapasitesini zorlarken, diğer taraftan yeni stratejiler ve organizasyon modelleri ile fiziksel altyapı, üretim operasyonları ve teknolojileri, insan kaynakları ve uygulamaları yönetiminde büyük değişiklikler gerektirmektedir (Gilchrist, 2016) ve bütün bu süreçler için firmaların büyük yatırımlar yapması önem kazanmaktadır.

Endüstri 4.0'a dair uygulama eksikliğinin mevcut olmasının yanı sıra, akademik açıdan da durum benzerdir. Herman vd. (2016)'nin çalışmasında, Endüstri 4.0 ile ilgili akademik çalışmaların mevcut dönem içerisinde yetersiz olduğu vurgulanmıştır. Literatürde Endüstri 4.0'ın uygulanmasındaki potansiyel kritik başarı ölçütlerine dair çalışmaya da az rastlanmaktadır (Hoyer vd., 2020; Pozzi vd., 2020). Mevcut literatür incelendiğinde araştırmacılar farklı boyutlar üzerinden konuyu tartışmıştır.

2015 yılında Endüstri 4.0 Platformu bu yeni dönüşümün 4 şekilde oluşabileceğini ifade etmiştir. Bunlar (Industrie 4.0 Platform, 2015): *dikey bütünleştirme (entegrasyon), yatay bütünleştirme, akıllı ürünler* ve değer katan *insan faktörüdür*. Lichtblau (2015), Endüstri 4.0'ın tüm potansiyelinden faydalanmak üzere, dijital dönüşüm sürecinde işletmelerin başarılı olabilmesi özellikle rekabet edebilmesi için Readiness Modelini geliştirmiştir. Model, Almanya'nın makine mühendisliği endüstrisindeki önemli işletmelerin, Endüstri 4.0 sürecindeki hazırlık derecesini ölçmek üzere tasarlanmıştır (Lichtblau, 2015). Modeldeki boyutlar Endüstri 4.0 Platformu tarafından önerilen dört boyutun geliştirilmiş şeklidir: *strateji ve organizasyon, akıllı fabrikalar, akıllı süreçler, akıllı ürünler, veri odaklı hizmetler ve çalışanlardır*.

Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 sürecinin başarısında etkili olan kritik başarı kriterlerini belirleyebilmek ve bu kriterleri uygulama sonrası önceliklendirerek ağırlandırabilmektir. Diğer taraftan, Endüstri 4.0 dönüşümü için yatırım teşviği alan farklı sektörlerdeki (otomotiv, plastik ve alüminyum) üç firma üzerinden ilgili kriterler doğrultusunda potansiyel durumlarının tespitinin yapılması da amaçlanmaktadır. Ayrıca bu dönüşüm ve değişim sürecinde olan işletmelerin de gerçek durumlarının

analizi açısından çalışma önemli görülmektedir. Çalışmada ilgili başarı kriterlerinin uzmanların sezgisel değerlendirmeleri sonucunda sıralanmasının literatüre katkı sağlaması beklenirken, uygulayıcılar açısından da endüstri 4.0 dönüşümüne hazırlanan veya hazırlanacak işletmelerin potansiyel başarısı için gerekli kriterleri tespit ederek, kendi eylem planlarını oluşturmaları açısından destekleyici olması beklenmektedir. Uygulamada birden fazla kriterin olması ve sezgisel değerlendirmeleri hesaba katması açısından çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Uygulama sonucunda, Endüstri 4.0 kapsamında yeni bilgi sistemleri ve gelişmiş teknolojilerin işletmelere başarılı uygulanması ile işletmelerin bu dönüşüme daha kolay ve başarılı şekilde adapte olacağı belirlenirken, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren işletmenin diğer firmalara nazaran süreci daha başarılı yönettiği şeklinde de sonuca ulaşılmıştır.

2. Literatür İncelemesi

Endüstri 4.0'ın kritik başarı faktörlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar özellikle 2016 yılından sonra, hem literatüre katkı sağlayacak hem de uygulayıcılara yön gösterecek şekilde artmıştır. Schumacher vd. (2016), yeni sanayi dönemi için kritik başarı faktörlerini; *strateji, liderlik, müşteri, ürünler, operasyonlar, kültür, insanlar, hükümet ve teknoloji* olarak tanımlamıştır. Roblek vd. (2016) Endüstri 4.0 sürecindeki kritik faktörleri; *akıllı ürünler, akıllı fabrika, dikey entegrasyon, ürün kişiselleştirme, nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti* olmak üzere 6 boyut üzerinden incelemiştir. Gunasekaran, vd., (2016), *modülerlik, kişiselleştirme ve nesnelerin interneti* olmak üzere 3 temel kritere odaklanmıştır. Aynı yıl Schumacher vd., Endüstri 4.0'ı destekleyen ve olgunlaşma sürecinde etkili olan boyutları *strateji, liderlik, müşteriler, ürünler, operasyonlar, kültür, insanlar, hükümet ve teknoloji* olarak tanımlamıştır.

Koçak ve Diyadin (2018) ise çalışmalarında, *stratejik vizyon, örgütsel yapı, değer zincirinde yatay bütünleştirme, dikey bütünleştirme, teknolojik alt yapı, akıllı fabrikalar, nitelikli iş gücü yapısı, büyük veri yönetimi ve güvenlik* olmak üzere 9 temel kritere odaklanmıştır. Akdil vd. (2018), Endüstri 4.0 perspektifinde başarı kriterlerini *gerçek zamanlı veri yönetimi, çeviklik, hizmet baskınlık, entegre işletme süreçleri, birlikte çalışılabilirlik, sanallaştırma ve toplanan verilerin analizi* olarak açıklamıştır. Son yıllardaki çalışmalara bakıldığında ise Moeuf vd. (2020)'nin kritik başarı faktörlerini belirlemek istedikleri çalışmada, aynı zamanda sürecin riskleri ve fırsatlarına da değinmiş ve kapsamlı bir çalışma ortaya koymuşlardır. Ayrıca yazarlar sektörel bir daraltma yaparak KOBİ'ler üzerinde çalışmış ve üç kritik başarı faktörünü *eğitim, strateji ve veri kullanımı* olarak belirlemiştir. Nwaiwu vd. (2020) de Moeuf vd.'nin yaptığı çalışmaya benzer şekilde uygulama alanını KOBİ olarak sınırlandırmış ve *strateji, insan kaynakları, dijital teknolojilerin uygunluğu ve uyumlu organizasyon yapısını* kritik faktörler olarak vurgulamıştır. Hoyer vd. (2020), Endüstri 4.0'ı uyarılma ve uygulanmasına ilişkin yaptıkları sistematik literatür incelemesi sonrasında belirledikleri faktörler; *bulunan sektör ve şirket büyüklüğü, siyasi destek, BT standardizasyonu ve güvenliği, kurumsal işbirliği, mevcut finansman durumu, bilgi ve eğitim, uyum sağlama, algılanan faydalar, strateji, BT altyapısı, şirket içi bilgi ve beceri geliştirme, yalın üretim deneyimi, iş sağlığı ve güvenliğidir*. Calabrese vd. (2020), Endüstri 4.0'ın teknolojik olanaklarını, hedeflerini ve zorluklarını araştırdıkları çalışmada kritik faktörleri; *üretim hatları teknolojileri, akıllı işçi teknolojileri, akıllı ekipmanlar, bilgi işlem teknolojileri, paylaşım teknolojileri,*

akıllı ürünler, veri analitiği, ağ teknolojileri ve siber güvenlik teknolojileri olarak tanımlamıştır.

Bahsi geçen çalışmaların modelleri ve diğer literatür incelemeleri temel alınarak bu çalışmanın odağını oluşturan başarı faktör kriterleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Belirlenen faktörler, çalışmalarda en çok tanımlanan ve önerilen kriterlerden oluşturulmuştur.

Strateji ve organizasyon (değişime ve dönüşüme olan durum): İşletmelerin yeni bir endüstriyel dönüşüme hazır olması için ilk olarak temel bir strateji benimsemeleri ve bu doğrultuda iş modelleri oluşturmaları gereklidir. Endüstri 4.0'ın birçok işletme için büyük bir değişim süreci gerektirmesi kısa dönemli, orta dönemli ve uzun dönemli planlarını ayrı ayrı oluşturma ihtiyacını da doğurmaktadır. Her işletme, belirlediği amaçlara ulaşabilmek için içerisinde birçok stratejinin barındığı yol haritalarına sahiptir. Bu yol haritaları o amaçların nasıl gerçekleşeceğinin cevaplarını verir.

Belirlenen stratejilerin ve modellerin şirketin genel organizasyon yapısıyla uyumu çok önemlidir. Yeni yapılanmanın sistemin bütününe etkileyecek özellikte olması, işletmenin organizasyon yapısı içindeki birimlerin ve genel işletme kültürünün bu değişime hazır olmasını gerektirmektedir. İşletmeler kültür olarak yeniliklere açık, değişimi kabul edilebilir, bilgi paylaşımına açık, yüksek iş birliğine dayanan ve bu doğrultuda çalışanları destekleyen bir anlayışı benimsemelidirler.

Esneklik: Günümüzde ürünlerin yaşam ömürlerindeki kısalma ve tüketici ihtiyaç ve isteklerinin farklılaşmasının sonucu olarak işletmelerin farklı ürün tasarımları oluşturma, inovatif ürünler geliştirme ve üretim yöntemlerinde yenilikler yapma ihtiyacı doğmuştur. Esneklik, Endüstri 4.0 sürecinde işletmelerin başarısı için bir tercih değil gereklilik olarak görülmelidir. Alman Bilim ve Mühendislik Ulusal Akademisi'nin Endüstri 4.0 için yayınlamış olduğu raporda, tüketicilerin özel isteklerini ve ihtiyaçlarını karşılayabilmek için esnek üretim sistemlerine olan ihtiyaçtan bahsedilmiştir (Kagermann Wahlster ve Helbig, 2013).

Akıllı ürünler: İçerisinde çeşitli sensörleri ve işlemcileri barındıran akıllı ürünler, üretim tesisleri içinde bilgi taşımakta, süreç hakkında veri toplamakta ve sonraki etapta sisteme geri bildirim sağlamaktadır (Thames ve Schaefer, 2016). Akıllı fabrikalardaki ürünlerin de 'zeki' yapıda olması sistemi daha kontrol edilebilir, takip edilebilir ve gerektiğinde zaman kaybetmeden önlem alınabilir kılmaktadır. Akıllı fabrikalar içinde yer alan akıllı ürünlerin de sistemle tam entegre şekilde çalışması gerektiği unutulmamalıdır.

Derin birleşme: Yüksek düzeyde bütünleşme gerektiren bu kavram, dördüncü endüstri döneminin fabrikalarında bölümler arası entegrasyonun sağlanarak sistemin bütün olarak çalıştırılması gerektiğini ifade etmektedir. Bu fabrikalarda nesnelere interneti, bilgi teknolojileri ve kablosuz ağlar birbirleri ile bütünleşik bir yapıda çalışmaktadır. Endüstri 4.0 her ne kadar yeni teknolojileri, yazılımları gerektirse de önemli olan mevcut sistemlere bu yeni yapılanmanın düzgün şekilde entegre edilebilmesidir.

Endüstri 4.0 dönüşümünde dikey, yatay ve uçtan uca olmak üzere 3 şekilde gerçekleşen bütünleşme söz konusudur (Wang, Wan, Li ve Zhang, 2016). Yatay bütünleştirme değer zincirindeki tüm şirketler arasındaki iş birliğini sağlamak üzere değer ağlarının bütünleştirilmesi (Foidl ve Felderer, 2015); dikey entegrasyon fabrikada esnek ve yeniden yapılandırılabilir bir

üretim sistemini oluşturmak için hiyerarşik alt sistemlerin entegrasyonudur (Sony, 2018). Böylesine bir yapılanmadaki amaç yüksek esnekliğin ve dönüşümün organizasyondaki diğer birimlerle olan koordinasyonu sonucunda yeni bir sistem oluşturabilmektir. Uçtan uca entegrasyon ise değer zinciri boyunca kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetlerin oluşumunu sağlamaktadır (Stock ve Selinger, 2016). Literatürde bütünleştirme kavramı ifade edildiği gibi üçe ayrılrsa da çalışma içerisinde *derin birleşme* olarak bütünleşik ve genel haliyle yer alacaktır.

Bilgi sistemleri ve yeni teknolojik yapılanma: Endüstri 4.0'ın temel yapılanmasında sanayi ve bilişim teknolojilerinin bir araya getirilmesi, birbirine entegre edilmesi ve verimlilik ile çalışması yer almaktadır. Yeni nesil yazılım ve donanım olarak ifade edilen sistemler daha etkin çalışma esasına dayanan, gerçek ve güvenilir süreçlere sahiptir. Nesnelere interneti, bulut teknolojisi, artırılmış gerçeklik ve simülasyon teknolojileri gibi değer katabilecek birçok modern gelişmiş teknolojinin işletmelerde kullanılabilmesi için gerekli alt yapının oluşturulması en önemli ihtiyaçlardan biridir. Üretim tesisindeki insanlar, makineler, ürünler ve bilgi sistemleri, gelişmiş ağ yapıları ile birbirine bağlanmakta ve etkileşim kurmaktadır (Wang vd., 2016).

Etkin veri kullanımı: Bilgisayar destekli teknolojilerin çok büyük hacimlerde veriyi üretmesi ile bu verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi kilit bir öneme sahiptir. Çünkü işlenmiş veriler işletmenin genel stratejilerini oluşturmaya, başarılı rekabete, ürünlerini ve hizmetlerini geliştirmesine ve süreçlerini iyileştirmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca büyük miktardaki verileri doğru algoritmalarla birleştirmek; yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesinde, işletmedeki bilgi paylaşımını daha hızlı yürütmeye, süreçlerin düzenli işlenmesinde ve geleceğe yönelik keşifsel analizlerin yapılmasında etkili olacaktır (Atzori, 2015).

Kalifiye iş gücü: İçinde bulunulan endüstriyel dönem, ileri imalat teknolojilere olan bağılılığı artırırken daha az fiziksel iş gücüne ihtiyaç duyulmasını da sağlamaktadır. Çünkü bu teknolojik alt yapının kurulmasının bir sonucu olarak insanın yapacağı işler daha kısa sürede, daha az hatayla ve yüksek verimlilik ile makineler tarafından gerçekleştirilecektir. Üretim tesislerinde emek gücünün yerine akıllı makinelerin veya robotların kullanılması, süreçlerde nispeten daha az iş gücünü ve daha yoğun sermayenin kullanılmasına yol açmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2015). Bu süreçte emek gücünün yerini akıl ve beceri almıştır.

Fabrikalarda gereksinim duyulan iş gücünün niteliği; verileri işleyebilmesinden, analiz edebilmesinden, yorumlayabilmesinden ve bu doğrultuda stratejik ve organizasyonel kararları verebilmesinden kaynaklanmaktadır. Potansiyel iş gücü için çalışanlar, yeni teknolojileri kullanan, bir problemle karşılaştıklarında çözüm odaklı yaklaşan, süreci aksatmayan, sistemi bilgisayarlar üzerinden kontrol edebilecek yetkinlikte olan ve gerektiği durumlarda karar mekanizmasını kendi elinde tutan kişiler olmaktadır.

Güvenlik: Endüstri 4.0'da derin ve kapsamlı bağlantıyı sağlayacak ağlar aracılığıyla makinelerin, insanların ve ürünlerin birbiriyle sürekli iletişim halinde bulunmaları aynı zamanda işletmelerin bilişim yönündeki büyük güvenlik önlemlerini alma ihtiyacını da doğurmaktadır. Örneğin; Endüstri 4.0'ın kritik ayaklarından olan IOT'un işletmeler tarafından süreçlerin her aşamada kullanılabilmesi güvenlik ve veri gizliliği sorunlarını da

beraberinde getirmektedir ve güvenlik gereksinimini açığa çıkarmıştır (Abidin vd., 2019). Oysaki stratejik kararların tamamı, veriler üzerinden alınmaktadır. Bu sebeple ihtiyaç duyulan dönüşüm ve gelişim sürecinde verilerin toplanma, takip etme, işleme, analiz etme ve sonucunda yorumlama aşamalarının her birinde sıkı güvenlik önlemlerinin alınması mecburidir.

3. Metodoloji

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) sürecinde değerlendirilen çalışmalarda çoğu zaman bir veya daha çok karar verici bulunmakta ve birçok kriter yer almaktadır. Karar vericiler kendi kararlarını etkileyecek önemli kriterleri ele alarak, seçimleri için bir sıralama yapmak zorunda kalabilirler. Karar vericilerin birden çok kriteri ve genellikle birbiriyle çelişebilen ifadeleri değerlendirme gerekliliği karar verme sürecini zorlaştırabilmektedir. Aynı zamanda ÇKKV'nin kullanılabilirliği için ilgilenilen kriter ağırlıklarının belirlenmiş (kesin) olduğu kabul edilse de, her zaman kesin değerlerle çalışabilmek çok da mümkün olmamaktadır (Kaya vd., 2019). İnsan yargılarının çoğu zaman net olmaması ve kesin değerler ile ifade edilememesinin sonucunda doğru modellemelerin ve doğru seçimlerin yapılabilmesi zorlaşmaktadır (Nädäban vd., 2016). Böyle durumlarla karşılaşıldığı için bulanık mantık önerilmiştir.

Bulanık TOPSIS

ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSIS, ilk olarak Hwang ve Yoon tarafından alternatif kararlar arasındaki mesafeleri ölçen bir teknik olarak önerilmiştir (Çalık, 2019). TOPSIS yönteminde alternatiflerin pozitif çözümlere olan yakınlığı, negatif çözümlere olan uzaklığı hesaplanmakta ve ideal alternatif kararına bu şekilde ulaşılmaktadır. En yaygın kullanılan ÇKKV tekniklerinden biri olan TOPSIS Yöntemi, tedarikçi seçim kararları, pazarlama uygulamaları, finansal değerlendirmeleri, enerji yönetim durumları, üretim sistem problemleri (Özdemir, 2018) gibi birçok farklı amaç için tercih edilmektedir.

TOPSIS yöntemi ile bulanık mantık yaklaşımlarının bir araya getirilmesinin sonucunda Bulanık TOPSIS yöntemi ortaya çıkmıştır. Yöntem, çeşitli alternatiflerin önceliklendirilmesi için mevcut en uygun yöntemlerden biri olan bir Çok Kriterli Karar Verme tekniğidir (Khambhati vd., 2021). Yöntem ile özellikle sözel belirsizliğin olduğu ve karar vericilerin farklı kararlara sahip olabileceği durumlarda sözel yargıları modele yansıtarak kriterlerin doğru değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bulanık TOPSIS yöntemi karar verilecek alternatiflerin değerlendirilmesi ile ortaya çıkan subjektifliğin çoklu karar verme durumlarında olası problemleri yok etmekte ve kararları kolaylaştırmaktadır (Ecer, 2007).

Bulanık TOPSIS yöntemi diğer birçok ÇKKV yöntemine göre daha avantajlıdır. Karşılaştırma ve sıralama problemlerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Analitik Ağ Prosesi (ANP), Bulanık Analitik Ağ Prosesi kullanılmasına rağmen belirsizlik altında ikili karşılaştırma durumlarında Bulanık TOPSIS daha yararlı bir yöntem olarak ifade edilebilir. Çünkü yeni alternatiflerin modele dahil edilmesi veya mevcut alternatiflerin çıkarılması ihtiyacına yöntem daha kolay yanıt vermektedir (Junior vd., 2014).

Literatürde yöntem, makine teçhizat seçimi, performans değerlendirmesi, kuruluş yeri seçimi, tedarikçi seçimi, grup kararlarının verilmesi veya etkinlik analizi gibi birçok farklı amaç için kullanılmaktadır ve Tablo 1'de farklı uygulama alanlarına yer

verilmiştir. Bulanık TOPSIS yönteminin kullanıldığı birkaç çalışma aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Tablo özellikle Bulanık TOPSIS'in farklı çalışma konularında yer aldığı gösterilmesi için oluşturulmuştur. Bir diğer nokta ise daha güncel çalışmalara yer verilme amacıyla 2014 yılı sonraki araştırmalar ifade edilmiştir.

Tablo 1. Bulanık TOPSIS Yönteminin Farklı Amaçlarda Kullanıldığı Çalışmalar

Table 1. Studies Using the Fuzzy TOPSIS Method for Different Purposes

Yazarlar	Yıl	Konu
Wang	2014	Lojistik şirketlerin finansal performanslarını değerlendirmek
Ghazanfari vd.	2014	Liman topluluk sitelerinin iş zekası yeterliliklerini değerlendirmek
Majd vd.	2014	Petrol projelerinin risk analizini çıkarmak
Wanke vd.	2015	Havayolu işletmelerinin firma performanslarını değerlendirmek,
Sağır ve Doğanalp	2016	Türkiye için başarılı enerji kaynaklarını seçmek
Yacan	2016	Eğitim kalitesini belirlemek
Esmer ve Bağcı	2017	Banka performanslarının değerlendirilmek
Orçun ve Eren	2017	BIST'de yer alan teknoloji firmalarının finansal performansını değerlendirmek
Chauhan vd.	2017	Hava jetlerini kullanan kanalın enerji performansını önceliklendirmek
Akbas ve Bilgen	2017	Atık su arıtma tesisi için ideal gaz yakıtını seçmek
Denizhan vd.	2017	Yeşil tedarikçi ile geleneksel tedarikçiler arasındaki farklılığı belirlemek
Maghsoodi ve Khalilzadeh,	2017	İnşaat projelerinin kritik başarı faktörlerini belirleyebilmek
Jain vd.	2018	Otomotiv sektöründe tedarikçi seçmek
Khoshi vd.	2018	Tıp bilimlerinde öğretmenlerin etkili niteliklerine karar vermek
Heiadari vd.	2018	Tedarikçi zinciri risklerini değerlendirmek
Yıldız vd.	2018	Ürün seçim kararını vermek (RFID Etiket okuyucu)
Han ve Trimi	2018	Sosyal ticaret platformlarında ters lojistik performanslarını değerlendirmek
Miç ve Antmen	2019	Tesis yer seçimine karar vermek
Memari vd.	2019	Güvenlik tedarikçi seçmek,
Yurdakul ve Ic	2018	Performans ölçüm modeli geliştirilmek
Kiraz vd.	2018	Proje değerlendirmek
Zubayer vd.	2019	Tedarik zinciri risklerini önceliklendirmek
Reddy vd.	2019	Malzeme seçim kararını vermek (sürdürülebilir bir yapı malzemesi)
Rajak ve Shaw	2019	Mobil sağlık (mHealth) uygulamalarını değerlendirmek
Solangi vd.	2019	Sürdürülebilir enerji planlaması için stratejileri değerlendirilmek
Mohsin vd.	2019	Rüzgar enerjisi potansiyelini ekonomik açıdan değerlendirilmek
Park vd.	2021	Çalışan sürekliliğini sağlamak için kriterleri önceliklendirmek
Kekilli vd.	2021	Firma için en uygun danışmanı seçmek

Bulanık TOPSIS Yöntemi Adımları

Bulanık TOPSIS yönteminde öncelikle seçim yapılması amaçlanan alternatiflerin, değerlendirme yapılmasını sağlayacak karar kriterlerin ve seçimi yapacak karar verici(ler)nin belirlenmesi gereklidir. Bulanık TOPSIS yönteminde birden fazla alternatifin ve birçok kriterin ağırlıklandırılmasında dilsel ifadeler yer almaktadır. Bulanık TOPSIS, değerlendirilen alternatiflerin ideal çözüme daha yakın olabilmelerini ve ideal olmayan çözüme de daha uzak olmasını sağlamaktadır. Yönteme göre, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olan alternatif seçilmektedir (Khambhati vd., 2021).

Bulanık TOPSIS yöntemi için aşağıda belirli notasyonlar ve onların ifade ettiği tanımlar yer almaktadır. Çalışmanın yöntem kısmı Chen (2000)'in çalışmasından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Adım 1-2: Karar vericilerin, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi ve karar vericiler tarafından kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi

i: alternatifler; j: kriterler; k: karar vericiler (k=1,2,...,k)

\tilde{W}_j^k : k. karar verici tarafından değerlendirilen j. kriterin önem ağırlığı

\tilde{X}_{ij}^k : k. karar verici tarafından j. kriterine göre i. alternatifin bulanık karşılığını gösteren kritik değeri (bulanık sözel değişkenler)

$$\tilde{W}_j = 1/k [\tilde{W}_j^1 (+)\tilde{W}_j^2 (+)\dots (+)\tilde{W}_j^k] \quad (1)$$

$$\tilde{X}_{ij} = (1/k [\tilde{X}_{ij}^1 (+)\tilde{X}_{ij}^2 (+)\dots (+)\tilde{X}_{ij}^k] \quad (2)$$

Her bir kriter, farklı karar vericiler tarafından ağırlıklandırılmakta ve alternatiflerin her biri ilgili kriterlerce değerlendirilmektedir. Karar vericiler tarafından ağırlıklandırılma işleminde dilsel değişkenler kullanılmakta, fakat çalışmalarda dilsel değişkenler pozitif üçgen bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Aşağıdaki tablo bu durumu göstermektedir.

Tablo 2. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen,2000)

Table 2. Linguistic Variables and Equivalents for Fuzzy Numbers (Chen, 2000)

Karar Kriterlerinin Değerlendirilmesinde Referans Alınan İfadeler		Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Referans Alınan İfadeler	
Dilsel Değişkenler	Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler	Dilsel Değişkenler	Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler
Çok Düşük (ÇD)	(0,0,0,0,0.1)	Çok Kötü (ÇK)	(0,0,1)
Düşük (D)	(0,0,0,1,0.3)	Kötü (K)	(0,1,3)
Biraz Düşük (BD)	(0,1,0,3,0.5)	Orta Kötü (OK)	(1,3,5)
Orta (O)	(0,3,0,5,0.7)	Orta (O)	(3,5,7)
Biraz Yüksek (BY)	(0,5,0,7,0.9)	Orta İyi (OI)	(5,7,9)
Yüksek (Y)	(0,7,0,9,1.0)	İyi (İ)	(7,9,10)
Çok Yüksek (ÇY)	(0,9,1,0,1.0)	Çok İyi (Çİ)	(9,10,10)

Adım 3: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Bütün kriterlerin ve alternatiflerin tek bir değer elde edilmesi sonucunda elde edilen matris:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \tilde{X}_{m2} & \dots & \tilde{X}_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

\tilde{X}_{ij} ve \tilde{W}_j dilsel ifadelerin bulanık sayılarla tanımlanma ihtiyacından kaynaklı $\tilde{W}_j = (\tilde{W}_{j1}, \tilde{W}_{j2}, \tilde{W}_{j3})$ ve $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ olarak gösterilmektedir.

Adım 4: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması (R)

Bulanık karar matrislerinin oluşturulmasından sonraki adımda matrisin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilmiş karar matrisi;

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}] \quad m * n \quad (4)$$

Eşitlik (4)'deki gibi ifade edilir. Çalışmada yararlanılacak fayda kriteri:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_{j*}}, \frac{b_{ij}}{c_{j*}}, \frac{c_{ij}}{c_{j*}} \right), j \in B \quad (5)$$

$$c_{j*} = \max c_{ij} \quad (6)$$

Adım 5: Ağırlıklı Normalize edilmiş Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması (V)

Normalize karar matrisi üzerinden, her kriterin farklı ağırlığa sahip olduğu gerçeğiyle (Adım 1-2'de hesaplanmış olmalı) ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki eşitlikler neticesinde elde edilmelidir.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}] \quad m * n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{W}_j \quad (8)$$

Adım 6: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Tanımlanması

\tilde{V} matrisine göre her i, j için \tilde{v}_{ij} elemanları normalize edilmiş pozitif üçgen bulanık sayılardır. \tilde{V}_{ij} değerlerinin her biri [0,1] aralığında yer alan normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır. Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümleri için;

$$A^* = \tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \dots, \tilde{V}_n^*; V_j^* = \max_i (V_{ij}) \quad (9)$$

$$A^- = \tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-; V_j^- = \min_i (V_{ij}) \quad (10)$$

hesabı yapılmaktadır.

Adım 7: Pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının hesaplanması

Her bir alternatif için ayrı ayrı pozitif (di*) ve negatif (di-) uzaklıklar Eşitlik (11) ve (12)'ye göre ölçülmektedir.

$$d_i^* = \sum d(\tilde{V}_j, \tilde{V}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$d_i^- = \sum d(\tilde{V}_j, \tilde{V}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Adım 8: İki Bulanık Sayı Arasındaki Uzaklığın Ölçülmesi (dv(a,b))

Bu hesap için vertex metodu kullanılmaktadır. Yapılacak hesaplama;

$$d(a,b)=\sqrt{\frac{1}{3}((la-lb)^2+(ma-mb)^2+(ua-ub)^2)} \quad d(a,b) \in R^+$$

Adım 9: Yakınlık Kat Sayılarının Elde Edilmesi ve En Uygun Alternatifin Seçilmesi

Pozitif ve ideal çözüme olan mesafelerin hesaplanmasından sonra alternatiflerin seçimindeki sıralamanın belirlenmesi için yakınlık katsayıları hesaplanır. Yakınlık katsayısının 1'e olan yakınlığı, o alternatifin seçilme durumunu daha yükseltmektedir (Ecer, 2006).

$$cc_i = d_i^- / (d_i^* + d_i^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

4. Uygulama

Çalışmada ilk olarak işletmelerin yeni sanayi döneminin gerektirdiği yeniliklere adapte olmalarını sağlayacak en temel kritik başarı faktörlerinin öncelikli olarak sıralanması amaçlanmıştır. Ardından farklı sektörlerde üretim yapan yatırım destek teşviği olarak endüstriyel dönüşüm süreci içerisinde bulunan üç firmanın, teşvik sonrası durum değerlendirmesinin yapılması istenmektedir. Araştırma sonucunda, kriterlerin önem sırasının listelenmesinin literatüre bir katkısı olmasının yanı sıra, ayrıca uygulayıcılar açısından sürecin aşama aşama anlatılması ve matematiksel eşitliklerle sonuçlanması çalışmayı daha somut ve uygulanabilir bir hale getirecektir.

Uygulamada yer alan işletmeler Kocaeli'nde farklı sektörlerde faaliyet gösteren benzer özelliklere sahip (küçük ölçek büyüklüğündeki (çalışan sayıları 40-49, yıllık ciroları ortalama 7-8milyon Euro)) ve Endüstri 4.0 yeni dönemi için benzer yatırım teşviği almış olanlardır. İşletmelerin yatırım teşviğine dair proje dönemleri 2018-2020 yılları arasında yer alırken, ilgili projeler Nisan'ın sonunda (2020) tamamlanmıştır.

Bu firmaların proje teşviği neticesinde başarı durumları, kritik faktörler doğrultusunda değerlendirilecek ve çalışma sonrasında hangi sektördeki firmanın daha önemli katkılar yaptığı tespit edilecektir. Üç firmadan ilki (İ₁) otomotiv yan sanayi, ikincisi (İ₂) plastik ve üçüncüsü (İ₃) alüminyum sektöründe faaliyet yürütmektedir.

İkinci olarak uygulamada yer alan kriterler, literatürden sağlanan bilgiler neticesinde "kritik faktörler" olarak belirlenmiştir. Belirlenen 8 kriter (j_i) daha önce de ifade edildiği gibi;

j₁: Strateji ve Organizasyon;

j₂: Esneklik;

j₃: Akıllı Ürünler;

j₄: Derin Birleşme

j₅: Bilgi Sistemleri ve Teknolojik Yapılanma

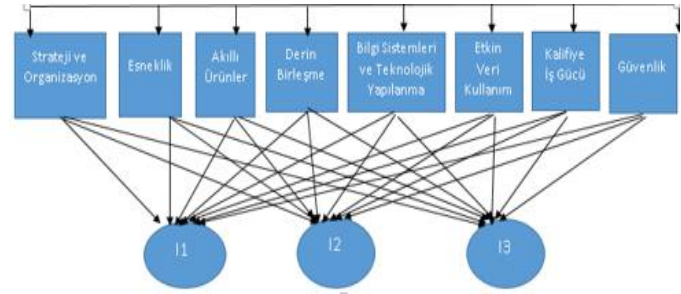
j₆: Etkin Veri Kullanımı

j₇: Kalifiye İş Gücü

j₈: Güvenlik şeklindedir.

Uygulamada üç uzman karar verici bulunmaktadır; karar verici pozisyonundaki kişiler firmalara yatırım teşviği veren kamu kurumlarından birinde çalışan ve 8-10 yıl tecrübeye sahip proje mühendisleridir. Uzmanlar, daha önce benzer projelendirmelerde birçok kez bulunmuşlardır. Çalışmanın uygulaması için ihtiyaç duyulan değerlendirme, karar vericiler ile projelerin tamamlanma süreçlerinin ardından Haziran, 2020 dönemi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Yöntem olarak Aralık Tip 2 Bulanık TOPSIS uygulanmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasındaki en temel sebep, Aralık Tip 2'nin belirsizliğin nispeten çok olduğu ortamlarda daha etkili karar verebilmeyi destekliyor olmasıdır. Böylelikle belirsizlik durumları altında karar vericilerin daha doğru sonuçlara ulaşabilmesi sağlanmaktadır. Çalışmanın adımları Chen C.T. (2000)'in çalışmasında yer verdiği ve kabul edildiği şekliyle uygulanmaktadır.



Şekil 1. Çalışmadaki Kriterler ve Alternatifler Arası İlişki Ağı

Figure 1. Network of Relationship Between Alternatives and Criteria in the Study

Çalışmada belirlenen 8 ana kriterin ardından, tüm kriterlerin her karar verici tarafından değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Tablo 3. Başarı Kriterlerinin Dilsel ve Bulanık Sayılarla Gösterimi

Table 3. Representation of Success Criteria with Linguistic and Fuzzy Numbers

Kriterler	Karar Verici 1 (KV1)	Karar Verici 2 (KV2)	Karar Verici 3 (KV3)	Kriter Ağırlıkları
J ₁	Y (0.7,0.9,1.0)*	O (0.3,0.5,0.7)	Y (0.7,0.9,1.0)	(0.57, 0.77, 0.90)
J ₂	ÇY (0.9,1.0,1.0)	O (0.3,0.5,0.7)	ÇY(0.9,1.0,1.0)	(0.70, 0.83, 0.90)
J ₃	O (0.3,0.5,0.7)	O (0.3,0.5,0.7)	BD(0.1,0.3,0.5)	(0.23, 0.43, 0.63)
J ₄	Y (0.7,0.9,1.0)	Y (0.7,0.9,1.0)	ÇY(0.9,1.0,1.0)	(0.77, 0.93, 1.0)
J ₅	ÇY (0.9,1.0,1.0)	ÇY(0.9,1.0,1.0)	Y(0.7,0.9,1.0)	(0.83, 0.97, 1.0)
J ₆	Y(0.7,0.9,1.0)	ÇY(0.9,1.0,1.0)	Y(0.7,0.9,1.0)	(0.43, 0.93, 1.0)
J ₇	BD(0.1,0.3,0.5)	O(0.3,0.5,0.7)	Y(0.7,0.9,1.0)	(0.37, 0.57, 0.73)
J ₈	O(0.3,0.5,0.7)	ÇY(0.9,1.0,1.0)	Y(0.7,0.9,1.0)	(0.63, 0.8, 0.90)

Uygulamanın ikinci adımında başarı kriterleri ve alternatifler dilsel değişkenler ile değerlendirilmekte ve kritik ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu aşamada Tablo 2'den yararlanılarak dilsel değişkenler, bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Ardından Kriter Ağırlıkların Hesaplanması ile ilgili Eşitlik (1) uygulanmıştır. Yapılan işlemler sonrası sonuçlar yukarıdaki tabloda gösterilmiştir.

*Örneğin, Strateji ve Organizasyon (J1) kriteri, birinci karar verici (KV1) tarafından Yüksek (Y) önem düzeyinde olacak şekilde değerlendirilmiş ve bu dilsel değişkene karşılık gelen bulanık sayı için Tablo 2'den yararlanılarak (0.7,0.9,1.0) olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Karar Vericiler Tarafından İşletmelerin Değerlendirilmesi ve Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Table 4. Evaluation of Businesses by Decision Makers and Representation with Fuzzy Numbers

j_i	İşletmeler	Karar Verici 1	Karar Verici 2	Karar Verici 3
J₁	İşletme 1 (\hat{I}_1)	Çİ (9,10,10)*	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)
	İşletme 2 (\hat{I}_2)	İ (7,9,10)*	Çİ (9,10,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 3 (\hat{I}_3)	OK (1,3,5)*	İ (7,9,10)	O (3,5,7)
J₂	İşletme 1	O (3,5,7)	İ (7,9,10)	OK (1,3,5)
	İşletme 2	OK (1,3,5)	Çİ (9,10,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 3	OK (1,3,5)	O (3,5,7)	Oİ (5,7,9)
J₃	İşletme 1	K (0,1,3)	OK (1,3,5)	OK (1,3,5)
	İşletme 2	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)	Oİ (5,7,9)
	İşletme 3	Oİ (5,7,9)	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)
J₄	İşletme 1	Oİ (5,7,9)	Oİ (5,7,9)	İ (7,9,10)
	İşletme 2	OK (1,3,5)	O (3,5,7)	Oİ (5,7,9)
	İşletme 3	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)	O (3,5,7)
J₅	İşletme 1	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 2	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)	Çİ (9,10,10)
	İşletme 3	Oİ (5,7,9)	O (3,5,7)	İ (7,9,10)
J₆	İşletme 1	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)	İ (7,9,10)
	İşletme 2	Çİ (9,10,10)	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 3	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)
J₇	İşletme 1	Çİ (9,10,10)	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 2	Oİ (5,7,9)	O (3,5,7)	İ (7,9,10)
	İşletme 3	İ (7,9,10)	İ (7,9,10)	Oİ (5,7,9)
J₈	İşletme 1	Çİ (9,10,10)	Çİ (9,10,10)	İ (7,9,10)
	İşletme 2	OK (1,3,5)	K (0,1,3)	O (3,5,7)
	İşletme 3	İ (7,9,10)	O (3,5,7)	Oİ (5,7,9)

Üçüncü adımda karar vericiler proje yatırım desteği alan firmaları, ilgili kriterler bağlamında sözsel olarak değerlendirmiş ve bu dilsel ifadeler karşılık gelen değerler yine Tablo 2'den yararlanılarak bulanık sayılara dönüştürülmüştür (Tablo 4).

*Birinci karar verici (KV1) tarafından, Strateji ve Organizasyon (J1) kriteri açısından işletme 1'in yatırım desteği sonrası durumu

Çok İyi (Çİ) seviyede bulunurken, işletme 2'nin durumu İyi (İ) ve son olarak İşletme 3'ün durumu Orta Kötü (OK) olarak değerlendirilmiştir. Bu dilsel değişkenlere karşılık gelen değerler, Tablo 2 referans alınarak sırasıyla (9,10,10), (7,9,10) ve (1,3,5) şeklinde oluşturulmuştur.

Tablo 5. Bulanık Karar Matrisi

Table 5. Fuzzy Decision Matrix

	J₁	J₂	J₃	J₄	J₅	J₆	J₇	J₈
İ₁	(7, 8.7, 9.7)*	(3.7, 5.7, 7.3)	(0.7, 2.3, 4.3)	(5.7, 9.7, 9.3)	(7, 9, 10)	(7.3, 8.3, 9.7)	(7.7, 9.3, 10)	(8.3, 9.7, 10)
İ₂	(7.7, 9.3, 10)	(5.7, 7.3, 8.3)	(5.7, 7.7, 9.3)	(3, 5, 7)	(7, 8.7, 9.7)	(7.7, 9.3, 10)	(5, 7, 8.7)	(1.3, 3, 5)
İ₃	(3.7, 5.7, 7.3)	(3, 5, 7)	(6.3, 8.3, 9.7)	(5, 7, 8.7)	(5, 7, 8.7)	(6.3, 8.3, 9.7)	(7.3, 8.3, 9.7)	(5, 7.7, 8.7)

Tablo 3 ve Tablo 4'ün elde edilmesi sonrasında bulanık karar matrisinin oluşturulması gereklidir. Bu aşamada "Bulanık TOPSIS Yöntemi Adımları" bölümü altında Adım 3'de ifade edildiği gibi bütün kriterler ve alternatifler için tek bir değer elde edilmesi amacıyla Eşitlik (2), Tablo 4'ün verileri üzerinde uygulanmış ve Tablo 5 elde edilmiştir.

*İ₁ (İşletme 1)'in J₁ kriteri (Strateji ve Organizasyon) açısından üç karar verici tarafından ayrı olarak yapılan değerlendirilmesi için ilgili değer, 1/3 ([9 + 7 + 5]), [10 + 9 + 7], [10 + 10 + 9]) = (7, 8.7, 9.7) şeklindeki hesaplama ile bulunmuştur. Bütün hücreler için gerekli işlemler yapıldıktan sonra matrisin normalize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 6. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

Table 6. Normalized Fuzzy Decision Matrix

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈
İ ₁	(0.7,0.87,0.97)*	(0.45,0.69,0.88)	(0.07,0.23,0.43)	(0.58,1, 0.96)	(0.7, 0.9, 1)	(0.73,0.83,0.97)	(0.77, 0.93, 1)	(0.83,0.97,1)
İ ₂	(0.44,0.71,0.9)	(0.69, 0.88, 1)	(0.57,0.77,0.93)	(0.3,0.51,0.72)	(0.7,0.87,0.97)	(0.77, 0.93, 1)	(0.05,0.07,0.87)	(0.13,0.3,0.5)
İ ₃	(0.21,0.44,0.66)	(0.36, 0.6, 0.88)	(0.67,0.83,0.97)	(0.51,0.72,0.9)	(0.5, 0.7,0.87)	(0.63,0.83,0.97)	(0.73,0.83,0.97)	(0.5,0.77,0.87)

Bu aşamada Eşitlik (5)'in uygulanmasıyla normalize edilmiş karar matrisinin gösterildiği Tablo 6'ya ulaşılmıştır.

*İlgili değer, Tablo 5'deki ilgili hücrenin, sütünün maksimum değerine (c_j=10) bölünmesi ile elde edilmiştir. İlgili hücrede yer

alan (7, 8.7, 9.7) değerlerinin her biri J₁ kriterine ait en büyük değer olan 10'a bölünmüş ve (0.7,0.87,0.97) hücre değerine ulaşılmıştır. Bütün hücreler için süreç tamamlandıktan sonra ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Table 7. Weighted Normalized Decision Matrix

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈
İ ₁	(0.4,0.67, 0.87)*	(0.32,0.57,0.79)	(0.02, 0.1, 0.27)	(0.45,0.93,0.96)	(0.58, 0.87, 1)	(0.31,0.77,0.97)	(0.28,0.53,0.73)	(0.83,0.97,1)
İ ₂	(0.43, 0.71, 0.9)	(0.48, 0.73, 0.9)	(0.13,0.33,0.59)	(0.23,0.47,0.72)	(0.58,0.84,0.97)	(0.32, 0.86, 1)	(0.02,0.04,0.64)	(0.13,0.3,0.5)
İ ₃	(0.21,0.43,0.65)	(0.25, 0.5, 0.79)	(0.15,0.36,0.61)	(0.39, 0.67, 0.9)	(0.4, 0.68, 0.87)	(0.27,0.77,0.97)	(0.27,0.47,0.71)	(0.5,0.77,0.87)

Bu adımda ise normalize edilmiş karar matrisinden ve Tablo 3'den yararlanılarak Eşitlik (8)'in uygulanmasıyla matrisin ağırlıklandırılması yapılmış ve Tablo 7'ye ulaşılmıştır.

*İlgili değer, Tablo 6'daki ilgili hücrenin Tablo 3'de ulaşılan her kritere ait ağırlık değerleriyle çarpılması sonucunda elde edilmiştir. (0.4, 0.67, 0.87)=(0.7, 0.87, 0.97) * (0.57, 0.77, 0.90)

Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesinin ardından, Bulanık Pozitif (BP) ve Bulanık Negatif (BN) ideal çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 8. BP ve BN İdeal Çözümleri

Table 8. FP and FN Ideal Solutions

j _i	d(i ₁ , I ⁺)	d(i ₂ , I ⁺)	d(i ₃ , I ⁺)	d(I ₁ , I ⁻)	d(I ₂ , I ⁻)	d(I ₃ , I ⁻)
J ₁	0.40*	0.373	0.597	0.674**	0.706	0.466
J ₂	0.480	0.343	0.534	0.592	0.724	0.558
J ₃	0.876	0.676	0.654	0.167	0.354	0.418
J ₄	0.320	0.545	0.404	0.814	0.514	0.685
J ₅	0.253	0.260	0.400	0.835	0.813	0.678
J ₆	0.420	0.400	0.442	0.737	0.784	0.516
J ₇	0.513	0.818	0.547	0.545	0.025	0.516
J ₈	0.312	0.758	0.465	0.747	0.298	0.604

Bu adımda n=8 olmak koşuluyla ilk olarak Eşitlik (9)'u ifade eden A⁺= [(1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)] ile BP İdeal Çözümlerin hesaplanması gerekmektedir. Örneğin; J₁ kriteri için işletme 1'in pozitif ideal çözümünün hesaplanmasında Vertex Metodu'na ihtiyaç duyulmuş ve Tablo 7'deki ilgili hücrenin değerlerinden

yararlanılarak; d(i₁, i⁺): √ (1/3) [(1-0.4)²+ (1-0.67)² + (1-0.87)²]= 0.40 (*) sonucuna ulaşılmıştır.

Benzer şekilde n=8 olmak koşuluyla negatif ideal çözümden uzaklığının ölçülmesinde Eşitlik (10)'u ifade eden A⁻ = [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0), [(0,0,0)]]]]]]]] 'den yararlanılarak Vertex Metodu'nun

kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Örneğin; J_1 kriteri için işletme 1'in negatif ideal çözümden uzaklığının hesaplanmasında Tablo 7'deki ilgili hücrenin değerleri Vertex Metodu'nda kullanılarak $d(i_1, i^-): \sqrt{(1/3) [(0-0.4)^2 + (0-0.67)^2 +$

$(0-0.87)^2] = 0.674 (**)$ sonucuna ulaşılmıştır. Bu adımın ardından son olarak alternatiflerin pozitif ve negatif toplam uzaklıklarının hesaplanması ve yakınlık kat sayısının belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 9. Alternatif İşletmelerin Pozitif ve Negatif Mesafeleri

Table 9. Positive and Negative Distances of Alternative Businesses

	d_i^+	d_i^-	CC_i
İşletme 1 (I_1)	3.574*	5.111**	0.588
İşletme 2 (I_2)	4.178	4.221	0.502
İşletme 3 (I_3)	4.043	4.441	0.523

*İşletme 1'e ait pozitif mesafe değerine, Tablo 8'den yararlanılarak $\sum d(i_1, I^+)$ işlemiyle ulaşılmıştır. $3.574 = (0.40 + 0.480 + 0.876 + 0.320 + 0.253 + 0.420 + 0.513 + 0.312)$.

**İşletme 1'e ait negatif mesafe değerine ise yine Tablo 8'den yararlanılarak $\sum d(i_1, I^-)$ işlemiyle ulaşılmıştır. $5.111 = (0.674 + 0.592 + 0.167 + 0.814 + 0.835 + 0.737 + 0.545 + 0.0747)$.

Yakınlık katsayı değerlerine ise Eşitlik (13)'de yer aldığı şekliyle $d_i^- / (d_i^+ + d_i^-)$ formülasyonunun uygulanması ile ulaşılmıştır. Örneğin İşletme 1'in yakınlık kat sayı değeri $5.111 / (5.111 + 3.574) = 0.588$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler

çalışmanın nihai sonucuna götüren ve alternatiflerden arasından karar vermeyi sağlayacak olan değerlerdir.

Yakınlık katsayı değerlerinin gösterdiği üzere, yatırım destek teşviği alan firmalardan potansiyel başarısı en yüksek olan 0.558 katsayı değeriyle İşletme 1 olarak belirlenmiştir. Yani otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren ve teşvik alan bu işletme, belirlenen sekiz kriter doğrultusunda süreci daha başarılı yönetirken, sıralamayı alüminyum sektöründe faaliyet gösteren işletme ve plastik sektöründe faaliyet gösteren işletme takip etmiştir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada ilk olarak "Endüstri 4.0 teknolojilerinin imalat şirketlerinde uygulanması için kritik başarı faktörleri nelerdir?" sorusuna cevap bulunmuştur. Üç uzman karar verici tarafından, literatürden oluşturulan kriterler neticesinde Tablo 3'de görüldüğü şekliyle en önemli kriter, daha etkin ve verimli üretim ağını kurabilmelerine yardımcı olan teknolojilerin ve nihayetinde bu teknolojilerin temelini oluşturacak bilgi sistemlerinin kurulması olarak belirlemiştir. Böylelikle karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda işletmenin teknolojik ve bilişim alt yapısının, yeni teknolojilerin ve sistemin birbirine bütünleştirmenin, genel işletme yapısından ve organizasyon yapısından daha önemli görüldüğü tespit edilmiştir.

Diğer önemli ve ikinci yüksek düzeydeki başarı kriteri, derin birleşme olarak belirlenmiştir. Sürecin doğru yürütülmesi ve işletmelerin yeni endüstriyel dönemde başarılı olması için aynı amaca hizmet edecek şekilde tüm birimlerin birbiriyle bütünleşmesi (entegrasyonu) uzmanlarca çok önemli görülmüştür. Çünkü birimlerin birbirlerini destekleyecek paralel davranışlarda bulunması sürecin başarısı için gerekli bir unsurdur. Üçüncü başarı kriteri olarak belirlenen esneklik, organizasyonların değişime olan yaklaşımlarını ve bu doğrultudaki adaptasyonlarını gösteren itici bir güçtür. Esnek yapıdaki işletmelerin alacakları kararlara ve olası yenilenme ihtiyacına cevap verme noktasında doğru adımlar dışında daha hızlı davranarak başarılı olma potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir. Araştırmada önem sırasına göre diğer 5 başarı kriteri; etkin veri kullanımı, siber güvenlik, strateji ve organizasyon, kalifiye iş gücü ve akıllı ürünler olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda bilgi teknolojilerinin kullanımının da artması ile işletmeye dair binlerce belki de milyonlarca verinin üretilmesi, bu verilerin de alınacak kararlar için etkin kullanımın sağlanması ve

güvenlik önlemlerinin de alınma ihtiyacı karar vericiler tarafından önemli görülmüştür. Özetle, yapılan işlemler sonucunda ortaya çıkan kritik başarı sıralaması, işletmelerdeki yeni teknolojik yapılanmanın başarılı uygulanması ile şirketin kendi organizasyon yapısını daha kolay değiştirebileceği ve stratejilerini belirli yönde kurabileceği fikri hakim olmuştur. Sonuç olarak karar vericiler tarafından öncelik, teknoloji ve bilgi sistemleri alt yapısına verilmiştir.

Bir diğer açıdan firmaların endüstri 4.0 süreç yapılanmasına olan girişimleri ve bu konuda alacakları teşvikler büyük önem kazanmaktadır. Endüstri 4.0'ın verimlilik, çeşitlik, proaktiflik ve yüksek rekabet edilebilirlik gibi çeşitli yenilikler getirebilmesi sebebiyle işletmeler için böyle bir değişim ve dönüşüm ihtiyaç haline gelmiştir. Yeni sanayileşme döneminde ifade edildiği gibi yüksek teknolojiye olan gereksinim, firmaları yapacakları yatırımlar noktasında zorlayabilmektedir. Bu sebeple alacakları teşviklerle oluşturacakları yol haritaları büyük öneme sahiptir. Buradan hareketle çalışmada aynı ölçekli üç firmanın proje sürecini tamamlamasıyla teşvik sonrası durumları değerlendirilmek istenmiştir. Çalışmada böyle bir projelendirmenin işletmelerin süreçlerine ne yönde olumlu etkide bulunduğu ve hangi işletmede daha fazla yol alındığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren işletme (I_1)'nin daha yüksek yakınlık katsayı değerine (0.588) sahip olması sebebiyle aldığı teşviği belirlenen kriterler çerçevesinde daha başarılı kullandığı ve mevcut durumunun Endüstri 4.0 süreci için daha iyi seviyede olduğu belirlenmiştir. Çalışmadaki diğer iki işletme içinde de alüminyum sektöründe yer alan işletmenin (I_3), plastik sektöründe yer alana göre (I_2), aldığı teşvik sonrası Endüstri 4.0 sürecinde daha başarılı olduğu görülmüştür. Uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerle ulaşılan bu yakınlık katsayı değerlerinin

Chen- Tung vd. (2006)'nin çalışmasında yer aldığı şekliyle 0.4-0.59 aralığında olması nedeniyle tüm işletmelerin başarılı olduğu ifade edilebilir; ancak kat sayı değerlerinin 0.6 üzerinde olması işletmelerin bu süreçte daha başarılı olacağına bir göstergesidir. Aynı zamanda sonuçlar, işletmelerin bugünkü mevcut durumlarını gösteriyor olsa da üç işletmenin araştırmada yer alan sekiz başarı kriteri doğrultusunda daha çok gelişmeye imkan verecek şekilde hareket etmesi ile sürecin daha yüksek seviyedeki başarısı da kaçınılmaz olacaktır. Özellikle bu çalışmada yüksek ağırlıklı başarı kriterlerinden olan bilgi sistemleri ve teknolojik yapılanma, derin birleşme, esneklik ve bilgi güvenliğine olan yaklaşımların daha çok geliştirilmesinin sonucunda işletmelerin endüstri 4.0 sürecini daha iyi yönettiklerini gösteren yakınlık katsayı değerleri de artacaktır.

Ayrıca araştırmada kullanılan Aralık Tipi 2 Bulanık TOPSIS yöntemi sonucundaki verilerin benzer çalışmalarda temel alınan kritik faktörlere ve karar vericilerin sayısındaki artışa bağlı olarak değişebilme ihtimali söz konusudur. Bu sebeple çalışmanın benzer projelerde yer almış olan daha fazla sayıdaki karar vericiye uygulanmasının ve olası sonuçların karşılaştırılmasının çalışmayı zenginleştirebileceği düşünülmektedir. Diğer açıdan çalışmada yer alan otomotiv yan parça, alüminyum ve plastik sektörlerindeki işletmelerin yanında, aynı işletme ölçeğindeki benzer teşvikleri alan farklı üretim sektörlerindeki işletmelerde de uygulamanın yapılmasının ve yer alan sektörlerin endüstri 4.0 sürecindeki mevcut durumlarının karşılaştırılmasının bu alandaki literatüre katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Kaynakça

- Abidin, Z. Z., Selamat, S.R., & Anawar, S. (2019). Multi- Layered based Digital Forensic Investigation for Internet-of-Things: Systematic Literature Review. *International Journal of Computer and Science and Network Security*, 19(9), 156-175.
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, 61-94, Springer, Cham.
- Akbas, H., & Bilgen, B. (2017). An integrated fuzzy QFD and TOPSIS methodology for choosing the ideal gas fuel at WWTPs, *Energy*, (125), 484-49.
- Al Zubayer, A., Ali, S.M., & Kabir, G. (2019). Analysis of supply chain risk in the ceramic industry using the TOPSIS method under a fuzzy environment. *J. Model. Manag.*, (14), 792-815.
- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Endüstri 4.0. *Journal of Life Economics*, (8), 19-30.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: a survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age*. İstanbul: Türk Havayolları Yayınları.
- Calabrese, A., Dora, M., Levaldi Ghiron, N., & Tiburzi, L. (2020). Industry's 4.0 Transformation Process: How to Start, Where to Aim, What to Be Aware of. *Production Planning & Control*, (32), 1-21.
- Chauhan, R., Singh, T., Tiwari, A., Patnaik, A., & Thakur, N. S. (2017). Hybrid Entropy-TOPSIS Approach for Energy Performance Prioritization in A Rectangular Channel Employing Impinging Air Jets, *Energy*, (134), 360-368.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of The TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, (114), 1-9.
- Chen- T. C., Lin, C.T., & Huang, S. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
- Cheng, C-Y. (2018). A novel approach of information visualization for machine operations states in industrial 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, (125), 563-573.
- Conti, M., Dehghantaha, A., Franke, K., & Watson S. (2017). Internet of things security and foren-sics: challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, (78), 1-3.
- Çalık, A. (2019). Yüklenici Değerlendirme sürecinde aralıklı tip-2 bulanık TOPSIS yöntemi uygulaması: küçük ve orta ölçekli işletmelerde (KOBİ'ler) bir örnek olay çalışması. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (18), 481-501.
- Denizhan, B., Yalçiner A., & Berber, Ş. (2017). Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 63-68.
- Hofmann, E., & Rüşch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, (89), 23-34.
- Ecer, F. (2006). Bulanık ortamlarda grup kararı vermeye yardımcı bir yöntem: fuzzy TOPSIS ve bir uygulama. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 77 -96.
- Esmer, Y., ve Bağcı, H. (2017). Katılım bankalarında finansal performans analizi: Türkiye örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 17-30.
- Fırat S. U., & Fırat, O. Z. (2017a). Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye. *Toprak İşveren Dergisi*, 114.
- Fırat, O. Z., & Fırat, S. U. (2017b). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *Istanbul University Journal of the School of Business*, 46(2), 211-223. doi: 10.5152/iujbsb.2017.005.
- Foidl, H., & Felderer, M. (2015). Research challenges of Industry 4.0 for quality management. *International Conference on Enterprise Resource Planning Systems*, Hagenberg, Austria: Springer, C. LNBIP 245, 121-137.
- Ghanzafari, M., Rouhani, S., Jafari, M. (2014). A fuzzy TOPSIS model to evaluate the business intelligence competencies of Port Community Systems. *Polish Maritime Research*, 21(2), 279-285.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Springer, Heidelberg.
- Han, H., & Trimi, S. (2018). A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms, *Expert Systems With Applications*, (103), 133-145.
- Heidari, S. S., Khanbabaei, M., & Sabzehparvar, M. (2018). A model for supply chain risk management in the automotive industry using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy TOPSIS. *Benchmarking-An International Journal*, 25(9), 3831-3857.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Science*, Koloa, USA. doi: 10.1109/HICSS.2016.488.

- Hoyer, C., Gunawan, I., & Reaiche, C.H. (2020). The Implementation of Industry 4.0—a Systematic Literature Review of the Key Factors. *Systems Research and Behavioral Science*, 37 (4), 557–578. doi:10.1002/sres.2701
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., & Ivanova, M. (2016). A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 54(2), 386-402.
- Jain, V., Sangaiah, A. K., Sakhuja, S., Thoduka, N., & Aggarwal, R. (2018). Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. *Neural Computing and Applications*, 29(7), 555-564.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (April, 2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. *Acatech National Academy of Sciences and Engineering Report*.
- Kaya, İ., Çolak, M., & Terzi, F. (2019). A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. *Energy Strategy Reviews*, 24, 207-228.
- Kekilli, E., Cebeci, U. & Silay, L. (2021). Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *European Journal of Science and Technology*, (24), 262-267.
- Khoshi, A., Gooshki, H. S., & Mahmoudi, N. (2018). The data on the effective qualifications of teachers in medical sciences: An application of combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *DATA IN BRIEF*, (21), 2689-2693.
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Albayrak, F. (2018). Evaluating R&D projects using two phases fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods, *European Journal of Science and Technology*, (14), 49-53.
- Koçak, A., & Diyadin, A. (2017). Sanayi 4.0 geçiş süreçlerinde kritik başarı faktörlerinin DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış*, 18(1), 107-120.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (October, 2015). *Industrie 4.0 Readiness*. VDMA's IMPULS-Stiftung Report.
- Liu, C., & Xu, X. (2017). Cyber-physical machine tool – the era of machine tool 4.0. *The 50th Crp Conference on Manufacturing Systems - Procedia CIRP*, (63), 70–75.
- Majd, M. M., Ftemi, A., & Soltanpanah, H. (2014). The risk analysis of oil projects using fuzzy TOPSIS technique (Case Study:18-inch pipeline repair Project from Chesme Khosh to Ahwaz, *Int. J. Basic Sci. Appl. Res.*, 5(3), 281-285.
- Maghsoodi, A. I., & Khalilzadeh, M. (2017). Identification and Evaluation of Construction Projects' Critical Success Factors Employing Fuzzy-TOPSIS Approach. *KSCE J. Civ. Eng.*, (22), 1593–1605.
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *J. Manuf. Syst.*, (50), 9–24.
- Miç, P., & Antmen, Z. F. (2019). A healthcare facility location selection problem with Fuzzy TOPSIS method for a regional hospital, *European Journal of Science and Technology*, (16), 750-757.
- Mohsin, M., Zhang, J.; Saidur, R., Sun, H., & Sait, S.M. (2019). Economic assessment and ranking of wind power potential using fuzzy-TOPSIS approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22494-22511.
- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International J. of Prod. Research*, 58,(5), 1384–1400. doi:10.1080/00207543.2019.1636323.
- Nädäban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: A general view. *Procedia Computer Science*, 91, 823-31.
- Nwaiwu, F., Duduci, M., Chromjakova, F., & Otekhile, C.A.F. (2020). Industry 4.0 Concepts within the Czech SME Manufacturing Sector: An Empirical Assessment of Critical Success Factors. *Business: Theory and Practice*, 21(1), 58–70.
- Özdemir, M. (2018). *TOPSIS; Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, Edt. Yıldırım, B. F., & Önder, E, Dora Yayıncılık, Bursa.
- Park, C-J., Kim, S-Y., & Nguyen, M.V. (2021). Fuzzy TOPSIS application to rank determinants of employee retention in construction companies: South Korean case, *Sustainability*, 13, 5787.
- Platform Industrie 4.0. (2014). Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Erişim <https://www.plattform-i40.de/umsetzungsstrategie-industryie-40-0> (Erişim Tarihi: 22.05.2019).
- Pozzi, R., Rossi, T., & Secchi, R. (2020). Industry 4.0 technologies: critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies, *Production Planning&Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1891481>.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenora, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond changeable, agile. Reconfigurable & Virtual Production. *Procedia CIRP*, 52, 173–178.
- Reddy, A. S; Kumar, P. R; & Raj, P. A. (2019). Entropy-based fuzzy TOPSIS framework for selection of a sustainable building material. *International Journal of Construction Management*, doi.org/10.1080/15623599.2019.1683695.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0, *SAGE Open*, 6(2), 1-11.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group Report, 1-14.
- Sağır, H., & Doğanalp. B. (2016). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 243-254.
- Sarvari, P. A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I., & Cebi, S. (2018). Technology roadmap for Industry 4.0, in Ustundag, A. and Cevikcan, E. (Eds), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Springer, Heidelberg, 95-103.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 Readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, (52), 161-166.
- Solangi, Y. A., Tan, Q., & Mirjat, N.H.; et al. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236. Article Number: UNSP 117655.
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 416-432.

- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, (40), 536–541.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Softwaredefined cloud manufacturing for industry 4.0. *Procedia CIRP*, (52), 12-17.
- TÜBİTAK. (2016). Yeni endüstri devrimi: akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası. Erişim: <http://www.tubitak.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 17.05.2019).
- Yacan, İ. (2016). *Eğitim Kalitesinin Belirlenmesinde Etkili Olan Faktörlerin Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 90s.
- Yao, X., Zhou, J., Zhang, J., & Boër, C. R. (2017). From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further. *2017 5th International Conference on Enterprise Systems*, 22–24, IEEE, Beijing, China.
- Yıldız, A., Karakoyun, F., & Parlak, I.E. (2018). The most suitable mobile RFID reader selection by using Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS Method. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(3), 717-729 .
- Yurdakul, M., & İç, Y. S. (2018). Development of a multi-level performance measurement model for manufacturing companies using a modified version of the fuzzy TOPSIS approach. *Soft Computing*, 22 (22), 7491-7503.
- Wanke, P., Barros, C. P., & Chen, Z. (2015). An analysis of Asian airlines efficiency with two-stage TOPSIS and MCMC generalized linear mixed models. *International Journal of Production Economics*, (169), 110-126.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1-10.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and application. *International Journal of Production Economics*, 176(1), 98-110.
- Wood, D. A. (2016). Supplier selection for development of petroleum industry facilities, applying multi-criteria decision making techniques including fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS with flexible entropy weighting. *Journal of Natural Gas Science and Eng.* (28), 594-612.

Effects of Al₂O₃ Particulate Addition on Mechanical Properties of Vinyl Ester Matrix Composite Material

Yalçın Boztoprak*

*Marmara University, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1714-7394), yboztoprak@marmara.edu.tr

(First received 30 October 2021 and in final form 12 September 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1016663)

ATIF/REFERENCE: Boztoprak, Y. (2022). Effects of Al₂O₃ Particulate Addition on Mechanical Properties of Vinyl Ester Matrix Composite Material. . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 48-53.

Abstract

Vinyl ester resins are widely used as matrix materials in particle and fiber reinforced composites. Nowadays, particles are also preferred in micron-sized microstructures to increase the mechanical properties of polymer matrix composites. In this work, vinyl ester matrix composites reinforced with aluminum oxide particles of 1-3 micron dimensions were produced. Tensile, hardness, bending, wear, impact strength properties of the specimens prepared at different ratios were investigated. Teflon mold was preferred in the preparation of test samples. 50% active methyl ethyl ketone peroxide as initiator and 6% cobalt naphthenate as accelerator were used in the reaction. From 0.5% to 2% by weight of aluminum oxide was added to the vinyl ester resin. In the ultrasonic mixer, the formulation was stirred for 30 minutes by adding MEG (mono ethylene glycol) to 5 times the amount of particulate in order to ensure the distribution of the particle in the mixture and to prevent agglomeration. The tensile and % elongation, impact, wear strength and hardness values increased by 1,5% by weight. A decrease in bending strength was observed.

Keywords: Aluminum oxide (Al₂O₃), Vinyl ester, Composite material, Mechanical properties

Al₂O₃ Partikül İlavesinin Vinil Ester Matrisli Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Öz

Vinil ester reçineleri, partikül ve fiber takviyeli kompozitlerde matris malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini artırmak için mikron boyutlu mikro yapılarda da partiküller tercih edilmektedir. Bu çalışmada 1-3 mikron boyutlarında alüminyum oksit partikülleri ile takviyelendirilmiş vinil ester matrisli kompozitler üretilmiştir. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin çekme, sertlik, eğilme, aşınma ve darbe dayanımı özellikleri incelenmiştir. Test numunelerinin hazırlanmasında teflon kalıp tercih edilmiştir. Reaksiyonda başlatıcı olarak %50 aktif metil etil keton peroksit ve hızlandırıcı olarak %6 kobalt naftenat kullanılmıştır. Vinil ester reçinesine ağırlıkça % 0,5'den % 2'ye kadar alüminyum oksit ilave edildi. Partikülün karışımdaki dağılımını sağlamak ve topaklaşmayı önlemek için partikül miktarının 5 katı MEG (mono etilen glikol) eklenerek formülasyon ultrasonik homojenizatörde 30 dakika karıştırılmıştır. Çekme ve % uzama, darbe, aşınma mukavemeti ve sertlik değerleri ağırlıkça %1,5 oranına kadar arttı. Eğilme dayanımında bir azalma gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum oksit (Al₂O₃), Vinil ester, Kompozit malzeme, Mekanik özellikler

* Corresponding Author: Marmara University, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1714-7394), yboztoprak@marmara.edu.tr

1. Introduction

Composites have become the dominant substitute for metals and other engineering materials in nearly all engineering applications. The reason behind the enormous growth of composites is the wide range of applications they have found themselves in. The most widely used type of composites is polymer matrix composites. Polymeric matrix composites are lightweight, economical, have low production costs, are resistant to corrosion and have the ability to produce parts with complex shapes. They are increasingly used in automotive, aerospace, defense, construction and many other commercial applications [1].

The mechanical properties of a polymer matrix composite can be improved by the addition of particle reinforcements. These properties can be designed by selecting the appropriate matrix and reinforcement material [2]. In general, the mechanical properties of particle-reinforced polymer composites depend on the shape, size and distribution of the reinforcement, as well as the adhesion between the matrix and the particles [3].

In addition to fiber reinforced composites, particle reinforced composites are also widely used. Particles can be used to increase ductility, reduce matrix modulus, and reduce the cost of composites [4-5]. Among the micro-scale particles used predominantly as filler/reinforcement, submicron particles have a much higher specific surface area. This high specific surface area drives the high surface interaction between the long-chain polymer matrices and the reinforcement. It is well known that the dispersion of submicron particles results in improved properties in polymer composites. If a homogeneous distribution of these submicron particles can be achieved, both the mechanical and electrical properties of the composite can be improved [6-8].

Modification of the polymer matrix is one of the approaches to developing new polymer materials. This modification can be done by adding different ceramic powders of different sizes to obtain the required mechanical properties [9]. Ceramics have high-temperature resistance and electrical insulation properties. Some ceramic materials have special properties such as magnetic, piezoelectric and superconductivity at very low temperatures. These properties are also preferred in composite materials [10]. There are many studies on the mechanical properties of particle-reinforced polymeric composites in the literature.

McGrath et al. [11] studied the effect of alumina powder in epoxy on mechanical properties. In this study, they found that the change in particle size, shape, and size distribution of alumina powder had little effect on the epoxy. However, resin crosslink density and filler loading were the most critical variables that could change all properties. Kardar et al. [12] studied the effect of nano alumina particles on the physical-mechanical properties of UV-cured epoxy acrylate via nano-indentation. In their studies, it was observed that the scratch resistance and self-healing of the film increased in the presence of nanoparticles. Hongxia Z. and Robert K.Y.Li [5] studied the effect of water absorption on the mechanical and dielectric properties of nano-alumina-filled epoxy nanocomposites. They found that mechanical properties such as the stiffness of the matrix increased with the addition of nano alumina, and also improved dielectric properties due to the increase in the total interfacial area. Zhao et al. [10] studied the

mechanism leading to an improved mechanical performance in nanoscale alumina-filled epoxy. Their observations revealed that the improvement in tensile strength was due to the stronger interface.

Ramesh et al. [9] added different micro-modifier particles such as Al_2O_3 , SiO_2 and TiO_2 separately at the rate of 10% into the glass fiber/epoxy structure and conducted a comparative study on the mechanical properties of the hybrid composites they produced. It was observed that the mechanical properties of all epoxy-modified composites were improved. It has been observed that Al_2O_3 particles in epoxy composites increase the hardness and impact energy compared to other ceramic particles. Iskender et al. [13] investigated the effect of micro and nanofiller content on the mechanical properties of epoxy composites. Micro-fillers are Al_2O_3 , TiO_2 and fly ash added at rates between 10% and 30% by weight; Nanofillers are Al_2O_3 , TiO_2 and clay, which are added at a rate of between 2.5% and 10% by weight. It was observed that the tensile strength, flexural strength and elongation at break values of the composites decreased, while the tensile modulus and bending modulus increased with increasing micro and nanofiller content ratio. Solmaz et al. [14] investigated the tensile properties and wear behavior of composite materials obtained by adding Al_2O_3 at different rates between 1% and 30% into the polyester matrix. They stated that the tensile strength and elongation amount decreased with the increase of Al_2O_3 ratio, and the wear resistance increased with the decrease in weight loss. Wenyan et al. [15] produced glass fiber reinforced vinyl ester resin composites modified with nano- Al_2O_3 by VARTM method. They modified the glass fiber surface with various contents of nano Al_2O_3 particles by the solid-liquid separation method. They examined the mechanical properties of the composite plates they obtained, and as a result of this experimental study, they determined that the tensile strength and bending strength increased with the increase of nano Al_2O_3 content, and the best mechanical performance was obtained when the nano Al_2O_3 ratio was between 0.5% and 1% by weight.

In this study, vinyl ester resin was preferred as the matrix material because it has properties between epoxies and unsaturated polyesters and is easy to use at room temperature. Vinyl ester resin has more hydroxyl terminal reactive double bonds than other resins. It has reactive double bonds only at the end of the chain, unlike unsaturated polyester resin, which has fully reactive double bonds in the chain. In vinyl ester resins, both the cure rate and the reaction conditions can be easily controlled. Vinyl ester resins are one of the widely used thermosets and provide excellent toughness, thermal stability and chemical resistance [16].

2. Material and Method

2.1. Materials

The vinyl ester resin (Ercos Resin-Coating, Turkey) was used because it combines the properties of epoxies and unsaturated polyesters as matrix material and is easy to use at room

temperature. Al_2O_3 particles were used with an average of 1-3 micron dimensions (PCT Plasma Ceramic Technology GmbH, powder specific surface area $55 \pm 5 \text{ m}^2/\text{g}$, weight loss $\leq 2\%$ after 2 hours at 700°C). Teflon was used as a mold material to prepare test samples. In the reaction, 50% active methyl ethyl ketone peroxide (MEK - Aldrich) was used as the initiator and 6% cobalt naphthenate (Aldrich) as the accelerator. MEG (mono ethylene glycol - Dow Chemical) was used to ensure a homogeneous distribution of the particles and to prevent agglomeration.

2.2. Preparing of Composite Specimens

The aluminum oxide was added (0.5, 1, 1.5, 2 % by weight) to the vinyl ester resin. Since the resin could not wet the aluminum oxide particles, it was not continued beyond 2%. In the sample preparation process, Aluminum oxide particles were mixed with an ultrasonic mixer for 30 minutes in MEG (mono ethylene glycol) at a ratio of 5 times the particle amount to ensure homogeneous distribution and prevent aggregation. Vinyl ester resin was placed in a container and aluminum oxide dispersed in MEG at the rate of 0.5% by weight of the total amount was added into the resin and mixing was applied with a mechanical mixer for 10 minutes. Following this process, 3% MEK peroxide was added as a hardener and mixed, then 1% cobalt naphthenate was added as an accelerator and mixed again. After a homogeneous mixture was obtained, the mixture was poured into the Teflon mold placed on a smooth surface. The Teflon mold was kept at 85°C for 10

3. Results and Discussion

In this study, Al_2O_3 particles of 1-3 micron dimensions were used as a reinforcement in vinyl ester matrix composites and their mechanical properties were investigated. The test results of the samples are given in the figures below.

Tensile test results are given in Figure 1. As can be seen in Figure 1, the tensile strength increased with an increase in the amount of aluminum oxide added to the vinyl ester up to 1.5%, after which a decrease was observed in the tensile strength. It was seen that the maximum % elongation was observed in the sample containing 1.5% Al_2O_3 as in the tensile strength (Figure 2). The non-homogeneous distribution of Al_2O_3 particles in the composite structure and the formation of agglomeration caused the expectation of higher tensile strength to not be met. It is seen that the increase in strength in microparticle reinforcement is not higher and the decrease in strength by 2% is due to inhomogeneous distribution. It is seen that this is due to the stress concentration that occurs by causing agglomeration.

In some studies, it is seen that silica nano particles are added to epoxy resin for the purpose of toughening [8], and in another study, boron nitride is added to vinyl ester resin for the same purpose [17]. In these studies, it is stated that silica and boron nitride increase toughness. In this study, adding aluminum oxide to vinyl ester resin had the same effect on increasing toughness. In the study of Latief F.H.. et al. [18], it is seen that the tensile strength increases up to 5% with the addition of Al_2O_3 into the

minutes and the hardened samples were removed from the mold. These procedures were applied in the same way for the other ratios.

2.3. Characterization

The tensile test of the samples prepared according to the ISO 527 standard was carried out in the Zwick Z010 universal tensile device with a tensile speed of 5 mm/min. The 3-point bending test was also performed on the Zwick Z010 device. The impact strength of the unnotched samples prepared according to the ISO 180 standard was tested using a 5.4 J Izod hammer in the Zwick B5113.30 impact device. Hardness measurements were made on the Zwick Shore D instrument. The abrasion test of the samples was carried out in a Pin On Disc Tester according to ASTM G-99 standard under 250 g weight load at 72 rpm. Weight measurement was carried out by taking a measurement every 100 meters (100 m = 398 cycles), for a total of 500 m (total 1990 cycles). In the wear test, an abrasive disc with a hardness of 63 HRC and a surface roughness of $0.830 \mu\text{m}$ was used. The weight loss was determined by measuring with a Precision Balance with a precision of 10^{-4} . SEM examination of the fractured surfaces was performed with the JEOL JSM-5910 LV device.

In the tests performed, 5 samples were prepared for each group, the average of the resulting values was taken and the tests were carried out at room temperature.

polyester resin, and after this rate, the tensile strength decreases due to agglomeration. The same effect was observed in our study.

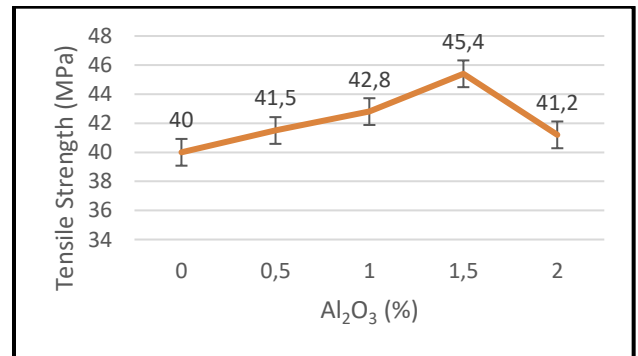


Figure 1. The change in tensile strength depending on the amount of Al_2O_3

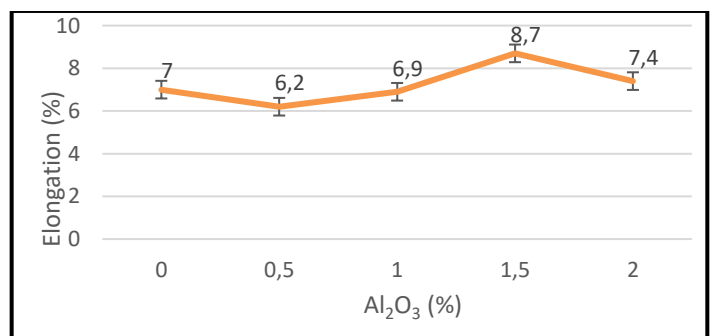


Figure 2. The change in % elongation depending on the amount of Al_2O_3

Figure 3 shows the three-point bending test results depending on the addition of aluminum oxide. As the aluminum oxide addition increased, the bending strength decreased. As expected, the highest values were obtained in the pure vinyl ester sample. Depending on the increase in the amount of Al_2O_3 particles, the hardness increased and this caused the composite material to have a brittle structure. The increase in hardness and the formation of agglomeration caused a decrease in bending strength.

In the study of İskender et al. [13], it is seen that the bending strength decreases as the amount of Al_2O_3 added to the epoxy resin increases. The same effect was seen in this study.

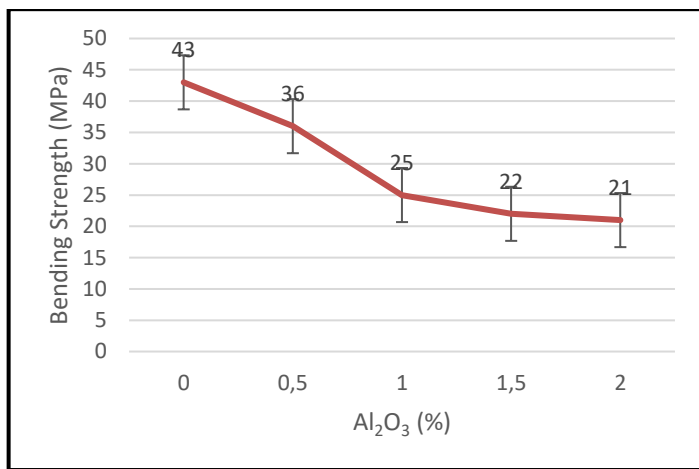


Figure 3. The change in the three point bending strength of the vinyl ester/ Al_2O_3 composites

In Figure 4, the change in Izod impact strength depending on the amount of aluminum oxide is given. In this study, the maximum impact strength was obtained in the 1.5% Al_2O_3 reinforced sample. After this ratio, the impact strength decreased. In the impact test, it was observed that the vinyl ester matrix fracture in the brittle fracture mode without undergoing significant plastic deformation. As it is known, as the particle size decreases, the surface area increases and the adhesion between the matrix and the reinforcement phase is better. On the other hand, as the amount of particles increases, the probability of formation of agglomeration also increases. In this study, the impact strength increased with the addition of Al_2O_3 , which has a small particle size of 3 microns. The maximum impact strength was observed at a rate of 1.5%.

Aynalem G.F. and Sirahbizu B. [19] added Al_2O_3 into the linen/unsaturated polyester composite structure in their study. They stated in their studies that the impact strength increased with the increase of the amount of Al_2O_3 . In our study, the impact resistance increased with the increase in the amount of Al_2O_3 added to the polyester resin.

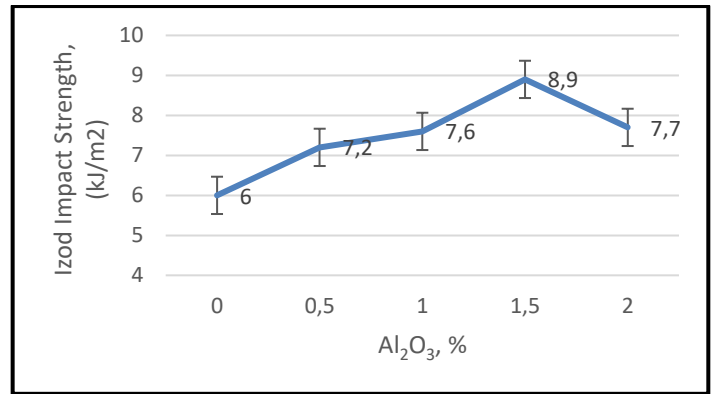


Figure 4. The change in the izod impact strength of the vinyl ester/ Al_2O_3 composite

In Figure 5, hardness values are given depending on the amount of aluminum oxide. Although the hardness value increases with the increase of Al_2O_3 ratio, this increase is not a serious increase. However, the slight increase in hardness caused to have a brittle structure of the composite materials.

In the study of Latief F.H. et al. [18], it was observed that the addition of Al_2O_3 increased the hardness of the polyester resin. Al_2O_3 showed the same effect in vinyl ester resin.

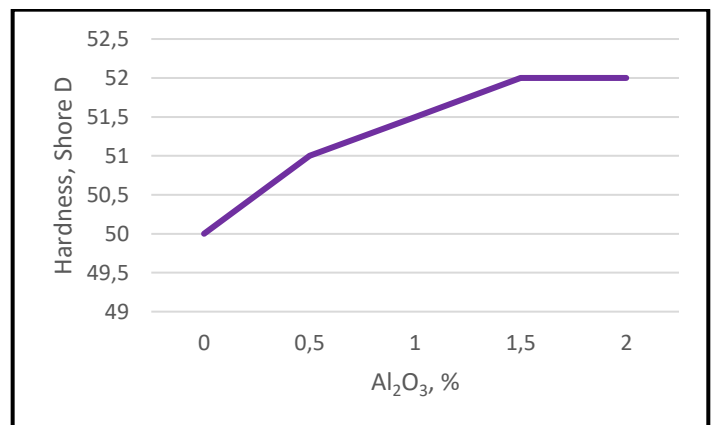


Figure 5. Hardness values depending on the amount of Al_2O_3

The weight losses obtained as a result of the wear test are given in Figure 6. Weight loss decreased depending on the increase in the wearing distance and the % aluminum oxide ratio. While it is seen that the most wear is in pure vinyl ester resin (0%), it is seen that the amount of wear decreases with the addition of aluminum oxide, that is, the wear resistance increases. The wear resistance of the 1.5% and 2% Al_2O_3 reinforced composite materials is higher than the other samples. Due to the good adhesion between vinyl ester and Al_2O_3 , the wear resistance increased as the amount of Al_2O_3 increased.

In the study of Solmaz et al. [14], the addition of Al_2O_3 to the polyester resin increased the abrasion resistance. In our study, the addition of Al_2O_3 showed the same effect in vinyl ester resin.

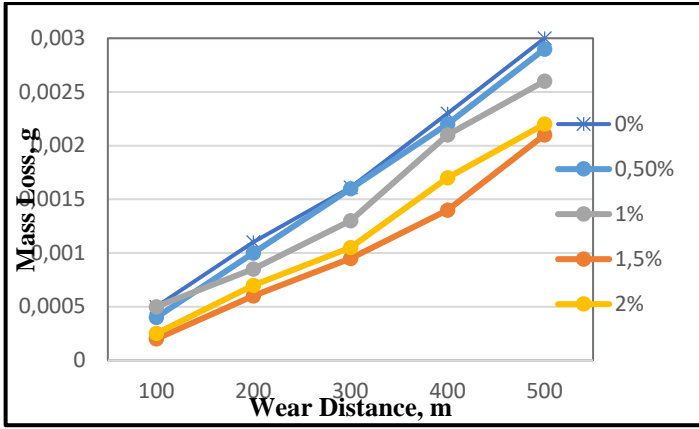


Figure 6. Wear test results of the vinyl ester/Al₂O₃ composites

A fractured surface view of vinyl ester composite with 2% Al₂O₃ added is given in Figure 7. When the distribution of the particles in the structure is examined, it is seen that particle distribution is observed in some regions, while agglomeration occurs in some regions. In other words, a heterogeneous distribution was obtained. Despite adding MEG and mixing in the ultrasonic homogenizer to prevent agglomeration, agglomeration still occurred in some areas, which is due to the difficulty of homogeneous distribution as the amount of Al₂O₃ increases. This explains the reason for the decrease in the mechanical properties of 2% Al₂O₃ reinforced composites. Figure 8 shows the result of the EDS test and the Al and O peaks can be seen in the graph.

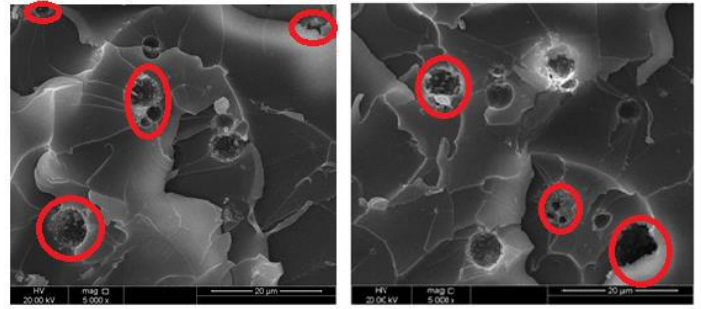


Figure 7. SEM image of 2% Al₂O₃ reinforced vinyl ester composite

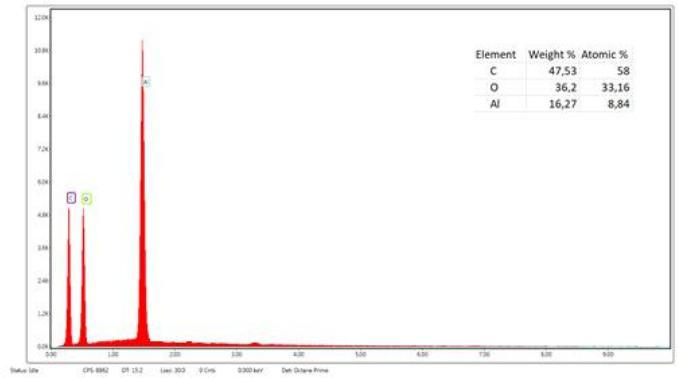


Figure 8. EDS test of reinforced vinyl ester composite

4. Conclusions and Recommendations

Al₂O₃ particles (1-3 micron) were used as a reinforcement in vinyl ester matrix composites and their mechanical properties were investigated. The tensile strength, % elongation, hardness and impact strength properties of the composite material increased with the addition of aluminum oxide. According to these mechanical properties mentioned here, the best result was seen at a rate of 1.5%. However, the flexural strength decreased as the Al₂O₃ ratio increased. As for the abrasion properties, the mass loss was decreased as the content of Al₂O₃ increased. In the abrasion test, the ratio of 1.5% Al₂O₃ gave the best abrasion resistance result.

In this study, it was understood that the addition of Al₂O₃ had a significant effect and improvement on most of the mechanical properties of vinyl ester composites, but this effect reached the optimum effect at the level of 1.5%. The addition of reinforcement at high rates in micron-sized particles causes a weakness in the adhesion force between the matrix and the reinforcement, while on the other hand, it also causes agglomeration problems. Therefore, a decrease in the mechanical properties of vinyl ester composite occurred after 1.5% Al₂O₃ ratio. The results of this study are also consistent with the results of other studies in this field.

Al₂O₃ reinforced vinyl ester composite can be used in areas where mechanical properties other than bending strength are

important. In addition, this method is recommended for producing parts with small dimensions and recessed protruding geometries, which are reinforced in the independent direction. The experimental results support that the successful addition of Al₂O₃ particles reinforced vinyl ester composites is possible to fabrication.

In terms of homogeneous distribution, non-agglomeration, better adhesion of matrix and reinforcement, the use of particles such as Al₂O₃ in nano size will give better results in terms of improvement of mechanical properties.

5. Acknowledge

I would like to thank TURKOM CERA for giving Al₂O₃ particles for use in our study.

References

1. Amit C., Islam M.S. (2008). Fabrication and characterization of TiO₂ epoxy nanocomposites. *Materials Science and Engineering A* 487, 574–585.
2. Tagliavia G, Porfiri M, Gupta N. (2010). Analysis of flexural properties of hollow-particle filled composites. *Composites Part B Engineering*. 41: 86–93.
3. Kulkarni M.B., Mahanwar P.A. (2012). Effect of methyl methacrylate–acrylonitrile–butadiene–styrene (MABS) on the mechanical and thermal properties of poly (methyl methacrylate) (PMMA)-fly ash. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 11: 365–383.

4. Mirmohseni A., Zavareh S.(2010). Preparation and characterization of an epoxy nanocomposites toughened by a combination of thermoplastic, layered and particulate nano-fillers, *Materials and Design* 31, 2699–2706.
5. Hongxia Z, Robert K.Y. Li, (2008). Effect of water absorption on the mechanical and dielectric properties of nano-alumina filled epoxy nanocomposites. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*. 39, 602–611.
6. Vimalathithan P.K., Vijayakumar C.T. (2017). Characterization of cenosphere-reinforced vinyl ester composites, *Journal of Elastomers & Plastics*. 1–12.
7. Hamming L.M., Qiao R., Messersmith P.B., Brinson L.C. (2009). Effects of dispersion and interfacial modification on the macro scale properties of TiO₂ polymer–matrix nanocomposites, *Composites Science and Technology* 69,1880–1886.
8. Johnsen B.B., Kinloch A.J., Mohammed R.D., Taylor A.C., Springer S. (2007). Toughening mechanisms of nano particle-modified epoxy polymers. *Polymer* 48,530-541.
9. Ramesh K.N., Dasha A.,..Ray B.C. (2014). Effect of epoxy modifiers (Al₂O₃/SiO₂/TiO₂) on mechanical performance of epoxy/glass fiber hybrid composites, *Procedia Materials Science*. 6, 1359 – 1364
10. Zhao S., Schadler L.S., Duncan R., Hillborg H., Auletta T. (2008). Mechanisms leading to improved mechanical performance in nanoscale alumina filled epoxy, *Composites Science and Technology*. 68, 2965–2975.
11. McGrath L.M., Parnas R.S., King S.H., Schroeder J.L., Fischer D.A., Lenhart J.L. (2008). Investigation of the thermal, mechanical, and fracture properties of alumina epoxy composites. *Polymer* 49, 999-1014.
12. Kardar P., Ebrahimi M., Bastani S. (2008). Study the effect of nano-alumina particles on physical–mechanical properties of UV cured epoxy acrylate via nano-indentation, *Progress in Organic Coatings* 62, 321–325.
13. Özsoy İ. Demirkol A, Mimaroglu A., Ünal H., Demir Z. (2015). The influence of micro- and nano-filler content on the mechanical properties of epoxy composites. *Journal of Mechanical Engineering*. 61, 10, 601-609.
14. Solmaz M.Y., Muratoğlu M., Eroğlu M. (2011) Al₂O₃ partikülleriyle takviyelendirilmiş polyester matrisli kompozitin abrasiv aşınma davranışının incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 579-582. Elazığ, Turkey.
15. Liang W, Duan Z, Sun K., Liang H., Wang Z., Guo C. (2017). Mechanical performance of nano-Al₂O₃-modified composites at cryogenic and room temperatures, *Polymer Composites*. 1-7.
16. Mallick P. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design*. Boca Raton: CRC Press.
17. Kartal İ, Boztoprak Y. (2019). Bor nitrür partikülleriyle takviye edilmiş vinil ester matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6, No: 1, 43-50*.
18. Latief F.H., Chafidz A., Junaedi H., Alfozan A., Khan R. (2019). Effect of alumina contents on the physicomechanical properties of alumina (Al₂O₃) reinforced polyester composites. *Advances in Polymer Technology*, 1-9.
19. Aynalem G.F., Sirahbizu B. (2021). Effect of Al₂O₃ on the tensile and impact strength of flax/ unsaturated polyester composite with emphasis on automobile body applications, *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-9.



Mercimekte AG ve AC Tekrarları ile Zenginleştirilmiş Kütüphanelerin TG ve TC Tekrarları ile Taranarak Yeni SSR Markörlerin Geliştirilmesi

Şehriban Demir¹, Melike Bakır^{2*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1367-507X), shrbn@hotmail.com
^{2*} Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3465-1453), melikebakir@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 19 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075391)

ATIF/REFERENCE: Demir, Ş. & Bakır, M. (2022). Mercimekte AG ve AC Tekrarları ile Zenginleştirilmiş Kütüphanelerin TG ve TC Tekrarları ile Taranarak Yeni SSR Markörlerin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 54-58.

Öz

Simple sequence repeats (SSRs) markörler, bitkilerde genetik ve genomik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan önemli moleküler gereçlerdir. Ancak ekonomik öneme sahip serin iklim baklagil bitkilerinden mercimekte (*Lens culinaris* Medik.) bugüne kadar geliştirilen SSR markörü sayısı oldukça sınırlı kalmıştır. SSR markörlerin bu eksikliği, mercimek moleküler ıslah çalışmalarını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, mercimek bitkisinde SSR markörü geliştirmek için AC ve AG tekrarlarınca zenginleştirilmiş kütüphanelere ait 288 klon TG ve TC tekrarlarınca taranarak yeni 15 adet SSR markörü geliştirilmiştir. Polimorfizm gösteren markörlerden toplamda 18 allel üretilmiş ve Lc-MCu54 markörü en polimorfik markör olarak belirlenmiştir. Geliştirilen bu markörler mercimek bitkisinde moleküler temelli pek çok çalışmaya katkı sağlayacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: SSRs, Mercimek, Markör geliştirme, Zenginleştirilmiş kütüphane.

Development of New SSR Markers in Lentil by Scanning AG and AC Enriched Libraries with TG and TC Repeats

Abstract

Simple sequence repeats (SSRs) markers are important molecular tools widely used in genetic and genomic research in plants. However, the number of SSR markers developed in lentils (*Lens culinaris* Medik.) so far, which is an economically important cool season legume plant, has been very limited. The lack of SSR markers is among the main factors limiting lentil molecular breeding studies. In this study, 288 clones belonging to the enriched libraries with AC and AG repeats were screened by TG and TC repeats to develop SSR markers in lentil plants and 15 new SSR markers were developed. A total of 18 alleles were generated from markers showing polymorphism, and the Lc-MCu54 marker was identified as the most polymorphic marker. These developed markers are capable of contributing to many molecular-based studies in lentil plants.

Keywords: Keywords: SSRs, Lentil, Marker development, Enriched library.

* Sorumlu Yazar: melikebakir@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Kültürü yapılan en eski baklagillerden biri olan mercimek (*Lens culinaris* Medik) bitkisi (Bahl vd. 1993), diploid bir genoma ($2n = 2x = 14$) sahip olup, kendine dölenen bir bitkidir (Muehlbauer, 1992). Genom büyüklüğü yaklaşık 4 Gb'dir ve tek yıllık serin iklim baklagilleri arasında yer almaktadır (Arumuganathan ve Earle, 1991). Kültür mercimeği *L. culinaris* Medik.'e ek olarak, *Lens* cinsi *L. ervoides*, *L. lamottei*, *L. nigricans* olmak üzere 3 yabancı türden oluşmaktadır (van Oss vd. 1997). *L. culinaris* Medik. ise hem kültür *L. culinaris* subsp. *culinaris* hemde yabancı *L. culinaris* subsp. *orientalis*, *L. culinaris* subsp. *odemensis*, *L. culinaris* subsp. *tomentosus* olmak üzere 4 alt tür içermektedir (Ferguson vd. 2000). *L. culinaris* subsp. *culinaris*'in *L. culinaris* subsp. *orientalis*'ten kültüre alındığı, orijinin ise Yakın Doğu olduğu ileri sürülmektedir (Zohari, 1972).

Mercimek dünyada 5,1 milyon hektar alanda üretilmektedir ve yıllık üretim 6,54 milyon tondur (FAO 2021). Kanada %44'lük bir üretimle lider mercimek üretici durumundadır. Türkiye ise, Hindistan ve ABD'den sonra 4. sırada yer almaktadır (FAO 2021). Mercimek, yüksek protein oranı (28%), yavaş salınan karbonhidratları içermesi, lif, vitamin ve mineral içermesi ve aynı zamanda sahip olduğu düşük yağ oranı ile önemli bir besin kaynağıdır (Muehlbauer vd. 2006; Ramdath vd. 2020). Aynı zamanda azot bağlama özelliği ile de toprak sağlığına, azotça zenginleştirilmesine ve tarımsal toprakların zenginleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Singh vd. 2021). Bu nedenle, diğer baklagillerde olduğu gibi modern yoğunlaştırılmış tarım sistemlerinde ihtiyaç duyulan çeşitliliğe, ürün rotasyonu, karma ve birlikte ekim yoluyla katkıda bulunma potansiyeline sahiptir (Gan vd. 2015; Taha vd. 2018, Yolci, 2020).

Mercimek ekim alanlarında son 10 yıl içerisinde kayda değer ölçüde bir artış olmasına rağmen (FAO 2018), ürün miktarındaki artış biyotik ve abiyotik faktörlerin neden olduğu kayıp nedeni ile ekim alanındaki artışa paralel bir artış gösterememiştir (Rahimi vd. 2016; Singh vd. 2017; Sehgal vd. 2017). Bu bağlamda, yabancı türlere ait gen havuzu oldukça önemli bir genetik çeşitlilik kaynağıdır ve mercimeğin genetik gelişimi için pek çok önemli potansiyel özellikleri (abiyotik ve biyotik stres faktörlerine dayanıklı, verim parametreleri vb.) içermektedir (Sarker ve Erskine, 2006). Yabancı ve kültür mercimeği gen havuzunda yer alan arzu edilen bu özelliklerin genetik olarak belirlenebilmesi ve mercimek ıslah çalışmalarının ivme kazanması için etkili moleküler markörlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Mikrosatellitler veya SSR markörler (Simple Sequence Repeats), ko-dominant özelliğe sahip olmaları, lokus spesifik olmaları, polimorfizm oranının yüksek olması, genomda bol miktarda bulunmaları ve tekrar edilebilirliğinin yüksek olması nedeniyle DNA markörleri arasında oldukça önemli bir yere sahiptirler (Gupta vd. 1996). Mercimek bitkisinde bugüne kadar toplamda 389 SSR markörü geliştirilmiştir (Andeden vd. 2015; Bakır ve Kahraman, 2019; Durán vd. 2004; Hamwieh vd. 2005, 2009; Saha vd. 2010; Verma vd. 2014). Geliştirilen bu markör sayısı, büyük bir genoma sahip mercimek bitkisinde gerçekleştirilecek moleküler ıslah çalışmaları için oldukça yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, "Mercimekte (*Lens culinaris* Medik.) AG ve AC mikrosatellitlerince Zenginleştirilmiş Genomik Kütüphanelerden Yeni SSRs (Simple Sequence Repeats) e-ISSN: 2148-2683

Markörlerin Geliştirilmesi (Proje no:2150088)" başlıklı proje kapsamında oluşturulan AC ve AG tekrarlarınca zenginleştirilmiş kütüphanelerin, TG ve TC tekrarları ile taranarak yeni SSR markörlerin keşfedilmesi ve bu markörlerin polimorfizm oranlarının belirlenmesidir.

2. Materyal and Metod

2.1. Bitki materyal

Geliştirilen SSR markörlerinin polimorfizm oranlarını belirlemek için bitki materyali olarak GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü tarafından geliştirilen Tigris, Seyran-9, Altın toprak ve Yerli Kırmızı çeşitleri, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından geliştirilen Kafkas, Ankara yeşili, Ceren çeşitleri, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından geliştirilen Erzurum-8 ve Emre-2, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Müdürlüğü tarafından geliştirilen Sazak-9 çeşidi kullanılmıştır.

2.2. DNA izolasyonu

Kontrollü koşullarda saksılara ekilerek 15 gün süre ile gelişimleri sağlanan bitkilerin toprak üstü kısımları toplanarak Lefort vd. (1998) tarafından geliştirilen protokole göre DNA izolasyonları gerçekleştirilmiştir. İzole edilen DNA'lar %1'lik agaroz jelde görsel olarak kontrol edilerek, Nanodrop ND-1000 spektrofotometre ile DNA'ların saflık ve konsantrasyonları belirlenmiştir.

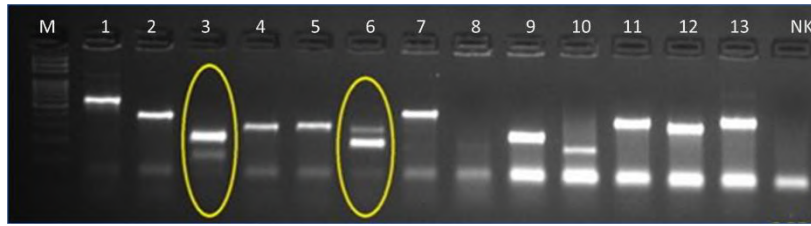
2.3. Mikrosatellitleri İçeren Dizilerin Analizi ve Primer Dizaynı

AG ve AC mikrosatellitlerince Techen vd. (2010)'a göre zenginleştirilen toplam 288 klon TG/TC tekrarları ile Bloor vd. (2001) tarafından geliştirilen koloni PCR koşulları modifiye edilerek taranmıştır. Buna göre, PCR reaksiyonları (15µl) stok kütüphanelerden 1µl, Oligo TG, Oligo TC ve Oligo LIBF3 (5'-CGGGAGAGCAACGAAGGAGT-3') primerlerinin her birinden 10 µM, her bir dNTP'den 0.2 mM, 1X DreamTaq Green Buffer (2 mM MgCl₂ içerir) (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA), and 0.5u DreamTaq DNA Polymerase (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün PCR reaksiyonları Bio-Rad termal döngü cihazında yapılmıştır. Amplifikasyon programı 94 °C de 3 dk ilk aşamayı takiben, 35 döngü 94 °C de 1 dk, 55 °C de 1 dk, 72 °C de 2 dk ve son uzama aşaması 72 °C de 10 dk olacak şekilde uygulanmıştır. PCR ürünleri %2'lik jelde yürütülerek, 2 ve daha fazla bant verenler pozitif olarak belirlenmiş (Şekil 1) ve ABI 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) cihazında BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) kullanılarak kit protokolüne göre dizilenmiştir. Elde edilen dizilerden plazmid dizilerini belirlemek ve temizlemek için Vecscreen (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/vecscreen/>) programı kullanılmıştır. Dizilerde yer alan mikrosatellit tekrarlarının yerleri SSRfinder (<http://www.fresnostate.edu/ssrfinder/>) programı ile belirlenerek, Primer3 programı (<http://bioinfo.ut.ee/primer3-0.4.0/>) ile primerler tasarlanmıştır (Tablo 1).

2.4. Geliştirilen SSR Primerlerinin Test Edilmesi

Geliştirilen markörleri en uygun bağlanma sıcaklığı (T_m) Fırat-87, Tigris, Seyran-96 çeşitleri kullanılarak optimize edilmiştir. Buna göre, PCR reaksiyonları (15 μ l) stok kütüphanelerden 1 μ l, her bir primerden 10 μ M, her bir dNTP'den 0.2 mM, 1X DreamTaq Green Buffer (2 mM MgCl₂ içerir) (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA), and 0.5u DreamTaq DNA Polymerase (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amplifikasyon programı 94 °C de 3 dk ilk aşamayı takiben, 35 döngü 94 °C de 1 dk, 50-66 °C de 1 dk, 72 °C de 2 dk ve son uzama aşaması 72 °C de 10 dk olacak şekilde uygulanmıştır (Bakır ve Kahraman, 2019). PCR ürünleri %3'lik jelde yürütülerek kontrol edilmiştir. Bütün PCR reaksiyonları Bio-Rad termal döngü cihazında yapılmıştır.

Bağlanma sıcaklıkları optimize edilen primerlerin polimorfizm oranlarını belirlemek amacı ile 23 adet mercimek çeşidi Schuelke (2000) tarafından geliştirilen M13 tail metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PCR reaksiyonlarında, 6-FAM, HEX ve ROX florasan işaretli M13 tail (-21) universal primeri (5'-TGAAAACGACGGCCAGT-3') tercih edilmiştir. Bunun için, her bir primere ait 0,5 μ l PCR ürünü, 9 μ l Hi-Di formamid ve 0,5 μ l LIZ-600 size standart ile birlikte karışım oluşturularak termal döngü cihazında 95 °C'de 5 dk denature edilmiş ve ABI 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) sistemine yüklenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için GeneMapper (version 5.0) software programı kullanılmış, her bir marköre ait pikler değerlendirilmiş ve her bir markör için allel büyüklükleri belirlenerek istatistik analizleri için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Koloni PCR ile SSR motifi içeren klonların belirlenmesi (Figure 1. Screening of the SSR included clones by colony PCR)

Tablo 1. Geliştirilen primerlere ait bilgiler (Tablo 1. The detailed information of the developed primers)

Lokus Adı	5'→3'	Tekrar motifi	bç	T _m (C°)
Lc_MCu 53_F	AGAACCGATCGTGTGTTGAGC	(GA) ₅ (GA) ₃ (GA) ₃ (GA) ₃ (GA) ₄ (GA) ₅	250	55
Lc_MCu 53_R	GGGTGGAAAACCCTAATTCC			
Lc_MCu54_F	GGAGTGCTTCATGTGTAATGAATC	(GT) ₃ (GT) ₃ (AATT) ₃ (GT) ₃	200	62
Lc_MCu54_R	CACCAACAATGAATGCATGA			
Lc_MCu55_F	TGAAAGAGGGAAAAGCGAAC	(GA) ₃ (GA) ₄ (GA) ₃ (GA) ₃ (GA) ₃ (GA) ₄ (GA) ₅ (GA) ₃ (GA) ₂ (GA) ₄	250	64
Lc_MCu55_R	CACAAGGGTTAAGAACCCAAA			
Lc_MCu56_F	CACATGCATGACATTGTTGAG	(TA) ₃ (ATT) ₃	200	62
Lc_MCu56_R	CATCAACAAAGAAGGGGTGA			
Lc_MCu57_F	ATCTCCTCGCCTCCGTCTAC	(TC) ₆ (CAA) ₃ (AG) ₂	250	52
Lc_MCu57_R	TGCATCTTCTCCTGTGACAT			
Lc_MCu58_F	TGAGATTTAAATGCATAATACCATGA	(TG) ₃ (TG) ₄ (GT) ₃ (TAA) ₃ (AT) ₃ (TG) ₃ (TTG) ₃	250	55
Lc_MCu58_R	AAGGAGTACCACCCCAAAGG			
Lc_MCu59a_F	TTTCCTGAAAAATGGCGAAT	(TC) ₇ (TC) ₅	190	56
Lc_MCu59a_R	GGGAGAGCAACGAAGGAGTA			
Lc_MCu60a_F	CCCACAGGTGAACACGAAAT	(CT) ₅ (CT) ₆	-	-

Lc_MCu60a_R	ACGAAGGAGTTCGTCATGG			
Lc_MCu61a_F	TGCAAGATTGGTATTGAGAAGAA	(GA) ₇ (GA) ₃ (AG) ₃ (AG) ₄ (TGA) ₃ (AG) ₃	–	–
Lc_MCu61a_R	TGATTTGTTTTCTCGCCACA			
Lc_MCu62_F	CGTTGTTGTCTGTCAGGTTAGG	(ATG) ₃ (TG) ₃ (TGT) ₃ (TG) ₃	250	55
Lc_MCu62_R	TCCAGTCATCACACATACACAAA			
Lc_MCu63_F	GCCTTGAGGGTTAAATTGGTC	(AAGA) ₃ (GA) ₃ (GA) ₃ (AG) ₈ (AGA) ₃	250	55
Lc_MCu63_R	CAAGAAGTTGCCTTGCCCTA			
Lc_MCu64_F	GAGTCCTGAGTCTACGATCACC	(GT) ₅ (GA) ₄	250	55
Lc_MCu64_R	CAACACCCAATCGAAACTCC			
Lc_MCu65_F	GTGTTGGAATCTTGGGCAAT	(GA) ₃ (GC) ₃ (GT) ₃ (GT) ₃	200	62
Lc_MCu65_R	ACGCCCTCACCTTTCACACT			
Lc_MCu66a_F	GAACGAGCACCCATCATT	(GA) ₁₈	180	56
Lc_MCu66a_R	AGAGCAACGAAGGAGTGTGG			
Lc_MCu67_F	CGTATGGGCAGAAGTGTGATT	(TGT) ₃ (TAT) ₄ (ATG) ₃ (ATA) ₃ (AT) ₃ (TG) ₃ (TGT) ₃	300	66
Lc_MCu67_R	ATGGGCTATGCACGCTAAAT			

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu alışmada, AG/AC tekrarları ile zenginleştirilmiş 288 klon TG/TC tekrarları ile taranmış ve bu kütüphanelerin 17 adedinin (%5,9) SSR motifi içerdiği tespit edilmiştir. SSR motifi içeren bu klonlar diziler ve bunların 15 (%88,2) adedinin 65 SSR motifi içerdiği belirlenmiştir. AG/AC tekrarları ile yapılan zenginleştirilmiş kütüphanelerin yine AG/AC tekrarları ile taranması sonucu 350 klonun 68 adedinin (%19,4) SSR motifi içerdiği ve bu klonlar dizilendiğinde 53 (%79,1) adedinin 134 SSR motifi içerdiği tespit edilmiştir (Bakır ve Kahraman, 2019). Bu durum, zenginleştirilmenin yapılmış olduğu kütüphanelerin farklı markörlerle taranması ile düşük oranlarda da olsa yeni SSR markörlerin geliştirilebileceğini göstermektedir. Literatürde zenginleştirilen kütüphanelerin farklı tekrarlarla taranarak SSR markörü geliştirilmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamakla birlikte mercimek bitkisinde zenginleştirilmiş kütüphanelerden SSR markörü geliştiren diğer araştırıcılar ile karşılaştırıldığında geliştirilen markör sayısı Hamwieh vd. (2009) den daha yüksek ancak Verma vd. (2014) ve Andeden vd. (2015) den daha düşük bulunmuştur.

Geliştirilen 15 SSR markörünün polimorfizm oranları 23 tescilli mercimek çeşidinde test edilmiştir. Bu markörlerden Lc-MCu53, Lc-MCu54, Lc-MCu56, Lc-MCu57, Lc-MCu58, Lc-MCu61, Lc-MCu62, Lc-MCu63, Lc-MCu66, Lc-MCu67 markörleri ABI 3500 Genetic Analyzer sisteminde değerlendirilmiştir. Lc-MCu55, Lc-MCu59, Lc-MCu60, Lc-MCu64, Lc-MCu65 markörlerinin PCR ürünleri agaroz jelde çok sayıda nonspesifik bant verdiği için amplifiye olmadığı için fragment analizi çalışmalarında kullanılmamıştır. Kapilleri

elektroforez yüklemeleri sonrasında her bir marköre ait pikler değerlendirilmiş ve Lc-MCu53, Lc-MCu54, Lc-MCu62, Lc-MCu66 polimorfik bulunurken, Lc-MCu57, Lc-MCu58 ve Lc-MCu67 markörlerinin ise monomorfik pik profili verdiği görülmüştür. Lc-MCu56 ve Lc-MCu63 markörleri ise karışık pik profili göstermesi nedeni ile değerlendirilmemiştir. Yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada polimorfik markör yüzdesi (%26,6), Verma vd. (2014) (%84), Bakır ve Kahraman (2019) (%58,4) ve Hamwieh vd. (2009) (%32)'den düşük, Andeden vd. (2015) (23,5%) yüksek bulunmuştur.

Polimorfizm gösteren Lc-MCu53, Lc-MCu54, Lc-MCu62 ve Lc-MCu66 markörlerine ait allel sayıları sırası ile 4, 10, 2 ve 2 olarak belirlenmiştir. Toplamda 18 allel üretilmiş ve Lc-MCu54 en polimorfik markör olarak belirlenmiştir. Tescilli 23 mercimek çeşidinin genetik ilişkisini belirlemek için oluşturulan dendrogram mercimek çeşitlerinin yeterli derecede ayrılmasını sağlayabilmiştir. Elde edilen sonuçların, aynı mercimek çeşitlerinin kullanarak oluşturulan sonuçların (Bakır ve Kahraman, 2019) ve 8 tescilli mercimek çeşitlerinin ortak kullanıldığı (Andeden vd. 2015) alışmalar ile benzer dağılım gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmada, mercimek bitkisinde oldukça kısıtlı olan SSR markörü sayısı var olan kütüphanelerin farklı oligo tekrarları ile taranması ve yeni markör geliştirilmesi stratejisi ile genişletilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen bu SSR markörleri mercimek bitkisi moleküler ışlah çalışmaları, haritalama çalışmaları, genetik çeşitlilik analizleri ve popülasyon yapısı çalışmaları için yararlı olacaktır.

4. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Erciyes Üniversitesi Betül Ziya Eren Genom ve Kök Hücre Merkezine sağladığı laboratuvar imkânı ve desteği için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Andeden, E.E., Baloch, F.S., Çakır, E., Toklu, F., & Özkan, H. (2015). Development, characterization and mapping of microsatellite markers for lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Breeding* 134, 589–598.
- Arumuganathan, K., & Earle, E.D., (1991). Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Mol Biol Rep* 9, 208–218.
- Bahl, P.N., Lal, S., & Sharma, B.M. (1993). Page: 1-10. “An overview of the production and problems in southeast Asia”. In: *Lentil in South Asia. Proceedings of the seminar on lentils in South Asia*, ICARDA. Editors: Erskine, W., Saxena, M.C. Aleppo, Syria.
- Bakır, M., & Kahraman, A. (2019) Development of new SSR (simple sequence repeat) markers for lentils (*Lens culinaris* Medik.) from genomic library enriched with AG and AC microsatellites. *Biochemical Genetics* 57, 338-353.
- Bloor, P.A., Barker, F.S., Watts, P.C., Noyes, H.A., & Kemp, S.J. (2001). Microsatellite libraries by enrichment. https://www.genomics.liv.ac.uk/animal/RESEARCH/MICR_OSAT.PDF Accessed 10 April 2018.
- Durán, Y., Fratini, R., García, P., & De La Pérez Vega, M. (2004). An intersubspecific genetic map of *Lens*. *Theoretical and Applied Genetics* 108, 1265–1273.
- FAOSTAT (2021) <https://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. Accessed 7 April 2018.
- Ferguson, M.E., Maxted, N., van Slageren M., & Robertson, L.D. (2000). A reassessment of the taxonomy of *Lens* Mill. (Leguminosae, Papilionoideae, Viciae). *Bot. J. Lin. Soc* 133, 41–59.
- Gan, Y., Hamel, C., O’Donovan, J. T., Cutforth, H., Zentner, R. P., Campbell, C. A., Niu, Y., & Poppy, L. (2015). Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Scientific Reports* 5, 14625.
- Gupta, P.K., Balyan, H.S., Sharma, P.C., Ramesh, B. (1996). Microsatellites in plants: a new class of molecular markers. *Curr. Sci* 70, 45–54.
- Hamwih, A., Udupa, S.M., Choumane, W., Sarker, A., Dreyer, F., Jung, C., & Baum, M. (2005). A genetic linkage map of *Lens* sp. based on microsatellite and AFLP markers and the localization of fusarium vascular wilt resistance. *Theor Appl Genet* 110, 669–677.
- Hamwih, A., Udupa, S.M., Sarkar, A., Jung, C., & Baum, M. (2009). Development of new microsatellite markers and their application in the analysis of genetic diversity in lentils. *Breed Sci* 59, 77–86.
- Lefort, F., Lally, M., Thompson, D., & Douglas, G.C., (1998). Morphological traits, microsatellite fingerprinting and genetic relatedness of a stand of elite oaks (*Q. robur* L.) at Tullyally Ireland. *Silvae Genet* 47,5–6.
- Muehlbauer, F.J. (1992). Page 49-73. “Use of introduced germplasm in cool season food legume cultivar development”. In: *Use Of Plant Introductions In: Cultivar Development (Part 2)*. Editors: Shands, H.L., Wiesner, L.E. Crop Sci. Soc. Amer., Social publication.
- Muehlbauer, F. J., Cho, S., Sarker, A., McPhee, K. E., Coyne, C. J., Rajesh, P. N., & Ford, R. (2006). Application of biotechnology in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stress. *Euphytica*, 147, 149-165.
- Rahimi, M.H., Houshmand, S., Khodambashi, M., Shiran, B., & Mohammady, S. (2016). Effect of drought stress on agromorphological traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.) recombinant inbred lines. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 41, 207-219.
- Ramdath, D. D., Lu, Z. H., Maharaj, P. L., Winberg, J., Brummer, Y., & Hawke, A. (2020). Proximate Analysis and Nutritional Evaluation of Twenty Canadian Lentils by Principal Component and Cluster Analyses. *Foods* 9, 175.
- Saha, G.C., Sarker, A., Chen, W., Vandemark, G.J., & Muehlbauer F.J. (2010). Inheritance and linkage map positions of genes conferring resistance to stemphylium blight in lentil. *Crop Sci* 50, 1831–1839.
- Sarker, A., & Erskine, W. (2006). Recent progress in the ancient lentil. *J. Agric. Sci* 100, 19–29.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H., & Nayyar, H. (2017). Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science* 8, 1776.
- Singh, D., Singh, C.K., Taunk, J., Tomar, R.S.S., Chaturvedi, A.K., Gaikwad, K., & Pal, M. (2017). Transcriptome analysis of lentil (*Lens culinaris* Medikus) in response to seedling drought stress. *BMC Genomics* 18, 206.
- Singh, J., Sirari, A., Singh, H., Kumar, A., Jaidka, M., Mandahal, K. S., ... & Singh, S. (2021). Identifying and validating SSR markers linked with rust resistance in lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breeding*. 00,1-9.
- Taha, K., Berraho, E. B., El Attar, I., Dekkiche, S., Aurag, J., & Béna, G. (2018). Rhizobium laguerreae is the main nitrogen-fixing symbiont of cultivated lentil (*Lens culinaris*) in Morocco. *Systematic and Applied Microbiology*. 41, 113–121.
- Techen, N., Arias, R.S, Glynn, N.C., Pan, Z., Khan, I.A., & Scheffler, B.E. (2010). Optimized construction of microsatellite-enriched libraries. *Mol Ecol Resour* 10,508–515.
- Van Oss, H., Aron, Y., & Ladizinsky, G. (1997). Chloroplast DNA variation and evolution in the genus *Lens* Mill., *Theor Appl Genet* 94, 452–457.
- Verma, P., Sharma, T.R., Srivastava, P.S., Abdin, M.Z., & Bhatia, S. (2014). Exploring genetic variability within lentil (*Lens culinaris* Medik.) and across related legumes using a newly developed set of microsatellite markers. *Mol Biol Rep* 41, 5607–5625.
- Yolci, M. S. (2020). Erciş (Van) Ekolojik Koşullarında Bazı Fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 562-567. DOI: 10.31590/ejosat.693862
- Zohari, D. (1972). The wild progenitor and place of the cultivated lentil (*Lens culinaris*). *Economic Botany*. 26, 236-332.



İnsan Mezenkimal Kök Hücrelerinin Heparin Mimetik Peptit ile Modifiye Edilmiş Kendiliğinden Yapılandırılmış Peptit Hidrojel ile Arttırılmış Proliferasyonu

Gülşah Sunal¹, Günnur Pulat², Ozan Karaman^{3*}

¹ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7768-922X), gulsah17@outlook.com

² İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0895-4768), gunnur.onak@ikcu.edu.tr

^{3*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4175-4402), ozan.karaman@ikcu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086807)

ATIF/REFERENCE: Sunal, G., Pulat, G., & Karaman, O. (2022). Enhanced Proliferation of Human Mesenchymal Stem Cells by Self-Assembled Peptide Hydrogel Modified with Heparin Mimetic Peptide. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 59-66.

Öz

Doğal hücre dışı matris (HDM) bileşenlerinin rolünü taklit eden üç boyutlu (3B) mikro ortamların geliştirilmesi çok önemlidir. Kendiliğinden yapılanan peptit (KYP) hidrojeller, hücrelerin enkapsülasyonu, çoğalması, 3B kültürü, ve farklılaşması için ve ayrıca kırık dokusundaki kusurları onarmak için yapı iskeleleri olarak kullanılmıştır. KYP'ler, biyomimetik yapı iskeleleri oluşturmak için kısa peptit epitoplari ile biyofonksiyonelleştirilebilir. Burada, KLD (KLDLKLDLKLDL) KYP, KLD-HM (KLDLKLDLKLDL-EGDK) KYP hidrojeli üretmek için kısa bir biyoaktif motif olan EGDK ile işlevselleştirildi ve kendiliğinden yapılandırıldı. Mevcut çalışmada amaç, geliştirilen KLD-HM KYP hidrojellerinin insan mezenkimal kök hücrelerinin (iMKH'ler) canlılığı ve proliferasyonu üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. KYP'lerin stabilitesini sağlamak için, üretilen KYP hidrojellerin reolojik özellikleri ve bozunma süresi değerlendirildi. iMKH'lerin KYP hidrojelleri içerisine enkapsüle edilmesinden sonra, MTT ve Canlı/Ölü boyama tahlilleri yapıldı. Bu biyomimetik peptit hidrojel iskelelerinin, enkapsüle edilmiş iMKH'ler için uygun bir mikro ortam sağladığını ve geliştirilen KYP hidrojellerinin iMKH'lerin yapışmasını, canlılığını ve çoğalmasını desteklediğini gösterdik. Sonuçlar, üretilen biyoaktif SAP hidrojel iskelelerinin kırık dokusunun yenilenmesini teşvik etmek için yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kırık doku mühendisliği, Heparin-mimetic, Mezenkimal kök hücreler, Peptit, Kendiliğinden yapılanan peptit hidrojel.

Enhanced Proliferation of Human Mesenchymal Stem Cells by Self-Assembled Peptide Hydrogel Modified with Heparin Mimetic Peptide

Abstract

The development of three-dimensional (3D) microenvironments that imitate the role of natural extracellular matrix (ECM) components is very crucial. Self-assembling peptide (SAP) hydrogels have been utilized as scaffolds for encapsulation, proliferation, 3D culture, and differentiation of cells and also for repairing defects in cartilage tissue. SAPs can be biofunctionalized with short peptide epitopes to form biomimetic scaffolds. Herein, KLD (KLDLKLDLKLDL) SAP was functionalized with a short bioactive motif, EGDK, to fabricate KLD-HM (KLDLKLDLKLDL-EGDK) SAP hydrogel and self-assembled. In the current study, the goal was to explore the effect of developed KLD-HM SAP hydrogels on the viability and proliferation of human mesenchymal stem cells (hMSCs). For ensuring the stability of SAPs, the degradation time and the rheological features of produced SAP hydrogels were assessed. After the hMSCs encapsulation in SAP hydrogels, MTT and Live/Dead staining assays were conducted. We showed that these biomimetic peptide hydrogel scaffolds provided a proper microenvironment for encapsulated hMSCs and the developed SAP hydrogels encouraged the adhesion, viability, and proliferation of hMSCs. The results suggest that produced bioactive SAP hydrogel scaffolds might be useful for encouraging the regeneration of cartilage tissue.

Keywords: Cartilage tissue engineering, Heparin-mimetic, Mesenchymal stem cells, Peptide, Self-assembled peptide hydrogel.

* Sorumlu Yazar: ozan.karaman@ikcu.edu.tr

1. Introduction

Cartilage tissue repair and regeneration is a significant and continuing challenge in regenerative medicine since cartilage is a hypocellular and mostly an avascular, aneural, and alymphatic type of tissue (Arslan, Üstün Yaylacı, Güler, & Tekinay, 2016; Lim, Sardinha, & Myers, 2014). This characteristic of cartilage restricts the ability of the tissue to self-repair. When the cartilage tissue is damaged, the limited spontaneous-repair ability of cartilage becomes inadequate and the regeneration could not take place effectively (Wei et al., 2021). The defects that occurred due to the restricted repairing may cause degenerative arthritis problems (Arslan, Üstün Yaylacı, et al., 2016). Osteoarthritis (OA) is a type of common degenerative disorder of joints, affecting mostly the articular cartilage and the incidence of OA is anticipated to consistently rise over the next decades increases depending on risk factors such as age, sports traumas, obesity, unhealthy diet, and heredity (Chung & Burdick, 2008). Moreover, OA affects both the articular cartilage and the adjacent tissues including the subchondral bone, tendons, ligaments, synovium, and meniscus. Therefore, there is a need for improved treatments to protect, regenerate, and function with full integrity of the cartilage. The current treatment techniques for cartilage regeneration are arthroscopic methods, drilling, microfracture, autologous chondrocyte implantation, mosaicplasty, the implantation of matrix-induced autologous chondrocyte, and osteochondral allograft transplantation (Chung & Burdick, 2008; Wei et al., 2021). Since the disadvantages of existing methods involve morbidity in the donor region, refusal of graft material, complex surgical processes, infection possibility, and the creation of temporary fibrocartilaginous tissue, these techniques might be considered inadequate for long-term tissue reparation, and novel and alternative approaches are required for being capable of successful healing of the cartilage defects (Vinatier & Guicheux, 2016). Tissue engineering provides an alternative treatment method to conventional treatments and offers excessive potential for the regeneration of damaged cartilage by producing biological tissue substitutes such as multifunctional scaffolds.

To imitate the unique structure of cartilage, the use of scaffolds that can ensure structural support, and tissue regeneration is required. Although natural materials are preferred due to the adequate biological features, low cost, and their resemblance to native cartilage extracellular matrix (ECM), their properties such as limited mechanical strength and rapid degradation make these materials disadvantageous (Lum & Elisseeff, 2003). However, synthetic polymer materials which are not bioactive as natural materials, can ensure some required scaffold features such as having tunable physical and chemical properties, producibility with distinct dimensions and forms, having less immunogenic reactions and toxic effects (Arslan, Üstün Yaylacı, et al., 2016; Lum & Elisseeff, 2003). Hydrogels with high water content, biodegradable and biocompatible 3D polymeric, and hydrophilic networks resemble natural tissues (Vedadghavami et al., 2017). The hydrogels as scaffolds in cartilage tissue engineering have attracted intense interest from researchers due to the similarity to the original cartilage ECM and their porous structure (M. Liu et al., 2017). Moreover, hydrogels also offer minimally invasive features due to the capability to fit into irregular-shaped damages (Vedadghavami et al., 2017; Yang, Zhang, Yue, & Khademhosseini, 2017). Self-assembling peptides (SAPs) are biomaterials that might be

turned into hydrogels by self-assembling which is a process that provides disordered constituents or molecules spontaneously organize into more regular via certain interplays between them without a need for an outside action (Dikecoglu et al., 2018; Nune, Kumaraswamy, Maheswari Krishnan, & Sethuraman, 2013). Furthermore, synthetic SAP hydrogels have been utilized as the injectable form of biomaterials to repair tissues and modified with bioactive factors or components which can support cell-matrix interplays (Chung & Burdick, 2008). Kisiday *et al.* encapsulated chondrocytes into designed KLD-12 peptide (AcN-KLDDLKLDL-KDL-CNH₂, K: Lysine, L: Leucine, D: Aspartic acid) and obtained a 3D hydrogel scaffold structure where chondrocytes retain their morphology. Moreover, cartilage-similar ECM that is rich in proteoglycans and collagen type II content was observed in KLD-12 hydrogels (Kisiday et al., 2002). In another work, KLD-12 hydrogel may work like an injectable scaffold for the field of tissue engineering of the intervertebral disc (Sun & Zheng, 2009). Moreover, Sun *et al.* evaluated the biocompatibility of KLD-12 within animals for tissue engineering of intervertebral discs and reported that KLD-12 hydrogel structure possessed a good biocompatibility feature to the host rabbit and MSCs (Sun et al., 2010). The lack of biological cues on SAPs gives rise to the need for further modification. To functionalize the KLD-12 hydrogels, the incorporation of functional peptide sequences in KLD-12 SAP might be a promising approach for directing and enhancing cellular viability, activity, and functions (Lu & Wang, 2018; Pérez et al., 2015). In recent work, Onak *et al.* modified KLD-12 peptide with functional glutamic acid peptides (EEGGC and EEEEE) for producing KLD-EEGGC and KLD-EEEE and reported that produced bioactive SAP scaffold induced the human mesenchymal stem cells (hMSCs) osteogenic differentiation (Onak, Gökmen, Yaralı, & Karaman, 2020). Furthermore, Li *et al.* mixed HAVDI which is the N-cadherin-derived peptide, and SAP KLD-12 and stated that the self-assembled hydrogel construct that was functionalized by N-cadherin mimetic peptide increased chondrogenesis of the hMSCs (Li et al., 2017).

In the ECM of articular cartilage, proteoglycans are described as the hydrophilic protein molecules which possess one or more chains of glycosaminoglycan (GAG) molecules covalently linked to the protein core (Carballo, Nakagawa, Sekiya, & Rodeo, 2017). GAGs are significant elements found in ECM of natural cartilage, these molecules supply biological cues to the chondrocytes and stem cells for cartilage tissue's growth and effective regeneration (Yaylacı et al., 2016). Sulfated GAG molecules, involving heparin and heparan sulfate, stimulate the growth factors binding and also ease the growth factor-mediated signaling (Kocabey, Ceylan, Tekinay, & Guler, 2013). Mammadov *et al.* explored the interplays among heparin-mimetic peptide (EGDK) nanofibers and growth factors and reported that heparin mimetic peptide nanofibers show better binding profiles to vascular endothelial growth factor (VEGF), hepatocyte growth factor (HGF), and fibroblast growth factor-2 (FGF-2) than the control group fibers (Mammadov, Mammadov, Guler, & Tekinay, 2012). Herein, heparin-mimetic SAP hydrogels which are able to imitate natural cartilage tissue were developed and the influence of designed hydrogels on the viability of hMSCs was evaluated. To the best of our knowledge, heparin-mimetic peptide-functionalized KLD SAP sequences have not been reported. In this study, first, KLD was modified by heparin-mimetic peptide (EGDK) for obtaining KLD-EGDK peptide and self-assembled for achieving peptide hydrogel

formation. The rheological features and biodegradation analysis of fabricated SAP hydrogels were determined. After the encapsulation of human bone marrow mesenchymal stem cells (hMSCs) in SAP hydrogels, the impact of developed hydrogels on encapsulated cells was observed and evaluated by the MTT test and Live and Dead assay. The results demonstrate that heparin-mimetic SAP hydrogel promotes adhesion, viability, and proliferation of hMSCs, and these biomimetic SAP hydrogels ensured a proper microenvironment for encapsulated hMSCs.

2. Material and Method

2.1. Peptide Synthesis

Peptide synthesis was performed by the chemical agents provided from AAPPTEC (Louisville, KY, USA) by using a peptide synthesizer (AAPPTEC Focus Xi, Louisville, KY, USA). 4-methylbenzhydrylamine (MBHA) resin with a loading capacity of 0.62 mmol/g was used for the synthesis of KLD (Ac-Lys-Leu-Asp-Leu-Lys-Leu-Asp-Leu-Lys-Leu-Asp-Leu-NH₂) and KLD-EGDK (Ac-Lys-Leu-Asp-Leu-Lys-Leu-Asp-Leu-Lys-Leu-Asp-Leu-Glu-Gly-Asp-Lys-NH₂) peptides via 9-fluorenylmethoxycarbonyl (Fmoc) chemistry method (Onak et al., 2018). First, the resin was mixed with N, N-dimethylformamide (DMF) for 30 minutes for swelling the resin and then rinsed with DMF. Fmoc-protected amino acids (2 equivalents), hydroxybenzotriazole (HOBt; 2 equivalents), N, N-diisopropylethylamine (DIEA; 4 equivalents), and O-benzotriazole-N, N, N, N'-tetramethyluronium-hexafluorophosphate (HBTU; 2 equivalents) inside DMF were used for amino acids coupling for 3 hours. Then, 20% 4-methylpiperidine in the DMF solution was used for removing the Fmoc-protecting group for a period of 30 minutes. Ninhydrin test was applied to monitor the reactions and to test for the presence of unreacted amines at each stage. Whenever coupling of all the amino acids to the intended peptide sequence was performed, for separating the peptide from resin, trifluoroacetic acid (TFA): H₂O: triisopropylsilane (TIPS) (95:2.5:2.5) was used. Then TFA was evaporated, and the peptides were rinsed with ice-cold diethyl ether. Next, we centrifuged the suspension for discarding the supernatant part. In the last step, the freeze-drying method was used for the lyophilization process of the resulting peptides (Biobase Biodustry Bk-FD10P, Shandong, China).

2.2. Self-Assembled Peptide Hydrogel Fabrication and Characterization

For producing SAP hydrogels, 2% w/v of the KLD and KLD-EGDK (hereafter denoted by KLD-HM where HM means heparin-mimetic) peptides were mixed with deionized water. The peptide solutions were self-assembled by mixing with 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid (HEPES; 25-mM) including Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) with manufacturer's instructions as it was beforehand explained in a study (Onak & Karaman, 2019). In brief, after removing the cell medium from hydrogels, 10% MTT dye in the culture medium was transferred to hMSCs, and hydrogel structures were incubated during 4 hours at 37°C and 5% CO₂. It is important to note that all MTT procedures were performed in the dark. Later on, the medium was taken from hydrogels and then for dissolving the formed formazan crystals, dimethyl sulfoxide was given. After 10-15 minutes incubation period, a microplate

no fetal bovine serum (FBS). After the solution was filtered with a syringe filter with 0.2 µm pore size, the solution was placed inside the incubator for the process of self-assembly.

2.2.1. Rheology Analysis

To observe the mechanical features of produced hydrogels, rheology analysis was carried out. Samples having disk shapes were separated from the gel by utilizing a 20-mm cork borer tool and then prepared hydrogels were placed onto discovery hybrid rheometer-2 (HR2, TA Instruments, New Castle, DE). Then the storage (G') and loss moduli (G'') values of samples were observed and noted with some certain parameters including shear strain (1%), the distance (0.5 cm), and angular frequency (0.1-10 rad/s), as beforehand defined (Barati, Moeinzadeh, Karaman, & Jabbari, 2014).

2.2.2. In vitro Degradation Analysis

In vitro biodegradation analysis of peptide hydrogels was carried out within simulated body fluid (SBF) at 37°C till the specimens were fully degraded. Preparation of the SBF was done via dissolving NaCl (136.8 mM), K₂HPO₄ (1.0 mM), MgCl₂.6H₂O (1.5 mM), NaHCO₃ (4.2 mM), KCl (3.0 mM), CaCl₂ (2.5 mM), and NaSO₄ (0.5 mM) chemicals inside the deionized water (Kokubo & Takadama, 2006). After the preparation of SBF, NaHCO₃ (60 mM) was incorporated till the pH 7.4. Then, hydrogel structures with disc shape were continually shaken within an orbital shaker device at 110 rpm inside SBF with 12 mm diameter. After that, hydrogel structures were lyophilized and weighed at specific periods, then losses in their mass were carefully obtained (Barati et al., 2014).

2.3. Cell Culture and Encapsulation in Peptide Hydrogels

hMSCs (HMSC-AD-500, CLS cell lines Service, Lot#102, Eppelheim, Germany) were cultivated in the basal medium (DMEM containing 250 ng/mL fungizone, 10% FBS, 100 µg/mL streptomycin, 50 µg/mL gentamicin, and 100 units/mL penicillin). The medium was changed with fresh medium regularly. Whenever cells reached 80-90% confluency, cells were passaged by utilizing the solution of 0.25% trypsin/EDTA, then hMSCs were taken into a novel flask containing fresh culture media (K. Karaman, Kumar, He, & Jabbari, 2012; O. Karaman et al., 2016; Sendemir-Urkmmez & Jamison, 2007). For the experiments, passage 3 cells were utilized for cultivation. Then, hMSCs suspension was encapsulated within hydrogels (5 × 10⁶ cells/mL) in basal medium. They were placed into the incubator and incubated at 37 °C, 5% CO₂, and cultured.

2.4. Cell Proliferation Assay

3-(4, 5-dimethylthiazol-2-yl)-2, 5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) (Vybrant® MTT Cell Proliferation Assay, Invitrogen, USA) assay was carried out at 1, 4 and 7 days of cultivation, for assessing cell proliferation analysis, based on the reader (Biotek Synergy HTX, Winooski, VT, USA) was used to measure the absorbance values at 570 nm and values were recorded.

2.5. Live and Dead Assay

For observing cell viability of hMSCs, Live and Dead staining assay was assessed at 7. day. Evaluation of cell viability was done via utilizing the Viability/Cytotoxicity Assay Kit for Animal Live and Dead Cells (Biotium, Inc. Hayward, MN,

USA) with respect to instructions of the manufacturer. Briefly, first, the culture medium was removed from hMSC encapsulated hydrogels. PBS was used to wash hMSCs for two times. Then, the viability/cytotoxicity assay solution, including 5 μ L Calcein acetoxymethyl ester (Calcein AM; 4 mM) and 20 μ L Ethidium homodimer III (EthD-III; 2 mM) in 10 mL PBS, was added to hMSCs. Then they were incubated in the incubator during 20-30 minutes at room temperature. Following the incubation, to create fluorescent images of stained cells, well-plate was placed on a fluorescence microscope (Olympus CKX41, Tokyo, Japan). Lastly, live cells (green) and dead cells (red) were stained by Calcein AM and EthD-III, respectively were imaged by the microscope, and images were recorded.

2.6. Statistical Analysis

We conducted our experiments with at least three repetitions. All the obtained data were statistically analyzed with two-way analysis of variance (ANOVA) (SPSS 12.0, SPSS GmbH, Germany) and the Student-Newman-Keuls method as a post hoc test. Significant differences among groups were defined at p values at least less than .05. (*p < .05, **p < .01, ***p < .001).

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of Self-Assembled Peptide Hydrogels

The peptide of KLD and KLD-HM were synthesized and KLD and KLD-HM SAP hydrogel groups were produced successfully. Here, the addition of heparin-mimetic peptide at the N-terminus of the KLD peptide did not influence the solubility of SAP in water. Also, the addition of heparin-mimetic epitope to KLD peptide did not influence the process of self-assembly. Hydrogels were characterized based on the rheology and degradation properties. Assessment of rheology measurements was done for comparing the macroscopic features of SAP hydrogels (Figure 1). KLD and KLD-HM SAP hydrogels had similar rheological properties. The maximum storage modulus was found under 1,000 Pa for both groups. It is seen that G' and G'' as a function of frequency have stayed relatively constant. The storage modulus (G') of KLD hydrogel was found among 400 and 500 Pa, loss modulus (G'') was found between 60 and 80 Pa, and the storage modulus (G') in KLD-HM hydrogel was observed among 400 and 600 Pa, the loss modulus (G'') was observed among 40 and 85 Pa. KLD and KLD-HM hydrogels have nearly the same storage and loss modulus values with each other, and there is no significant difference.

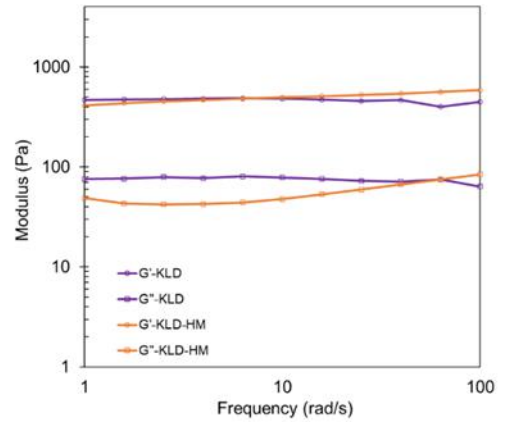


Figure 1. Rheology analysis of KLD, and KLD-HM peptide hydrogels. G' represent storage modulus and G'' represent loss modulus.

Şekil 1. KLD ve KLD-HM peptid hidrojellerinin reoloji analizi. G' depolama modülünü ve G'' kayıp modülünü temsil eder.

Every 7 days, we calculated the biodegradation analysis of SAP hydrogels (Figure 2). The fully degradation time was found as similar in KLD and KLD-HM hydrogels. Complete degradation of KLD and KLD-HM peptide hydrogels occurred after 63 and 56 days, respectively. There was no statistically significant difference in the degradation time of KLD and KLD-HM hydrogels. During tissue regeneration, for ensuring SAP hydrogel stability, SAP hydrogels' degradation rate, which is defined by the environmental circumstances, should take place in a similar period (Koch et al., 2018). Hydrogels as biomaterials might be utilized in the form of injectable scaffolds and with this form, they can fill any size and shape of defects, and also their implantation might become in minimally invasive way (Chung & Burdick, 2008). For developing a biodegradable hydrogel, Parmar *et al.* combined a Streptococcal collagen-like 2 proteins with hyaluronic acid (HA) or chondroitin sulfate (CS)-binding peptides and after that cross-linked with a matrix metalloproteinase 7 (MMP7)-sensitive peptide and after hMSCs encapsulation, hydrogels showed enhanced viability and remarkably increased chondrogenic differentiation as compared with control which has not modified by GAG-binding peptides (Parmar et al., 2015). Liu *et al.* utilized a collagen mimetic peptide (CMP) with the sequence of GFOGER and modified poly (ethylene glycol) (PEG) hydrogel by GFOGER for using like a scaffold and reported that PEG-CMP hydrogels ensured the native environment that supports hMSCs chondrogenesis and also increases the cartilage-specific ECM secretion when compared with unmodified PEG hydrogels (S. Q. Liu et al., 2010). Moreover, Wu *et al.* intended to explore the implementation of hyaluronan (HA) microenvironment for human adipose-derived stem cells (hADSCs)-based regeneration of articular cartilage tissue. They produced the HA-enriched fibrin hydrogels and reported that the HA microenvironment increases the hADSC-mediated cartilage regeneration within chondral defects (Wu et al., 2018).

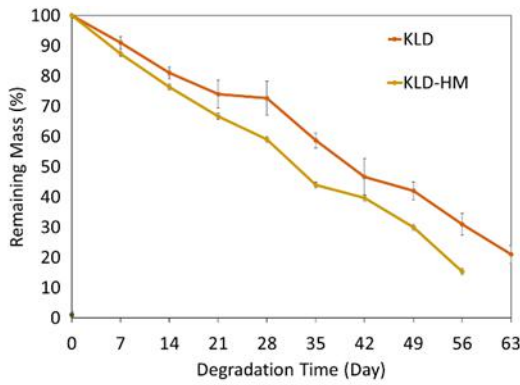


Figure 2. Biodegradation of KLD, and KLD-HM hydrogels. Error bars represent mean \pm SE (n = 3).

Şekil 2. KLD ve KLD-HM hidrojjellerinin biyobozunumu. Hata çubukları ortalama \pm SE'yi temsil eder (n = 3).

3.2. Cell Proliferation of hMSCs in SAP Hydrogels

In current work, it was aimed to assess the influence of heparin-mimetic SAP hydrogel on the viability and proliferation of encapsulated hMSCs. Cell proliferation analysis of hMSCs encapsulated within SAP hydrogels was done using the MTT test on 1, 4, and 7 days of their incubation (Figure 3). In Figure 3, the number of cells on the day of cell encapsulation into hydrogels was taken as 100% and cell viability was calculated as a percentage according to the absorbance values obtained. According to the results from the MTT assay, the cell number for both KLD and KLD-HM increased with incubation time, suggesting that cells encapsulated in peptide hydrogels were capable of maintaining their viability and proliferate. However, the cell number in KLD-HM hydrogel was remarkably greater than in KLD hydrogel at 1, 4, and 7. days. Moreover, these increased cell numbers in both of the hydrogel groups recommended that the SAP hydrogels did not show a toxic impact on hMSCs. These findings emphasized the importance of adding peptides onto SAP hydrogels. Herein, the impact of heparin-mimetic peptide on cell proliferation was assessed with the MTT test and our findings revealed that KLD-HM hydrogels facilitated the proliferation of encapsulated cells and hMSCs were capable of adhering to hydrogel surface and there was sufficient area for cell proliferation. Our results suggest that the presence of heparin-mimetic peptide in KLD hydrogel induces hMSCs proliferation. Molecular self-assembly has become a novel area to develop scaffolds for use in the tissue engineering field because of its ability to imitate the native ECM both structurally and functionally (Nune et al., 2013; Webber, Kessler, & Stupp, 2010). Biomimetic SAPs are important components as building blocks to produce hydrogel scaffolds having 3D network constructions, that might imitate the original ECM (Lu & Wang, 2018). To produce biomimetic scaffolds, SAP hydrogels can be functionalized utilizing bioactive components to provide biological cues for cells, and in that way allow guiding and controlling the cellular behaviors. For such a modification, short peptide epitopes can be used to ensure biofunctionality to SAP scaffolds. In a recent study, KLD SAP was functionalized with bioactive peptide motifs for the regeneration of bone tissue (Onak et al., 2020). Also in another recent study, KLD SAP was modified with laminin-derived peptides for investigating vasculogenesis (Onak Pulat, Gökmen, Çevik, & Karaman, 2021) Cimenci *et al.* used N-Cadherin mimetic peptide (HAV-PA) and self-assembling E-PA [Lauryl-VVAGE] together and produced N-cadherin mimetic peptide

nanofibers supported the MSCs chondrogenic differentiation with chondrogenic factors, like a synthetic ECM platform (Eren Cimenci, Kurtulus, Caliskan, Guler, & Tekinay, 2019).

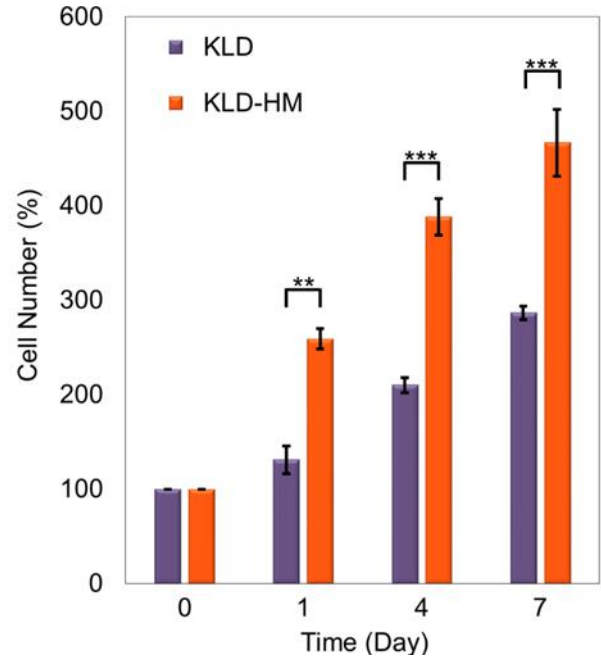


Figure 3. Cell number analysis of hMSCs found in KLD, and KLD-HM hydrogels and incubated in basal medium for 7 days.

Şekil 3. KLD ve KLD-HM hidrojjellerinde bulunan ve bazal ortamda 7 gün inkübe edilmiş iMKH'lerin hücre sayısı analizi.

3.3. Live and Dead Staining

Live and Dead assay was done for evaluating hMSCs viability in KLD and KLD-HM hydrogels. Fluorescent microscopy images that were obtained from Live and Dead staining analysis are shown in Figure 4. In these images, live cells are shown with green color and dead cells are shown with red color. These images demonstrated that in both KLD and KLD-HM hydrogels, there were both live and dead hMSCs. However, the intensity of green color was greater for KLD-HM hydrogels compared with that of KLD peptide hydrogels, indicating that KLD-HM hydrogels have a greater number of viable cells and cell viability was superior. Moreover, these results show that our results from cell viability analysis are in line with MTT assay results. Herein, we incorporated a heparin-mimetic peptide epitope to KLD SAP to mimic the native ECM. When their crucial role in tissue remodeling is taken into account, incorporating the GAG-mimetic elements within the 3D platform is a positive approach for osteogenic and chondrogenic differentiation of stem cells (Arslan, Guler, & Tekinay, 2016). Similar to integral constituents of proteoglycan molecules, GAG molecules regulate cell behaviors, like differentiation, adhesion, proliferation, and migration of cells by interplaying with various GAG-binding proteins within ECM structure and also mediating the cell signaling pathways (Jackson, Busch, & Cardin, 1991; Wang et al., 2017). Also GAGs molecular chains include a lot of carboxyl and sulfate groups, therefore negatively charged macromolecules that interplay with proteins via electrostatic forces are formed (Jackson et al., 1991; Wang et al., 2017). Yaylaci *et al.* utilized peptide amphiphile nanofibers to imitate the role of heparan sulfate GAGs found in ECM via adding functional units of heparan sulfate such as hydroxyl, carboxylate, sulfonate groups, to the peptide system for

triggering MSCs chondrogenic differentiation. They reported that MSCs found on GAG-mimetic nanofiber system created cartilage-similar nodules and stored cartilage-specific matrix elements by day 7 (Yaylaci et al., 2016).

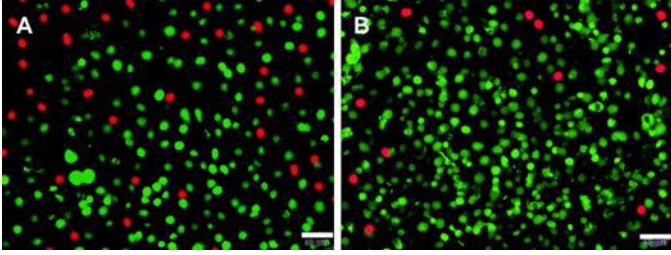


Figure 4. Viability analysis of cells encapsulated in KLD (A), and KLD-HM (B) hydrogels at day 7. Live cells and dead cells are stained with Calcein-AM (green), EthD-III (red), respectively (scale bar represents 50 µm).

Şekil 4. 7. günde KLD (A) ve KLD-HM (B) hidrojellerinde enkapsüle edilmiş hücrelerin canlılık analizi. Canlı hücreler ve ölü hücreler sırasıyla Calcein-AM (yeşil) ve EthD-III (kırmızı) ile boyanmıştır (ölçek çubuğu 50 µm 'yi temsil eder).

Sulfated GAGs like heparan sulfate are able to ease the growth factors immobilization and release with negatively charged sulfate and carboxylate groups of them (Yaylaci et al., 2016). Kocabey *et al.* demonstrated that GAG-mimetic peptide nanofibers having sulfonate and carboxylate groups ensure a proper environment for regeneration and mineralization of bone, and produced nanofibers interplay with bone morphogenetic protein-2 (BMP-2) enhancing the osteogenic cell viability, proliferation, and mineralization (Kocabey et al., 2013). Furthermore, heparin-mimetic peptides have been used to modify tissue engineering scaffolds, since heparin is considered as one of the major integral unit of the GAG molecule. Mammadov *et al.* developed a heparin-mimetic peptide amphiphile molecule that was modified by some biologically active groups to imitate activities of heparin. They reported that these molecules self-assemble for creating nanofibers with the capability for binding to growth factors and for supporting angiogenesis with no requirement for using exogenous heparin or growth factors (Mammadov et al., 2011). In another study, Uzunalli *et al.* carried out a study and demonstrated a heparin-mimetic peptide gel as efficient wound dressing material for functional and also fast repairment of rat full-thickness excisional wound models (Uzunalli et al., 2017). In our study, we used heparin-mimetic peptide (EGDK) for investigating the potential of a heparin-mimetic SAP hydrogel for cartilage regeneration. Based on the performed assays, produced hydrogels were biocompatible and functionalization of KLD with heparin-mimetic peptide promoted the proliferation and viability of hMSCs. Moreover, both MTT analysis and live and dead staining analysis findings revealed that KLD-HM SAP hydrogels provided a good interaction with encapsulated hMSCs. The reason for promising results for KLD-HM hydrogels might be attributed to the idea that these hydrogels presented a better biomimetic surface structure of cartilage tissue ECM, and hMSCs recognized the surface of developed hydrogels due to the presence of heparin-mimetic peptide. Encouraging cell viability and proliferation by the addition of bioactive peptide motifs to synthetic SAPs might be a promising strategy for developing functional scaffolds to be used for cartilage regeneration. Altogether, obtained results propose that heparin-mimetic peptide modified SAP hydrogel could be an

ideal biomaterial for cartilage regeneration since they were able to significantly induce cell proliferation and viability by a biomimetic approach. Also, this *in vitro* study reveals that designed KLD-HM hydrogel can be used to trigger cartilage differentiation in future studies and improved further for *in vivo* studies.

4. Conclusion

In summary, we were able to functionalize the KLD SAP with the incorporation of heparin-mimetic peptide epitope, and peptide hydrogel formation was achieved successfully. Heparin-mimetic SAP hydrogel showed improved adhesion, viability, and proliferation of hMSCs when compared against KLD SAP hydrogel. Furthermore, developed KLD-HM SAP hydrogels ensured a proper microenvironment for encapsulated hMSCs *in vitro*. Therefore, utilizing heparin-mimetic synthetic peptide hydrogels to produce a good microenvironment for hMSCs viability could be thought as a promising approach. The outcomes of the current study reveal that the designed heparin-mimetic SAP hydrogel might have promising potential for mimicking the cartilage tissue and for usage in cartilage tissue engineering applications in the future. Moreover, in the future, it is planned and suggested to carry out chondrogenic differentiation studies with the developed hydrogels. We believed that this study will make a crucial contribution for future cartilage regeneration studies and in the topic of functionalization of biomaterials for promoting the repair and regeneration of cartilage with stem cells.

5. Acknowledge

Authors acknowledge funding from TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) in the scope of 2209-A University Students Research Projects Support Program and TÜBİTAK 1002 Program (Project No:121S133).

References

- Arslan, E., Guler, M. O., & Tekinay, A. B. (2016). Glycosaminoglycan-mimetic signals direct the osteo/chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells in a three-dimensional peptide nanofiber extracellular matrix mimetic environment. *Biomacromolecules*, 17(4), 1280-1291.
- Arslan, E., Üstün Yaylaci, S., Güler, M. O., & Tekinay, A. B. (2016). Therapeutic nanomaterials for cartilage regeneration. In *Therapeutic nanomaterials* (pp. 59-85): Wiley Online Library.
- Barati, D., Moeinzadeh, S., Karaman, O., & Jabbari, E. (2014). Time dependence of material properties of polyethylene glycol hydrogels chain extended with short hydroxy acid segments. *Polymer (Guildf)*, 55(16), 3894-3904.
- Carballo, C. B., Nakagawa, Y., Sekiya, I., & Rodeo, S. A. (2017). Basic science of articular cartilage. *Clinics in sports medicine*, 36(3), 413-425.
- Chung, C., & Burdick, J. A. (2008). Engineering cartilage tissue. *Advanced drug delivery reviews*, 60(2), 243-262.
- Dikecoglu, F. B., Topal, A. E., Ozkan, A. D., Tekin, E. D., Tekinay, A. B., Guler, M. O., & Dana, A. (2018). Force and time-dependent self-assembly, disruption and recovery of supramolecular peptide amphiphile nanofibers. *Nanotechnology*, 29(28), 285701.

- Eren Cimenci, C., Kurtulus, G. U., Caliskan, O. S., Guler, M. O., & Tekinay, A. B. (2019). N-cadherin mimetic peptide nanofiber system induces chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *Bioconjugate chemistry*, 30(9), 2417-2426.
- Jackson, R. L., Busch, S. J., & Cardin, A. D. (1991). Glycosaminoglycans: molecular properties, protein interactions, and role in physiological processes. *Physiological reviews*, 71(2), 481-539.
- Karaman, K., Kumar, A., He, X., & Jabbari, E. (2012). *Glutamic acid grafted nanofibers as a biomimetic template for mineralization and osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells*. Paper presented at the Journal of tissue engineering and regenerative medicine.
- Karaman, O., Kumar, A., Moeinzadeh, S., He, X., Cui, T., & Jabbari, E. (2016). Effect of surface modification of nanofibres with glutamic acid peptide on calcium phosphate nucleation and osteogenic differentiation of marrow stromal cells. *Journal of tissue engineering and regenerative medicine*, 10(2), E132-E146.
- Kisiday, J., Jin, M., Kurz, B., Hung, H., Semino, C., Zhang, S., & Grodzinsky, A. (2002). Self-assembling peptide hydrogel fosters chondrocyte extracellular matrix production and cell division: implications for cartilage tissue repair. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(15), 9996-10001.
- Kocabay, S., Ceylan, H., Tekinay, A. B., & Guler, M. O. (2013). Glycosaminoglycan mimetic peptide nanofibers promote mineralization by osteogenic cells. *Acta biomaterialia*, 9(11), 9075-9085.
- Koch, F., Müller, M., König, F., Meyer, N., Gattlen, J., Piele, U., . . . Saxer, S. (2018). Mechanical characteristics of beta sheet-forming peptide hydrogels are dependent on peptide sequence, concentration and buffer composition. *Royal Society open science*, 5(3), 171562-171562. doi:10.1098/rsos.171562
- Kokubo, T., & Takadama, H. (2006). Leading Opinion. *How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity*, *Biomaterial*, 27, 2907-2915.
- Li, R., Xu, J., Wong, D. S. H., Li, J., Zhao, P., & Bian, L. (2017). Self-assembled N-cadherin mimetic peptide hydrogels promote the chondrogenesis of mesenchymal stem cells through inhibition of canonical Wnt/ β -catenin signaling. *Biomaterials*, 145, 33-43.
- Lim, E.-H., Sardinha, J. P., & Myers, S. (2014). Nanotechnology biomimetic cartilage regenerative scaffolds. *Archives of plastic surgery*, 41(3), 231.
- Liu, M., Zeng, X., Ma, C., Yi, H., Ali, Z., Mou, X., . . . He, N. (2017). Injectable hydrogels for cartilage and bone tissue engineering. *Bone research*, 5(1), 1-20.
- Liu, S. Q., Tian, Q., Hedrick, J. L., Hui, J. H. P., Ee, P. L. R., & Yang, Y. Y. (2010). Biomimetic hydrogels for chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells to neocartilage. *Biomaterials*, 31(28), 7298-7307.
- Lu, J., & Wang, X. (2018). Biomimetic self-assembling peptide hydrogels for tissue engineering applications. *Biomimetic Medical Materials*, 297-312.
- Lum, L., & Elisseeff, J. (2003). Injectable hydrogels for cartilage tissue engineering. *Topics in tissue engineering*, 1.
- Mammadov, R., Mammadov, B., Guler, M. O., & Tekinay, A. B. (2012). Growth factor binding on heparin mimetic peptide nanofibers. *Biomacromolecules*, 13(10), 3311-3319.
- Mammadov, R., Mammadov, B., Toksoz, S., Aydin, B., Yagci, R., Tekinay, A. B., & Guler, M. O. (2011). Heparin mimetic peptide nanofibers promote angiogenesis. *Biomacromolecules*, 12(10), 3508-3519.
- Nune, M., Kumaraswamy, P., Maheswari Krishnan, U., & Sethuraman, S. (2013). Self-assembling peptide nanofibrous scaffolds for tissue engineering: novel approaches and strategies for effective functional regeneration. *Current Protein and Peptide Science*, 14(1), 70-84.
- Onak, G., Gökmen, O., Yaralı, Z. B., & Karaman, O. (2020). Enhanced osteogenesis of human mesenchymal stem cells by self-assembled peptide hydrogel functionalized with glutamic acid templated peptides. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 14(9), 1236-1249.
- Onak, G., & Karaman, O. (2019). Accelerated mineralization on nanofibers via non-thermal atmospheric plasma assisted glutamic acid templated peptide conjugation. *Regenerative biomaterials*, 6(4), 231-240.
- Onak, G., Şen, M., Horzum, N., Ercan, U. K., Yaralı, Z. B., Garipcan, B., & Karaman, O. (2018). Aspartic and glutamic acid templated peptides conjugation on plasma modified nanofibers for osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells: a comparative study. *Scientific reports*, 8(1), 1-15.
- Onak Pulat, G., Gökmen, O., Çevik, Z. B. Y., & Karaman, O. (2021). Role of functionalized self-assembled peptide hydrogels in in vitro vasculogenesis. *Soft Matter*, 17(27), 6616-6626. doi:10.1039/d1sm00680k
- Parmar, P. A., Chow, L. W., St-Pierre, J.-P., Horejs, C.-M., Peng, Y. Y., Werkmeister, J. A., . . . Stevens, M. M. (2015). Collagen-mimetic peptide-modifiable hydrogels for articular cartilage regeneration. *Biomaterials*, 54, 213-225.
- Pérez, C. M. R., Stephanopoulos, N., Sur, S., Lee, S. S., Newcomb, C., & Stupp, S. I. (2015). The powerful functions of peptide-based bioactive matrices for regenerative medicine. *Annals of biomedical engineering*, 43(3), 501-514.
- Sendemir-Urkmez, A., & Jamison, R. D. (2007). The addition of biphasic calcium phosphate to porous chitosan scaffolds enhances bone tissue development in vitro. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 81(3), 624-633.
- Sun, J., & Zheng, Q. (2009). Experimental study on self-assembly of KLD-12 peptide hydrogel and 3-D culture of MSC encapsulated within hydrogel in vitro. *Journal of Huazhong University of Science and Technology [Medical Sciences]*, 29(4), 512-516.
- Sun, J., Zheng, Q., Wu, Y., Liu, Y., Guo, X., & Wu, W. (2010). Biocompatibility of KLD-12 peptide hydrogel as a scaffold in tissue engineering of intervertebral discs in rabbits. *Journal of Huazhong University of Science and Technology [Medical Sciences]*, 30(2), 173-177.
- Uzunalli, G., Mammadov, R., Yesildal, F., Alhan, D., Ozturk, S., Ozgurtas, T., . . . Tekinay, A. B. (2017). Angiogenic heparin-mimetic peptide nanofiber gel improves regenerative healing of acute wounds. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 3(7), 1296-1303.
- Vedadghavami, A., Minooei, F., Mohammadi, M. H., Khetani, S., Kolahchi, A. R., Mashayekhan, S., & Sanati-Nezhad, A. (2017). Manufacturing of hydrogel biomaterials with controlled mechanical properties for tissue engineering applications. *Acta biomaterialia*, 62, 42-63.
- Vinater, C., & Guicheux, J. (2016). Cartilage tissue engineering: From biomaterials and stem cells to osteoarthritis treatments. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 59(3), 139-144.

- Wang, M., Liu, X., Lyu, Z., Gu, H., Li, D., & Chen, H. (2017). Glycosaminoglycans (GAGs) and GAG mimetics regulate the behavior of stem cell differentiation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 150, 175-182.
- Webber, M. J., Kessler, J., & Stupp, S. (2010). Emerging peptide nanomedicine to regenerate tissues and organs. *Journal of internal medicine*, 267(1), 71-88.
- Wei, W., Ma, Y., Yao, X., Zhou, W., Wang, X., Li, C., . . . Ouyang, H. (2021). Advanced hydrogels for the repair of cartilage defects and regeneration. *Bioactive Materials*, 6(4), 998-1011.
- Wu, S.-C., Huang, P.-Y., Chen, C.-H., Teong, B., Chen, J.-W., Wu, C.-W., . . . Ho, M.-L. (2018). Hyaluronan microenvironment enhances cartilage regeneration of human adipose-derived stem cells in a chondral defect model. *International journal of biological macromolecules*, 119, 726-740.
- Yang, J., Zhang, Y. S., Yue, K., & Khademhosseini, A. (2017). Cell-laden hydrogels for osteochondral and cartilage tissue engineering. *Acta biomaterialia*, 57, 1-25.
- Yaylaci, S. U., Sen, M., Bulut, O., Arslan, E., Guler, M. O., & Tekinay, A. B. (2016). Chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells on glycosaminoglycan-mimetic peptide nanofibers. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 2(5), 871-878.



Tekirdağ İli Çorlu İlçesinde Toplu Taşıma Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Üzerine Bir Araştırma

Erdal Kılıç^{1*}, Eray Önler²

^{1*}Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek. Yüksekokulu, Tarım Makinaları Bölümü, Tekirdağ, Süleymanpaşa, (ORCID: 0000-0001-8212-5533), ekilic@nku.edu.tr

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Süleymanpaşa (ORCID: 0000-0001-7700-3472), erayonler@nku.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 18 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1109748)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, E., Önler, E. (2022). Tekirdağ İli Çorlu İlçesinde Toplu Taşıma Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 67-72.

Öz

Şehir içi ve şehirlerarası ulaşımda yolcu ve yük taşıma faaliyetlerinde içten yanmalı çoğunlukla da motorinin yakıt olarak kullanıldığı, dizel motorlu taşıtlar kullanılması sonucunda karbon ayak izi oluşmaktadır. Karayolu yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan termik motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın cinsine ve tüketim miktarına bağlı olarak atmosfere atılan karbondioksit gazı, sera etkisinin oluşumuna neden olan gazlardan bir tanesidir. Hava kirliliğine neden olan egzoz gaz emisyonlarının en önemli kaynaklarından biri termik motorlu taşıtlardır. Fosil yakıtların kullanımı sonucunda giderek artan kentsel hava kirliliğinin günlük hayatımızın bir parçası olan toplu taşıma araçlarından salınan CO² emisyonları ile yakından ilgisi vardır. Hava kirliliği ve iklim değişikliğiyle mücadelede toplu taşımadan kaynaklanan emisyonlarının düşürülmesi bu nedenle önem kazanmaktadır. Tekirdağ, Çorlu şehir içi ulaşımda 7 numaralı hatta kullanılan toplu taşıma aracının 2020 yılı şubat ayına ait yakıt tüketim ve yolcu taşıma verileri toplanmıştır. Bu hattın 55 durağı bulunmaktadır. Toplanan bu veriler kullanılarak toplu taşıma aracına ait karbon ayak izi Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli IPCC (Intergovernmental Panel on ClimateChange) Metodolojisi Tier-1 yaklaşımı ile hesaplanmıştır. 2020 yılı şubat ayına ait toplam yakıt tüketimi 3189,28 litre olup Tier-1 yöntemi ile yapılan hesaplamada 0,0082 Gg CO² emisyonu hesaplanmıştır. Bu da 8,2 ton CO² emisyonuna eşittir. Taşınan her bir yolcu başına 0,276 kilogram CO² karbondioksit emisyonu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbon ayak izi, İçten yanmalı motorlar, Küresel ısınma, CO² Emisyonu

A Study on the Calculation of the Carbon Footprint of Public Transport in Corlu District of Tekirdag Province

Abstract

Carbon footprint is formed as a result of the use of internal combustion, mostly diesel engine vehicles, in passenger and freight transport activities in urban and intercity transportation. Depending on the type of fuel used in road passenger and freight transport vehicles and the amount of consumption, carbon dioxide gas is emitted into the atmosphere. This gas is one of the gases that cause the formation of the green house effect. One of the most important sources of exhaust gas emissions causing air pollution is internal combustion engine vehicles. Increasing urban air pollution as a result of the use of fossil fuels is closely related to the CO₂ emissions released from public transportation vehicles, which are a part of our daily life. For this reason, reducing gas emissions from public transport gains importance in the fight against air pollution and climate change. This study was conducted to measure the CO₂ emissions released from a selected public transport vehicle as an example. Fuel consumption and passenger transportation data for February 2020 of the public transportation vehicle used on line 7 in Tekirdağ, Çorlu urban transportation were collected. This line has 55 stops. Using this collected data, the carbon footprint of the public transportation vehicle was calculated with the Tier-1 approach of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Methodology. Total fuel consumption for February 2020 is 3189.28 liters,

* Sorumlu Yazar: ekilic@nku.edu.tr

and 0.0082 Gg of CO₂ emissions have been calculated in the calculation made with the Tier-1 method. This is equal to 8.2 tons of CO₂ emissions. It has been determined that 0.276 kilograms of CO₂ carbondioxide emissions per passenger carried.

Keywords: Carbonfootprint, Internal combustion engines, Global warming, CO₂ emissions

1. Giriş

Endüstrileşen dünyada kontrolsüz olarak artan CO₂ emisyonları sera etkisi yaratarak başta küresel ısınma olmak üzere birçok probleme neden olmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle ortaya çıkan küresel iklim değişiklikleri tüm dünyayı etkilemektedir. Bu tehlikeye karşı tüm dünyanın duyarlı kalması beklenemez. Yenilenebilir enerji teknolojisinin kullanımını artırıp, fosil yakıtların kullanımını azaltarak hava kirliliğinin hafifletilmesi sağlanıp, iklim değişikliğinin insanlar üzerindeki olumsuz etkileri iyileştirilebilir (Haines vd. 2006). Türkiye 1990 – 2012 yılları arasında karbondioksit seviyesindeki artışlar nedeniyle Kyoto protokolü hedeflerinden uzaklaştığını, bu dönemdeki yakıt tüketiminin artışından dolayı karbondioksit emisyonlarının %100 arttığı görülmüştür (Işık ve Kılıç, 2014).

Türkiye’de 10. Kalkınma Planında ulaşımda karayolunun büyük payı olduğu, bu durumun çevresel sorunlara yol açtığı, ulaştırma sektörü bazlı sera gazlarının enerji sektöründeki payının %22, ulusal emisyondaki payının ise %15 olduğu vurgulanmaktadır. Ulaşımındaki yakıt tüketimini etkileyen uygulamaların sera gazı emisyonu miktarına ve küresel iklim değişikliğine etkisi olmaktadır. Son yıllarda ulaşım sektörü dikkate alındığında, sera gazı salınımlarının ciddi bir artış gösterdiği, bu artışta karayolu ulaşımının büyük bir paya sahip olduğu aktarılmaktadır (Algedik vd., 2016)

Toplu taşımada kullanılan taşıtlar dünyada CO₂ emisyonlarının artmasına neden olan hava kirliliğinin kaynaklarından biridir. Türkiye’de CO₂ emisyonunun küresel ısınmadaki paylarını incelediğimizde enerji sektöründe %41, sanayi sektöründe %31, ulaştırma sektöründe %17 ve konutlarda %11 olarak dağılmaktadır. Fosil yakıtların kullanımının artması sonucu oluşan sera gazları dünyamızı tehdit etmektedir (Diler, 2006). Diğer sera gazları ile karbondioksit emisyonu karşılaştırıldığında karbondioksit gazının iklim değişikliği üzerine etkisi %50 ile en fazla paya sahiptir (Kovancılar, 2001). Toplumun tüm kesimlerinin, küresel iklim değişikliği ile mücadelede başarılı olunabilmesi için bilinçle hareket etmesi çok önemlidir. Akdeniz Havzası, Küresel iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerden biridir. Türkiye’nin sera gazı emisyonlarının yükselme eğiliminden dolayı yaşanacak çevre sorunlarına karşı önlemlerin çok hızlı olarak alınması çok önemlidir (Binboğa ve Ünal, 2018).

Küresel ısınmada önemli etkisi olan fosil yakıtların kullanıldığı termik motorların toplu taşımada kullanımı sonucunda, ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının içinde, en büyük paya sahip olan CO₂ üzerinde özellikle durularak, ulaşımda kullanılan taşıtların karbon salınımlarının belirlenmesi ve karbon ayak izlerinin hesaplanması gereklidir. Karbon ayak izi, birim karbondioksit cinsinden ölçülen,

üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsüdür.

Karbon ayak izi, insanların barınma ve ulaşımda kullanılan enerjinin elde edilmesinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının ölçüsü olan birincil karbon ayak izi ve insanların yaşamı boyunca hayatına giren her bir unsurun yaşam döngüsü boyunca sebep olduğu emisyonun dolaylı göstergesi olan ikincil karbon ayak izi olmak üzere iki farklı kategoride incelenmektedir (IPCC, 2006). İkincil karbon ayak izinin, birincil karbon ayak izini kapsadığını belirtebiliriz.

Dünya enerji tüketiminin bir bölümünü fosil yakıtların veya bunların sentetik türevlerinin yakılması sonucu elde etmektedir. Fosil kökenli yakıtların içten yanmalı termik motorlarda kullanılması ile oluşan egzoz gazları şehirlerde hava kirliliğinin önemli kaynağını oluşturmaktadır (Kelen, 2014). Karbondioksit emisyonlarının 2016 yılına kadar artış gösterdiği bilinmektedir. Bu artışta taşıt sayısı ve buna bağlı yakıt tüketiminin büyük payı bulunmaktadır (Bıyı ve Civelekoğlu, 2018)

Bu çalışmada Çorlu ilçesinde toplu taşımada kullanılan taşıtların karbon ayak izinin belirlenmesinden sonra toplu ulaşımdaki sera gazı azaltım hedeflerini ortaya koyarak, eylem planlarını hazırlaması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların ışığında CO₂ emisyonlarını azaltmak amacıyla eylem planlarında karar vericiler için yol gösterici olarak “Toplu taşıma kaynaklı, ne miktarda CO₂ emisyonu meydana gelmektedir, ne oranda iyileştirme yapılması gerekir? CO₂ emisyonlarını azaltmak için alternatif çözümler neler olabilir? ” sorularına cevap bulunabileceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma Alanı

Marmara Bölgesi’nin Trakya bölümünde yer alan Tekirdağ ilinin en büyük ilçesi olan Çorlu, idari yönden 26 mahalleden oluşmaktadır. Tekirdağ merkezine 38 km uzaklıkta olan Çorlu, Ergene havzasında ve Trakya’nın merkezî bir yerinde, plato yüzeyinin üzerindeki düzlükte yer alır. Yüzölçümü 409 km²’dir. Çorlu’nun denizden yüksekliği 193 m’dir. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi’ne göre TÜİK tarafından 2018 tarihi itibarıyla açıklanan verilere göre ilçenin toplam nüfusu 260.437’dir. Yapılan çalışmada verileri değerlendirilen Tekirdağ çorlu ilçesi 7 nolu hat güzergahı uydu görüntüsü Şekil 1’de sunulmuştur.

Şekil 1. Yapılan çalışmada verileri değerlendirilen Tekirdağ Çorlu ilçesi 7 nolu hat güzergahı uydu görüntüsü. (Figure 1. Satellite image of line route 7 in Çorlu district of Tekirdağ province.)



2.2. Ölçüm Yapılan Otobüs Hattı

Çalışma materyali olarak Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde yer alan 7 nolu 55 durağı olan toplu ulaşım hattında faaliyet gösteren, termik motorlu, dizel taşıt incelenmiştir. Taşıtların bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Taşıtların bilgileri (Table 1. Vehicle informations)

Motor	
AB egzoz gazı emisyon standardı	Euro VI
Azami güç [kW]	220
Silindir hacmi [cm ³]	7.700
Silindir sayısı/düzeni	6/Sıralı
Dakikada azami tork [Nm]	1200 (1600 dv/dk)
Yakıt tipi	Motorin
Taşıma kapasitesi	
Koltuk sayısı	26
Ayakta durma yeri	75
Toplam	101

2.3. TIER-1 Yöntemi

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) Metodolojisi Tier-1 hesaplama yöntemi kullanılarak karbondioksit emisyonlarının hesaplama işlem sırası aşağıdaki gibidir.

- Çalışmada Tekirdağ Otopark Ulaşım A.Ş. tarafından tutulan kayıtlardan taşıtların yakıt tüketimi belirlenmiştir.
- Yakıtların tüketim değerleri IPCC kılavuzunda verilen dönüşüm değerleri ile çarpılarak enerji içeriği hesaplanmıştır. Dönüşüm değerleri, 22.07.2014 tarih ve 29068 sayılı Resmi Gazetede Yayınlanarak yürürlüğe giren Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğde yer alan ve IPCC 2006 Kılavuzunda belirtilen değerlerdir. Bu değerler, Tablo 2'de verilmiştir.

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] 10⁻³ × Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg]

Tablo 2. Yakıt özellikleri (Table 2. Fuel specifications)

Yakıt Tipi	Yoğunluk (kg/l)	*Net Kalorifik değer (TJ/Gg)	**Karbon Emisyon Faktörleri (t C/TJ) (tonkarbon/terajoule)	***Oksitlenme Oranı
Motorin	0,820	43	20,2	0,99

* Kaynak: ÇŞB, 2014:40. , **Kaynak: TÜİK, 2013:16. , *** Kaynak: TÜİK, 2013:16.

- IPCC kılavuzunda belirlenen karbon emisyon faktörleri kullanılarak motorin içeriğindeki toplam karbon içeriği hesaplandı. Karbon emisyon faktörü ile ikinci işlem sırasında hesaplanan yakıt tüketimini motorinin enerji içeriği değeri ile çarpılarak, karbon içeriği miktarı bulunmuştur.

Karbon İçeriği [t C] = Karbon Emisyon Faktörü [t C/TJ] × Enerji Tüketimi [TJ]

Karbon İçeriği [Gg C] = Karbon İçeriği [t C] × 10⁻³

- Oksitlenmeyen karbon miktarı bulunarak, yanmaya katılan karbon miktarı hesaplandı (Motorin için yakıt oksitlenme yüzdesi IPCC'ye uygun olarak 0,99 alınmıştır.) Üçüncü işlem sırasında belirlenen karbon içeriği ile çarpılarak ne kadarlık karbonun oksitlendiği hesaplanmıştır.

Karbon Emisyonu (Gg C) = Karbon İçeriği (Gg C) × Karbon Oksitlenme Oranı

- CO₂'in molekül ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı olan 44/12 oranı ile dördüncü işlem sırasında elde edilen değer çarpılarak yakıtın yanması

sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu değeri hesaplanmıştır.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (GgCO}_2\text{)} = \text{Karbon Emisyonu (Gg C)} \times (44/12)$$

Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde yer alan 7 nolu hat üzerinde çalışan otobüse ait veriler Tekirdağ Otopark Ulaşım A.Ş.'den alınmıştır. IPCC Metodolojisi Tier 1 yaklaşımı doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Belirtilen yöntemle elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir. 2020 yılı şubat ayına ait toplam yakıt tüketimi 3189,28 litre olup 0,0082 Gg CO₂ emisyonu açığa çıkmaktadır. Bu da 8,2 ton CO₂ emisyonuna eşittir.

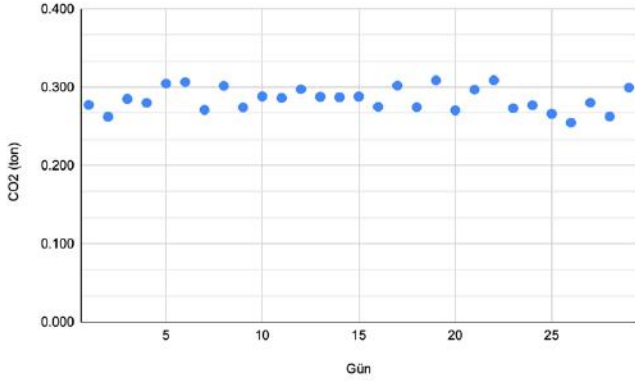
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 3. Tier 1 yöntemine göre Tekirdağ Çorlu ilçesinde 55 durağı bulunan 7 nolu hat üzerinde 2020 yılı şubat ayı şehir içi ulaşımında kullanılan bir toplu taşıma aracına ait CO₂ emisyonu hesabı sonuçları (Table 3. According to the Tier 1 method, CO₂ emission results of a public transportation vehicle used in urban transportation in February 2020 on line 7 with 55 stops in Tekirdağ Çorlu district)

Tüketilen yakıt Miktarı (lt)	¹ Tüketim Miktarı (Ton)	Tüketim Miktarı (Gg)	Net Kalori Değeri (TJ/Gg)	Enerji Tüketimi (TJ)	Karbon Emisyon Faktörü (t C/TJ)	Karbon İçeriği (t C)	Karbon İçeriği (Gg C)	Karbon Oksitlenme Oran	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu (Gg CO ₂)	ton CO ₂
107,26	0,0879532	0,000088	43	0,003782	20,2	0,076396	0,000076	0,99	0,000076	0,000277	0,277343
101,42	0,0831644	0,000083	43	0,003576	20,2	0,072237	0,000072	0,99	0,000072	0,000262	0,262243
110,21	0,0903722	0,000090	43	0,003886	20,2	0,078497	0,000078	0,99	0,000078	0,000285	0,284971
108,29	0,0887978	0,000089	43	0,003818	20,2	0,077130	0,000077	0,99	0,000076	0,000280	0,280007
117,83	0,0966206	0,000097	43	0,004155	20,2	0,083925	0,000084	0,99	0,000083	0,000305	0,304674
118,62	0,0972684	0,000097	43	0,004183	20,2	0,084487	0,000084	0,99	0,000084	0,000307	0,306717
104,8	0,085936	0,000086	43	0,003695	20,2	0,074644	0,000075	0,99	0,000074	0,000271	0,270982
116,66	0,0956612	0,000096	43	0,004113	20,2	0,083091	0,000083	0,99	0,000082	0,000302	0,301649
106	0,08692	0,000087	43	0,003738	20,2	0,075499	0,000075	0,99	0,000075	0,000274	0,274085
111,46	0,0913972	0,000091	43	0,003930	20,2	0,079388	0,000079	0,99	0,000079	0,000288	0,288203
110,71	0,0907822	0,000091	43	0,003904	20,2	0,078853	0,000079	0,99	0,000078	0,000286	0,286264
114,97	0,0942754	0,000094	43	0,004054	20,2	0,081888	0,000082	0,99	0,000081	0,000297	0,297279
111,28	0,0912496	0,000091	43	0,003924	20,2	0,079259	0,000079	0,99	0,000078	0,000288	0,287738
111,05	0,091061	0,000091	43	0,003916	20,2	0,079096	0,000079	0,99	0,000078	0,000287	0,287143
111,39	0,0913398	0,000091	43	0,003928	20,2	0,079338	0,000079	0,99	0,000079	0,000288	0,288022
106,3	0,087166	0,000087	43	0,003748	20,2	0,075712	0,000076	0,99	0,000075	0,000275	0,274861
116,8	0,095776	0,000096	43	0,004118	20,2	0,083191	0,000083	0,99	0,000082	0,000302	0,302011
106,1	0,087002	0,000087	43	0,003741	20,2	0,075570	0,000076	0,99	0,000075	0,000274	0,274344
119,43	0,0979326	0,000098	43	0,004211	20,2	0,085064	0,000085	0,99	0,000084	0,000309	0,308811
104,6	0,085772	0,000086	43	0,003688	20,2	0,074502	0,000075	0,99	0,000074	0,000270	0,270465
114,78	0,0941196	0,000094	43	0,004047	20,2	0,081752	0,000082	0,99	0,000081	0,000297	0,296788
119,5	0,09799	0,000098	43	0,004214	20,2	0,085114	0,000085	0,99	0,000084	0,000309	0,308992
105,61	0,0866002	0,000087	43	0,003724	20,2	0,075221	0,000075	0,99	0,000074	0,000273	0,273077
107,1	0,087822	0,000088	43	0,003776	20,2	0,076282	0,000076	0,99	0,000076	0,000277	0,276930
102,9	0,084378	0,000084	43	0,003628	20,2	0,073291	0,000073	0,99	0,000073	0,000266	0,266070
98,51	0,0807782	0,000081	43	0,003473	20,2	0,070164	0,000070	0,99	0,000069	0,000255	0,254718
108,36	0,0888552	0,000089	43	0,003821	20,2	0,077180	0,000077	0,99	0,000076	0,000280	0,280188
101,54	0,0832628	0,000083	43	0,003580	20,2	0,072322	0,000072	0,99	0,000072	0,000263	0,262553
115,8	0,094956	0,000095	43	0,004083	20,2	0,082479	0,000082	0,99	0,000082	0,000299	0,299425

¹Tüketilen yakıt miktarı yakıtın yoğunluğuyla çarpılarak ton cinsine çevrilmiştir.

Şekil 2. Veri toplanan taşıta ait günlük karbon ayak izi dağılımı (Figure 2. Daily carbon footprint distribution of the vehicle)



Şekil 2'de görüldüğü üzere örnek toplanan aya ait günlerdeki karbon ayak izi dağılımı bazı dalgalanmalar içermekle birlikte tekdüze bir yapı göstermektedir. Yapılan ANOVA testinde gün içinde taşınan yolcu sayısı ve taşıtın gün içinde yaptığı yol (km)'un CO₂ emisyonu üzerinde istatistiksel

açıdan $p < 0.05$ düzeyinde ($p = 0.49$) önemli bir fark yaratmadığı gözlenmiştir. Veriler incelendiğinde yapılan km ve yolcu sayılarına göre yakıt tüketiminde önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Taşıtın gün içerisinde yaptığı yol 2.31 km, taşınan yolcu sayısı 146 kişi standart sapma gösterirken, tüketilen yakıt miktarı sadece 5.87 lt standart sapma göstermektedir. Hangi değişkenin yakıt tüketiminde ve dolayısıyla karbondioksit emisyonunda daha etkili olduğunu derinlemesine araştırmak için anlık yolcu sayısı, ortalama hız vb. gibi kullanım özelliklerinin de takip edilerek incelenmesi gerekmektedir.

Araştırma yapılan hat üzerinde taşıtın günlük yolcu sayısının ortalama 1031,7 kişi olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Hafta sonları yolcu sayısı ortalamanın altında kalmaktadır. Veri toplanan ay içerisinde toplam 29920 kişi taşınmış ve 6347 km. yol yapılmıştır. Tablo 3'te hesaplanan toplam karbondioksit emisyonu toplam yolcu sayısına bölünerek kişi başına 0,276 kilogram CO₂ karbondioksit emisyonu hesaplanmıştır. Günlük kişi sayısı ele alındığında günlük ortalama 284,74 kg CO₂ emisyonu açığa çıkmaktadır.

Tablo 4. Tekirdağ Çorlu ilçesinde 55 durağı bulunan 7 nolu hat üzerinde 2020 yılı şubat ayı şehir içi ulaşımında kullanılan bir toplu taşıma aracına ait tanımlayıcı istatistikler (Table 4. Descriptive statistics of a public transportation vehicle used in urban transportation in February 2020 on line 7 with 55 stops in Tekirdağ Çorlu district)

	Tüketilen Yakıt Miktarı (lt)	CO ₂ (ton)	Gün İçerisinde Taşınan Yolcu Sayısı	Taşıtın Gün İçerisinde Yaptığı Yol (km)
Ortalama	109.88	0.28	1031.72	218.86
Ortanca	110.21	0.28	1080.00	219.00
Standart Sapma	5.87	0.02	146.00	2.31
Maksimum	119.50	0.31	1248.00	224.00
Minimum	98.51	0.25	678.00	214.00

4. Sonuç ve Öneriler

Fosil yakıtlar termik motorlu taşıtlardaki enerji kaynağıdır. Ulaşım sektöründe taşıt sayılarının artmasına paralel olarak fosil yakıt kullanımı da artmaktadır. Bu durum atmosferde sera gazı salınımını artmasına ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliğine etkisi olan toplu taşıma araçlarının neden olduğu karbon emisyonlarını azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılabilir. Bunlardan en etkili olabilecek yöntem termik motorların yerine elektrik motorlu taşıtların kullanımına geçilmesidir. Bu çalışmada Tekirdağ iline bağlı Çorlu ilçesinde toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izi IPCC metodolojisi Tier-1 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Toplu taşıma güzergahları iyi analiz edilerek en az egzoz emisyonu oluşturacak güzergahlar belirlenmelidir. Ulaşım sektörü alınan tedbir ve uygulamalarla karbon salınımını büyük oranda azaltabilecek sektörlerden bir tanesidir. Karbon

salınımının azalması küresel ısınmaya olumlu katkılar sağlayacağı gibi toplum ve çevre sağlığı üzerindeki önemi de büyüktür.

Taşıt yüküne bağlı olarak yakıt tüketimi ve dolayısı ile taşıtların karbon ayak izi artacağından dolayı toplu taşıma araçları daha hafif ve dayanımı yüksek malzemelerden imal edilmelidir.

CO₂ bir sera gazı olması nedeniyle dünyamızın sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Havada karbon gazı olarak (karbondioksit, CO₂) bulunmakta ve okyanuslar ile ağaçlar ve bitkiler tarafından emilmektedir. Bu yüzden mevcut ağaçlı alanların korunması ve bu alanların artırılması küresel ısınma açısından büyük önem arz etmektedir.

Yerel yönetimler, toplu taşıma yollarına paralel bisiklet yolları dizayn ederek, bisiklet kullanımını yaygınlaştırıp, toplu

taşıma yükünü azaltarak toplu taşıma kaynaklı egzoz emisyonların eliminasyonunu sağlamak mümkün olabilir.

Toplu taşımada kullanılan dizel motorların emisyonlarını azaltıcı sistemler, Karter havalandırma sistemi, Egzoz gazı geri çevrim sistemi (EGR), Dizel partikül filtresi sistemi (DPF), SCR (Selective Catalytic Reduction) katalitik indirgeme sistemlerinin denetim ve kontrolleri sık sık yapılarak termik motorların atmosfere saldıgı emisyonların minimum seviyeye indirgenmesi sağlanmalıdır.

Daha temiz ulaşım için eski teknolojiye sahip içten yanmalı motorlu taşıtların karayollarında kullanımına izin verilmemeli yeni Euro Emisyon Standartlarına sahip taşıtlar kullanılmalıdır. Egzoz emisyonlarını azaltacak şehir ulaşırma strateji ve planlarının hazırlanması iklim değişikliğine ilişkin mücadelede büyük önem arz etmektedir.

Mevcut durumları iyileştirmek fosil yakıt kullanımını azaltmak için toplu taşıma hatlarında günlük ve saatlik yolcu sayıları analiz edilerek yolcu sayılarının az olduğu durumlarda küçük hacimli taşıtların seçilmesi karbondioksit salınımının azaltılmasında önemli rol oynayacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışmadaki verilerin temininde bizlere destek olan Tekirdağ Otopark Ulaşım A.Ş.'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Algedik, Ö., Bayar, H.İ., Biçer, B.E., Çelik, E., Keleş, M., Kocaman, H., Talu, N., 2016. TBMM'nin İklim Değişikliği Politikasındaki Rolü 'Politikacılar için Özet'. 30s.
- Bıyık, Y., Civelekoğlu, G., (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. Bilge International Journal of ScienceandTechnologyResearch, 2 (2): 157-166.
- Binboğa, G., Ünal, A., (2018). Sürdürülebilirlik Ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Yönelik Bir Araştırma. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi. Yıl:2018 (21):187-202.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). (2014). Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ. 1-40.
- Diler 2006, Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbon Dioksit Emisyonlarına Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Haines, A., Kovats R.S., Campbell-Lendrum D., Corvalan C., 2006. ClimateChangeand Human Health: Impacts, VulnerabilityandPublicHealth, TheLancet, 367 (9528): 2101-9.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC GuidelinesforNationalGreenhouseGasInventories Volume I: ReportingInstructions, Chapter 1 pp 1-4, Intergovernmental Panel on ClimateChange, United 97 Nations Environment Programme, OrganizationforEconomicCoOperationand Development, International EnergyAgency, Paris.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC GuidelinesforNationalGreenhouseGasInventories Volume II: Workbook, Chapter 1 pp 3- 23, Intergovernmental Panel on ClimateChange, United Nations Environment Programme,

- OrganizationforEconomicCo-Operationand Development, International EnergyAgency, Paris.
- Işık, N., Kılınç, E.C., (2014). Ulaşırma Sektöründe CO2 Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi. Sosyo Ekonomi Dergisi, 2014-2, 140215, 26s, (321-346).
- Kelen, F., (2014). Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 19 (1-2), 80-87.
- Kovancılar, B., (2001). Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği. Yönetim ve Ekonomi, Yıl:2001, Cilt 8, Sayı:2, 7-19.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2013). NationalGreenhouseGas Inventory Report, 1990-2012. Erişim Adresi http://www.csb.gov.tr/db/iklim/editedorsya/NIR_TUR_2012.pdf.



Bilişsel Radyo ile Etkin Taşıtsal Ağlarda En İyiye Yakın Veri Hacmi Edimi

Ömer Melih Gül^{1*}

^{1*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi (KKK), Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin10, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0673-7877), gomermel@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 29 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1126550)

ATIF/REFERENCE: Gül, Ö. M. (2022). Bilişsel Radyo ile Etkin Taşıtsal Ağlarda En İyiye Yakın Veri Hacmi Edimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 73-78.

Öz

Bir çokkanallı ikincil kullanıcı (İK) ve çok sayıda birincil kullanıcılardan oluşan bir bilişsel radyo etkinleşmiş araçsal ağ incelenmektedir. Veriyi gönderim amacıyla her birincil kullanıcı için tahsis edilmiş bir kanal vardır. İK'nın verisi birikmiş ve iletişim amacıyla kanallar seçmektedir. Kanalların durumları ve evrimlerinin istatistikleriyle ilgili hiçbir bilgiye sahip değildir. İK seçtiği her haberleşme kanalını onunla verisini iletip iletmeyeceğine karar verme amacıyla algılamaktadır. Bu kanal durumunu algılama için 1 zaman dilimi harcadığı kabul edilmiştir. Eğer İK o zaman diliminde iyi durumda bir kanalı seçerse, o kanal üzerinden ikincil alıcıya paket iletir. Eğer o zaman diliminde kötü kanal seçerse o kanal üzerinden veri paketi göndermez ve başka bir kanalı seçmek için sonraki zaman dilimini bekler. Ortalama verihacmi kriterleri gözetilerek, uygulanan politikanın genel kanal evrim süreçleri için eniyiye yakın olduğu belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak tahsisi, fırsatçı spektrum erişimi, kablosuz ağlar, bilişsel radyo.

Near-Optimal Throughput Performance in Cognitive Radio Driven Vehicular Networks

Abstract

A cognitive radio driven vehicular network with a multichannel secondary user (SU) and many primary users is considered. A channel is allocated to each primary user for data transmission. SU is data backlogged and selects channels for transmission. SU knows neither channel states nor statistics of channel evolution processes. SU senses each of its selected communications channels to decide whether to use it for data transmission or not. It is assumed that sensing the channel takes 1 time slot. If SU senses that a good-state selected channel is in good state, it sends data over that channel at that time. Otherwise, SU do not use that channel and make another selection next time. Considering average throughput criteria, it is stated that the applied policy is near-optimal for general channel evolution processes.

Keywords: Resource allocation, opportunistic spectrum access, wireless network, cognitive radio.

* Sorumlu Yazar: gomermel@metu.edu.tr

1. Giriş

Bu kısımda ilk önce bu çalışmada ele alınan problemin güdülenmesi ve amacı ilgili literatür ile verilmektedir. Daha sonra bu çalışmanın literature katkıları verilmektedir. Son olarak da bu çalışmanın teşkili belirtilmiştir.

1.1. Güdülenme ve İlgili Literatür

Kablosuz araçlar ile uygulamalar son yıllarda çok hızlı yayılmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda kablosuz radyo spektrumu için ihtiyaç daha fazla hissedilmektedir. Bu ihtiyaç, son yıllarda ortaya çıkan Nesnelerin İnterneti ve 5. Nesil Haberleşme gibi teknolojiler ile daha fazla artmaktadır. Ama lisanslı spektrumun büyük bölümü, var olan spektrumunu kullanma politikalarının yüzünden oldukça az kullanılır (Reed ve diğerleri, 2005) Bilişsel radio (Mitola ve diğerleri, 1999), spektrumun verimli kullanılmasında önemli çözüme hususunda ümit verici teknolojik paradigmalardan en önde gelenlerindedir. Bir bilişsel radyo ağında (BRA), bir ikincil kullanıcı (İK), bir birincil kullanıcıya (BK) temin edilmiş kablosuz spektrumunu yalnız BK'nın kullanmadığını anladığı anlarda kullanabilmektedir. İK'nın spektrumu böyle kullanabilmesi, fırsatçı spektrum erişim (FSE) şeklinde isimlendirilir (Haykin, 2005).

Eldeki bildiriye M birincil kullanıcılar (BK), M birincil alıcılar, K kanallı bir ikincil kullanıcı (İK) ve K tane ikincil alıcılardan oluşan bilişsel telsiz ağlarında (BTA) meydana gelen bir fırsatçı spektrum erişim (FSE) problemi incelenmektedir. Her anda, İK verinin gönderimi amacıyla M kanallardan K tanesi seçilmektedir. İK bir kanalla verisini gönderim amacıyla kullanıp kullanamayacağına göre karar vermek için algılar. O zamanda İK tarafından kanallardan iyi biri seçilirse, o kanalla ikincil alıcıya paketini gönderir. O zamanda dolu (İK'nın iletimine uygun olmayan) kanallardan biri seçilirse onun ile veri paketi gönderilmez; diğer kanalları seçilmesi için sonraki zaman dilimi beklenir. İK kanalların durumlarına ya da onların evrimlerinin süreçleri hakkında hiçbir bilgiye sahip değildir. İK, ortalama verimliliğini eni yükseltmeyi hedeflemektedir.

Eldeki bildiri, verigeliş sürecini Markov ile sınırlanmamıştır. Diğer yandan, verigeliş süreçlerini Markov şeklinde modellersek eldeki problem kısmi gözlenebilir Markov karar süreci (KGMKS) şeklinde modellenilebilir. Buradaki şartlarda, takviyeli öğrenme (Watkins, 1989) veya dinamik programlama (DP) (Bellman, 1957) en iyi çözüm olarak uygulanması düşünülebilir. Ama DP ve takviyeli öğrenme, KGMKS'de durum uzayına göre üstel karmaşıklığa sahip olması ölçeklenebilirliği sınırlanmamaktadır.

Pratik bakımdan geniş ölçekte bilişsel radyo ağlarında, eniyiye yaklaşık az karmaşıklığa sahip buluşsal çözümlerin büyük karmaşıklıkta en iyiyi yakalayan çözümlere nazaran daha önemli olarak görülebilir (Alsheikh ve diğerleri., 2015). Bu problem, (Whittle 1988) çalışmasında önerilen huzursuz çok kollu haydut problem olarak da modellenilebilir. Problemin geneline en iyi çözüm PSPACE-zorluğa (Papadimitriou ve diğerleri, 1999) sahip olduğundan sadece çözüm amacıyla açgözlü politika (AP) benzer problemler için önerildi. Birçok makalede (Mansourifard ve diğerleri 2012, Quyang ve diğerleri. 2014, Wang ve diğerleri 2015, Villar 2016, Wang ve diğerleri Şubat 2016, Wang ve diğerleri Mayıs 2016, Gul. Mart 2019 ve Gul. Haziran 2021, 2.) BTA problemi çalışılmış ve özel koşullarda

AP eniyi çözüm olarak önerilmiştir. Ama AP, genelde standardın altındadır (Hero ve diğerleri., 2007, Johnston ve diğerleri 2013, Johnston ve diğerleri 2017, Wang ve diğerleri 2018, Gul ve Demirekler. 2017, Gul. Mart 2019 ve Gul. Haziran 2021, 2.).

1.2. Ana Katkılar

Bu çalışmanın ilgili literature ana katkıları şu şekildedir:

- Bu çalışmada haberleşme kanallarında blok gölgeleme düşünülerek FSE problemi incelenmiş ve çözüm için ilgili literatürde yaygın kullanılan algoritmalar uygulanmıştır.
- Eldeki probleme eniyi ve eniyiye yakın çevrimiçi yaklaşımlar uygulanmıştır. Verim performansı literatürdeki açgözlü politika ile karşılaştırılmıştır.
- Bu çalışmada eldeki problem blok gölgeleme modeli altında incelemiş ve probleme çözüm için farklı algoritmalar (DRSP ve AP) uygulanmış ve verimliliği performansları incelenmiştir. DRSP'nin eniyiye yakın verimi başarırken AP eniyi altı performans göstermiştir.

1.3. Teşkil

Makalenin kalanının kurgusu şu şekildedir. Bölüm 2 sistemin modelini vermektedir. Bölüm 3'te daha önce birçok çalışmada uygulanan DRSP algoritması eldeki probleme uygulamaktadır. Bölüm 4 uygulanan algoritmanın verimini ilgili literatürdeki algoritmaların verimleriyle beraber çeşitli gölgeleme modellerini kullanarak değerlendirir. Bölüm 5 makaleyi sonlandırır.

2. Sistem Modeli ve Problem Tanımı

2.1. Sistemin Modellemesi

M birincil alıcılar, M birincil kullanıcılar (BK), K tane ikincil alıcıdan K kanallı bir ikincil kullanıcı (İK) oluşan bilişsel radyo ağları (BRA) incelenmektedir. İncelenen haberleşme sisteminde her bir BK bir birincil alıcıya verisini göndermek amacıyla eşlenmiştir ve bu veri gönderimi için ona kanal tahsis edilmiştir. Çapraz kanal girişimi dikkate alınmayabilir; bu sayede haberleşme kanalları birbirine ortogonal biçimde ele alınabilir. Göndericilerin alıcılardan ayrı zamanlı biçimde haberleştiği düşünülmektedir. Her zaman diliminin başında, İK verilerini göndermek amacıyla M kanaldan K tanesini seçmektedir. İK bir kanalı verisini iletme kararı vermek amacıyla birçok makalede (Mansourifard ve diğerleri. 2012, Quyang ve diğerleri. 2014, Wang ve diğerleri. 2015, Villar 2016, Wang ve diğerleri. Şubat 2016 ve Wang ve diğerleri Mayıs 2016) kabul edildiği üzere spektrumunu mükemmel algılamaktadır ama bu şekilde algılama yapmak bir zaman dilimi sürmektedir. İK o zamanda seçtiği kanal boşsa (kanal iyi durumdaysa), onu kullanarak ikincil alıcıya paketini gönderir. Eğer o zamanda seçtiği kanal boş değilse (kanal kötü durumdaysa) onu kullanarak ikincil alıcıya paket göndermez ve sonra zamanda başka kanalları seçme amacıyla beklemektedir. Makalemizde İK'nın her zaman gönderecek verisi olduğu kabulü sahiptir ve 1 paketi gönderimi bir zaman dilimi sürer. $S = \{1, 2, \dots, M\}$, her kanalın endeksleri içeren kümedir. Ayrıca, $\pi(t)$,

t zamanında seçilmiş her kanalın endekslerini içeren kümedir; algoritma π ile değişmektedir.

Haberleşme sisteminde blok gölgelemenin gerçekleşmesi kabul edilmiştir. BK'ların birincil alıcılara verileri iletimi önceliği vardır. Bu nedenle, veri gönderimi amacıyla kanal kazancının yüksek (gölgelemenin az) olduğu zaman dilimlerini seçmektedirler. BK'lar verilerin gönderimi amacıyla zamanın seçime için gölgelemenin etkilediği kanalların kazançlarının üzerine eşik koymaktadır. Kanal kazanç katsayısının, eşik değerden yüksekse BK birincil alıcıya o kanalla verisini gönderir (İK için kötü durum). Kanal kazanç katsayısının, eşikten düşük olursa BK birincil alıcıya o kanal üzerinden verileri göndermez ve o kanalı boş bırakır (İK için kötü durum). İK bir kanalı seçerse ve onu uygun olarak algılar ise, bu kanalla verileri gönderir. Yoksa, İK o kanalla verileri göndermez.

$S_m(t)$, m . kanalın durumunun belirten fonksiyondur. Kanal m iyi durumdaysa $S_m(t) = 1$ 'dir. Yoksa, $S_m(t) = 0$. Alıcın kanalın durumu $T_{c,m}^x$ kadar süre boyunca muhafaza etmektedir; $T_{c,m}^x$, kanal m 'nın x . bağdaşım zamanıyken $T_{c,m}^x$ bu bağdaşım zamanının ilk zaman dilimini göstermektedir. m . kanalın bağdaşımın zamanını şu şekilde kısıtlanabilir.

$$T_{c,min}^x \leq T_{c,m}^x = t_m^{x+1} - t_m^x \leq T_{c,max}^x, \forall m$$

Burada $T_{c,max}^x$ ve $T_{c,min}^x$, bağdaşım zamanlarının T zaman ufukunda alabileceği en düşük ve en yüksek değerlerdir; bunlar da çevresel koşullara bağlıdır.

2.2. Problemin Tanımı

Bir FSE problemini tanımlamak için en yükseltilecek ödül tanımlanmalıdır. $V^\pi(t)$, İK'nın π algoritmasıyla t zamanına kadar iletilen paketlerin sayılarını gösterir.

$$V^\pi(T) = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M I_{\{m \in \pi(t)\}} I_{\{S_m(t)=1\}}$$

burada X gerçekleşirse $I_{\{X\}} = 1$ yoksa $I_{\{X\}} = 0$. Burada literatürde çalışmalarla uyumlu biçimde bu makalenin amacı, T dilimlik zaman ufukunda İK'nın başardığı verihacmini en yükseğe taşımaktır. Sonsuz veri birikimi kabulü ve bu nedenle problemin gecikmeye duyarsızlığı nedeniyle ortalama ödül kriteri haberleşme problemleri için indirimli ödüller kriterlerine kıyasla uyumlu bir ölçüt olmaktadır (Arapostathis ve diğerleri, 1993). Sonsuz veri birikimi kabulüyle, verihacmini en yükseltme problemi ortalama ödül (veri hacmi) kriteri baz alınarak sonlu bir zaman ufukunda (P1) ile sonsuz zaman ufukunda (P2) şu biçimde el alınır:

$$(P1) \quad \max_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

$$(P2) \quad \max_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

Aşağıda verilen tanımlar, çalışmanın kalan kısmında faydalı olacak.

Tanım 1: En iyi algoritma ile İK verihacmini en iyiye en yükseltir:

$$\pi^* = \operatorname{argmax}_{\{\pi(t)\}_{t=1}^T} \frac{V^\pi(T)}{T}$$

Tanım 2: π politikanın verimi, $\eta(\pi)$, bir zaman ufukunda bu algoritmanın verihacminin en iyi algoritmanın verihacmine oranıdır:

$$\eta(\pi) = \frac{V^\pi(T)}{V^{\pi^*}(T)}$$

Tanım 3: Yoğunluk, ρ , toplam spectrum boşluk sayısının MT 'ye oranıdır,

$$\rho = \frac{1}{M \cdot T} \sum_{m=1}^M H(t)$$

burada $H(t)$, t zamanında İK'nın iletimine müsait kanalların sayılarına oranıdır.

Açıklama 1: Bu makalede eldeki problem esasen sonlu bir zaman ufukunda (P1) olarak ele alınacak ve buna göre çözüm uygulanacaktır. Diğer yandan, uygulanan çözümün zaman ufukuna göre performansına bakarak sonsuz bir zaman ufukunda (P2) problemine de getireceği çözüm de kestirebilir.

3. Eniye Yakın Fırsatçı Spektrum Erişimi

(Gul ve Uysal-Bıyıkoglu, 2014, Gul, 2014, Gul, 2017, Gul ve Demirekler, 2018, ve Gul, Temmuz 2019) çalışmalarında enerji hasatlayan kablosuz ağlara (Gul, Aralık 2020, Gul, Haziran 2021, 1., ve Gul, Mayıs 2022) ve Şekil 1'de ifade edilen Algoritma 1. Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP), (Gul, Ekim 2021 ve Gul ve Kantarci, Ekim 2022) çalışmalarında farklı bilişsel radyo ağlarında FSE problemlerine için uygulanmıştır.

Algorithm 1 Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP)

```

1: Başlama:
2: 1) BK'lar ve birincil alıcılar arasındaki kanalları rastgele sırala ve bu sırayı hep koru. Bu sıraya göre aktivasyon vektörünü ilk  $K$  kanalla başlat  $\Pi = [1 \ 2 \ \dots \ K]$ .  $\Pi(j)$ ,  $\Pi$ 'nin  $j$ . elemanıdır.
3: 2) Sonraki diye bir pointer tanımla. Başlangıçta, Sonraki =  $K + 1$ .
4: Prosedür:
5: for  $t = 1$  to  $T$  do
6:   for  $j = 1$  to  $K$  do
7:     if  $S_{\Pi(j)}(t) = 1$  and  $S_{\Pi(j)}(t-1) = 1$  then
8:       İK kanal  $\Pi(j)$  üzerinden veri iletir.
9:     else
10:      if Sonraki  $\notin \pi^{DRSP}(t)$  then
11:         $\Pi(j) \leftarrow \text{Sonraki}$ ;
12:      else
13:        repeat
14:           $\text{Next} \leftarrow \text{mod}_M(\text{Sonraki} + 1)$ ;
15:           $\Pi(j) \leftarrow \text{Sonraki}$ ;
16:          until Sonraki  $\notin \pi^{DRSP}(t)$ 
17:        end if
18:         $\text{Sonraki} \leftarrow \text{mod}_M(\text{Sonraki} + 1)$ ;
19:      end if
20:    end for
21: end for

```

Şekil 1. Düzgün Rastgele Sıralı Politika (DRSP)

Şekil 2, DRSP kullanarak çizelgeleme yapan bir İK'nın çizelgeleme tablosunu göstermektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kanal 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kanal 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kanal 3					2	2							2	2	2					

Şekil 2. 2 kanallı ikincil kullanıcının (İK) 3 tane birincil kullanıcıya (BK) tahsis edilen 3 kanaldan 2sini DRSP

algoritması kullanarak seçtiği ilk 20 zaman dilimini gösteren bir örnek çizelgeleme tablosu. Burada İK ve bir ikincil alıcı i arasındaki kanal t zaman diliminde i numarası ile etiketlenir. Beyaz zaman dilimleri İK'nın veri iletimi için uygun dilimleri (spektrum boşlukları) gösterirken gri renkli dilimler İK'nın veri iletimi için uygun olmayan dilimleri gösterir. Burada seçilen kanalın durumunu algılamak için 1 zaman dilimi harcanır ve bu zaman dilimleri (kanalın durumu iyi de olsa kötü de olsa) kırmızı renkle gösterilir. Örneğin, 1. zaman diliminde 1. ve 2. kanalın durumunu algılar. Burada 1. ve 3. kanalın bağdaşım zamanı 5 zaman dilimi iken 2. kanalın bağdaşım zamanı 4 zaman dilimidir. DRSP eniye yakın performans sergiler.

Şekil 2'deki senaryoda $3 \times 20 = 60$ zaman diliminden oluşan bu senaryoda İK'nın iletimine uygun $20 + 12 + 10 = 42$ tane zaman dilimi vardır. Bu yüzden, Şekil 2'deki senaryoda yoğunluk $\rho = \frac{42}{60} = 0.7$ 'dir. Bu senaryoda birincil kullanıcıya tahsis edilen Kanal 2 ve Kanal 3'ün aynı anda uygun olmadığı 4 zaman dilimi vardır (6., 7., 8. ve 16. Zaman dilimleri). Bu durumda, kanal durumunu algılama için zaman dilimi harcamayan çevrimdışı en iyi algoritma ile İK 2. Kanalı üzerinden 16 paket gönderebilir. İK'nın 1. Kanal üzerinden 20 zaman diliminde 20 paket gönderebildiğini düşünürsek toplamda çevrimdışı en iyi algoritma ile İK, 20 zaman dilimi içerisinde 36 paket gönderebilir. DRSP ile ise İK 20 zaman dilimi içerisinde 27 paket iletebilir. Bu durumda DRSP'nin verimi, $\frac{27}{36} = 0.75$ tir.

Tabii çevrimiçi en iyi algoritmayı düşünürsek onun da her kanal durumunu algılama ve kanal değiştirme için 1 zaman dilimi harcaacağını göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, çevrimiçi en iyi algoritma ile İK 20 zaman diliminde $36 - 5 = 31$ paket iletebilmektedir. Bu durumda DRSP'nin verimi, $\frac{27}{31} = 0.85$ tir.

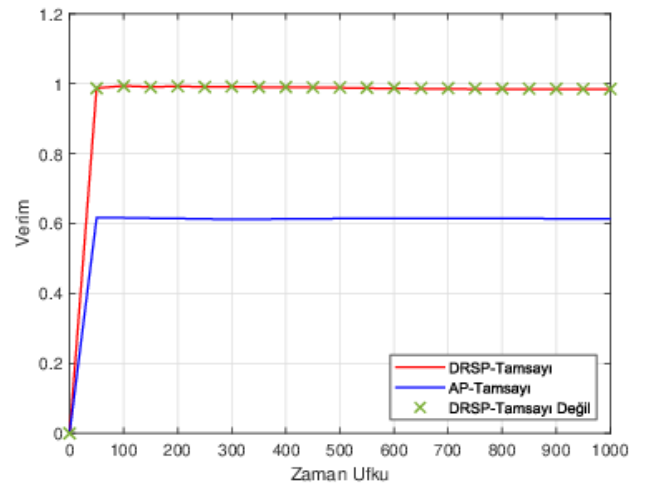
4. Sayısal Sonuçlar

Algoritmaların verimi $M = 20$ ve $K = 4$ kabul edilerek farklı zaman ufuklarında $0 \leq T \leq 1000$ değerlendirilecektir (Tanim 2'e göre $\eta(\pi^*) = 1$ bu nedenle en iyi algoritmanın performansı verim karşılaştırmalarında belirtmenin gereği yoktur. Öyleki, bir algoritmanın verimi, en iyi algoritmanın veri hacmi gözetilerek ortaya çıkan görece verihacmi performansdır). Her bir kanalda yavaş gölgelemenin meydana geldiği kabullenilmiştir (Rayleigh, Nakagami, Weibull, Rician gölgeleme modelleri en yaygın gölgeleme modelleri olduğundan burada da bu modeller kullanılmaktadır). O kanalın bağdaşım zaman süresince kanalın durumu korunmaktadır (Biglieri ve diğerleri, 2000). $50 \frac{m}{sec}$ hız, 2.4 GHz taşıyıcı frekans, $24 \frac{MB}{sec}$ veri iletim hızı, 120 Byte paketin boyutu şeklinde seçildiğinde bir haberleşme kanalının bağdaşım zamanı yaklaşık 110 zaman dilimi olacaktır (Rappaport, 2002). Bu nedenle, Monte Carlo simülasyonlarında $T_{c,max} = 120$ ve $T_{c,min} = 100$ TS alınmıştır.

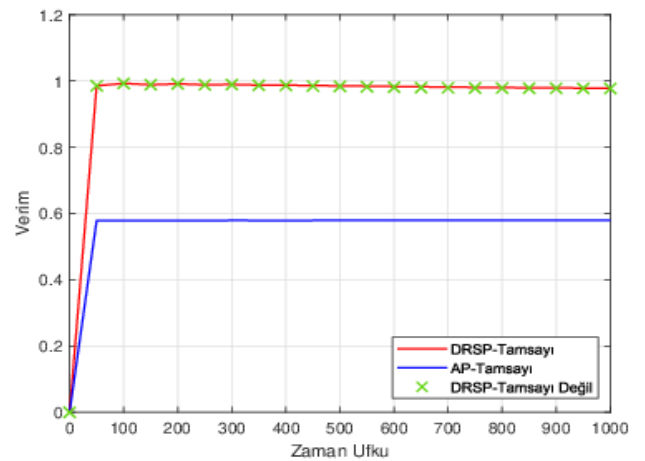
Şekil 3-6, Rician, Weibull, Rayleigh ve Nakagami gölgeleme modelleri altında iki algoritmanın (DRSP ve AP) da beklenen eşik değeri altında farklı zaman ufuklarına göre performanslarını göstermektedir.

Kanal kazancına bağlı olarak eşik değeri arttıkça iki algoritmanın verimi de artar çünkü artan eşik değerleri azalan sayıda uygun kanalın olduğunu kasteder. Bu yüzden, bu çalışmada eşik değeri olarak beklenen kanal kazancı düşünülerek seçilmiş ve buna göre benzetimler yapılmıştır. Beklenen kanal kazancı değeri kadar eşik değerinde belirli bir zaman sonra AP ve DRSP'nin verimleri nispeten durağan olduğu gözlemlenmektedir.

Rayleigh gölgeleme modeli altında Şekil 3'te DRSP 98.5% alırken AP'nin verimi 61.4% tir. $m = 1.5$ ile Nakagami gölgeleme modeli altında Şekil 4'te DRSP 97.9% alırken AP'nin verimi 57.8% tir. $k = 1.5$ ile Weibull gölgeleme modeli altında Şekil 5'te DRSP 98.4% alırken AP'nin verimi 61.1% tir. Rician gölgeleme modeli altında Şekil 3'te DRSP 97.8% alırken AP'nin verimi 57.2% tir.



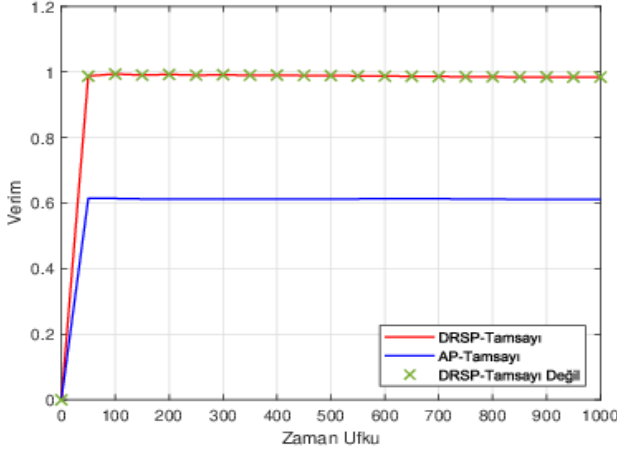
Şekil 3. Rayleigh gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufukuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.



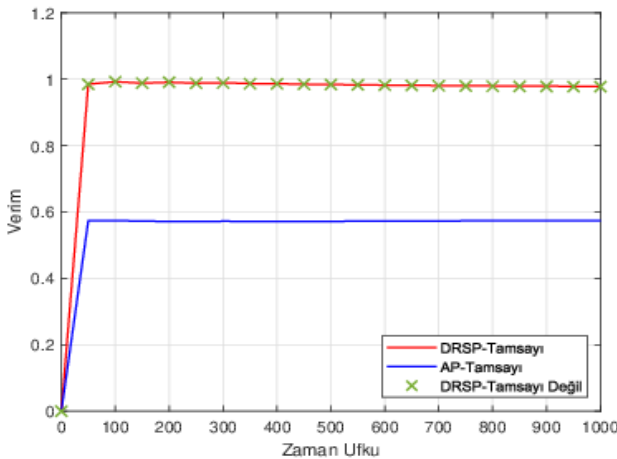
Şekil 4. $m = 1.5$ ile Nakagami gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufukuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.

Şekil 3-6'da DRSP'nin 1'e (eniyye) yakın verimi ile AP'nin yaklaşık 0.6 veriminde yaklaşık 60% fazla olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, DRSP'nin verimi bazı gölgeleme modelleri altında AP'nin verimine göre 70% fazla performansa bile ulaşabilmektedir.

Ayrıca, $M = 22$ ile $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumda da DRSP'nin verimini gözlemlenmiştir. Bu durumda da, DRSP'nin verimi 1.0'a yakınsamaktadır. Bu DRSP'nin $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumunda bile eniyye yakın performansı başardığını göstermektedir.



Şekil 5. $k = 1.5$ ile Weibull gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufkuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.



Şekil 6. Rician gölgeleme modeli altında $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olduğu durumda DRSP ve AP'nin zaman ufkuna karşı verimi. DRSP'nin performansı $\frac{M}{K}$ 'nin tamsayı olmadığı durumda da gösterilir.

Şekil 3-6'ı göz önünde bulundurularak, iki ek husus açıklanabilir. İlk olarak, DRSP $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olmadığı durumunda $\frac{M}{K}$ 'nin tam sayı olduğu durumundakiyle aynı performansı göstermektedir. İkinci olarak, Şekil 3 ve Şekil 6'daki algoritmaların verimleri, Şekil 4 ve Şekil 5'e göre farklı

biçimde eşik değerine göre değişmektedir. Çünkü, Rayleigh ve Rician gölgelemeler için olasılık dağılımları $k = 1.5$ ile Weibull ve $m = 1.5$ ile Nakagami gölgelemeye göre farklıdır. Bu durumda, tüm gölgeleme modellerinin aynı eşik değeri için kıyaslama yaptığımızda bu iki gölgeleme modelinde uygun kanalların sayısını farklılaştırmaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, birincil kullanıcılar, bir tane ikincil kullanıcı, birincil ve ikincil alıcılarının biraraya geldiği bir bilişsel radyo ağında meydana gelen gölgelenen kanallar kullanılarak yapılan bir fırsatçı iletişim problemini ve ona uygulanan çözümler incelenmektedir. İK kanalların durumları ya da evrimlerinin süreçleri hakkında hiçbir bilgiye sahip değildir. İK kanallardan bazılarını algılama amacıyla seçip alıcılara onlar üzerinden verileri gönderip göndermemeye karar vermektedir; bunun için de 1 zaman dilimi harcamaktadır. Eğer kanal durumu iyiye iletim için 1 zaman harcamaktadır. Çözüm için farklı algoritmalar (DRSP ve AP) uygulanmış ve verihacmi performansları incelenmiştir. DRSP'nin eniyye yakın verimi başarırken AP eniyye altı (yaklaşık olarak eniyyenin yarısı kadar) performans göstermiştir. Gelecek çalışmalarda farklı gölgeleme modelleri uygulanabilir. Bunun yanında daha farklı kanal modelleri de uygulanabilir.

References

- Alsheikh, M. A., Hoang, D. T., Niyato, D., Tan, H., Lin, S. (2015). Markov Decision Processes With Applications in Wireless Sensor Networks: A Survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials vol 17, no. 3, 1239-1267.
- Arapostathis, A., Borkar, V. S., Fernandez-gaucherand, E., Ghosh, M. K., and Marcus, S. I. (1993). Discrete-time controlled Markov processes with average cost criterion: A survey," SIAM J. Control Optim., vol. 31, no. 2, 282-344.
- Bellman, R. E. (1957). Dynamic Programming. Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press.
- Biglieri, E., Caire, G., Taricco, G. (2000). Coding for the fading channel: a survey", Elsevier Signal Processing, vol. 80, 1135-1148.
- Gul, O.M. (2014). A low-complexity, near-optimal scheduling policy for solving a restless multi-armed bandit problem occurring in a single-hop wireless network, MSc Thesis.
- Gul, O.M. and Uysal-Biyikoglu, E. (2014). A Randomized Scheduling Algorithm for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks Achieving Nearly 100% Throughput", IEEE Wireless Communication & Networking Conference (IEEE WCNC 2014), 6-9 April 2014, Istanbul, Turkey.
- Gul, O. M., Demirekler, M. (2017). Average Throughput Performance of Myopic Policy in Energy Harvesting Wireless Sensor Network. Sensors, vol. 17, no. 10:2206.
- Gul, O. M., Erkmén, M. A. (2016). Achieving asymptotically optimal throughput in centralized mobile robot networks without dispatching feedback. 28th European Conference on Operational Research (EURO 2016), July 3-6, 2016, Poznan, Poland.
- Gul, O. M. (2017). Asymptotically Optimal Scheduling for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. 28th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (IEEE PIMRC 2017), Montreal, QC, Canada, 1-7.

- Gul, O. M., Demirekler, M. (2018). Asymptotically Throughput Optimal Scheduling Policy for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*, vol. 6, pp. 45004-45020.
- Gul O. M. (Temmuz 2019). Achieving Near-Optimal Fairness in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", 24th Annual IEEE International Symposium on Computers and Communications (IEEE ISCC 2019), Barcelona, Spain, 1-6.
- Gul, O. M. (Mart 2019). Average Throughput of Myopic Policy for Opportunistic Access over Block Fading Channels. *IEEE Networking Letters*, vol.1, no. 1, 38-41.
- Gul, O. M. (Aralık 2020). Near-Optimal Data Communication Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA) 2020*, 1-4.
- Gul, O. M. (Haziran 2021, 1.). Fair Data Collection in Wireless Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Haziran 2021, 2.). Average Throughput Performance of Greedy Policy in Cognitive Radio Enabled Vehicular Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Ekim 2021). Near-Optimal Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks in IoT era. *IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) 2021*, 1-4.
- Gul, O. M. (Mayıs 2022). Fair Data Collection in Wireless Communications Networks. *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları (SIU) 2022*, 1-4.
- Gul, O. M., Kantarci. B. (Ekim 2022). Near optimal scheduling for opportunistic spectrum access over block fading channels in cognitive radio assisted vehicular network. *Vehicular Communications*, vol. 37, Oct. 2022, 100500.
- Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *IEEE JSAC*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220.
- Hero, A., Castanon, D., Cochran, D., Kastella, K. (2007). *Foundations and Applications of Sensor Management*, Chapter 6, Springer, US.
- Johnston, M., Modiano, E., Keslassy, I. (2013). Channel Probing in Communication Systems: Myopic Policies Are not Always Optimal", *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, 1934-1938.
- Johnston, M., Modiano, E., Keslassy, I. (2017). Channel Probing in Opportunistic Communication Systems. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 63, no. 11, 7535-7552.
- Mansourifard, P., Javidi, T. and Krishnamachari, B. (2012). Optimality of myopic policy for a class of monotone affine restless multi-armed bandits", *IEEE CDC*.
- Mitola, J. and Maguire, G. Q. (1999). Cognitive radio: making software radios more personal. *IEEE Pers. Comm.*, vol. 6, no. 6, 13-18.
- Papadimitriou, C. H. and Tsitsiklis, J. N. (1999). The complexity of optimal queueing network control. *Math. Oper. Res.*, vol 24, 293-305.
- Quyng, Y., Teneketzis, D. (2014). On the Optimality of Myopic Sensing in Multi-State Channels. *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 60, no. 1, 681-696.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition.
- Reed, J. H. and Bostian, C. W. (2005). Understanding the issues in software defined cognitive radio, Tutorial at *IEEE DySPAN 05*.
- Villar, S. S. (2016). Indexability and Optimal Index Policies for A Class of Reinitialising Restless Bandits. *Prob. in Eng.&Inform. Sci.*, vol. 30, Iss. 01, 1-23.
- Wang, K., Liu, Q., Li, F., Chen, L., Ma, X. (2015). Myopic policy for opportunistic access in cognitive radio networks by exploiting primary user feedbacks, *IET Commun.*, Vol. 9, Iss. 7, 1017-1025.
- Wang, K., Chen, L. Yu, J., and Zhang, D. (2016). Optimality of Myopic Policy for Multistate Channel Access. *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 2, 300-303.
- Wang, K., Chen, L. and Yu, J. (2016). On Optimality of Myopic Policy in Multi-channel Opportunistic Access. *IEEE ICC 2016*, 1-6.
- Wang, K., Chen, L., Yu, J., Fan, Q., Zhang, Y., Chen, W., Zhou, P., Zhong, Y. (2018). On Optimality of Second-Highest Policy for Opportunistic Multichannel Access. *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 67, no. 12, 12013-12024.
- Watkins, C. J., (1989). Learning from delayed rewards. Ph.D. dissertation, University of Cambridge, Psychology Dep.
- Whittle, P. (1988). Restless bandits: Activity allocation in a changing world. *J.Appl. Prob.* 25A, 287-298.



Alıç (*Crataegus orientalis* subsp.) Çekirdeğinin Bazı Karakteristik Özellikleri ve Çekirdek Yağının Yağ Asidi Bileşen Karakterizasyonu

Fatma Sezer Öztürk¹, Yunus Önal², İncilay Gökbulut^{3*}

¹ İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6898-6943), fatmasezer.ozturk@inonu.edu.tr

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6342-6816), yunus.onal@inonu.edu.tr

^{3*} İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4994-5788), incilay.gokbulut@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 12 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1113941)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, F.S., Önal, Y. & Gökbulut, İ. (2022). Alıç (*Crataegus orientalis* subsp.) Çekirdeğinin Bazı Karakteristik Özellikleri ve Çekirdek Yağının Yağ Asidi Bileşen Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 79-84.

Öz

Doğada yabani bir bitki olarak yetişen alıç, insan sağlığı için önemli bir meyvedir. Bu çalışmada Malatya ili Hekimhan ilçesinden elde edilen çekirdeklerin kabuk ve iç tohumlarının karakterizasyonu yapılmıştır. Kabuklu bütün çekirdeğin ağırlıkça % 14 iç çekirdek, iç çekirdeğin ise ağırlıkça % 49,40 yağ içerdiği belirlenmiştir. İç çekirdek ağırlıkça % 5,91 nem ve % 4,56 kül içermektedir. İç çekirdeğin protein içeriği, kuru bazda ağırlıkça % 41,25 olarak belirlenmiştir. İç çekirdek yağ asidi bileşimi incelendiğinde doymuş yağ asitleri oranı % 11,67, tekli doymamış yağ asitleri % 38,92 ve çoklu doymamış yağ asitleri % 48,24 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca alıç tohum kabuğunun yarı kristal selülozik bir yapıya sahip olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alıç, Çekirdek, Yağ asidi, Karakterizasyon

Identification of Some Characteristic Features of Hawthorn (*Crataegus orientalis* subsp.) Seed and Fatty Acid Component Characterization of Seed Oil

Abstract

Hawthorn, which grows in nature as a wild plant, is a significant fruit for human health. In this study, the characterization of the kernels' shell and inner seeds obtained from the Hekimhan district of Malatya province carried out. It was determined that the whole kernel with the shell contains 14% inner weight core, and the inner seed contains 49.40% oil by weight. It was determined that the inner core includes 5.91% moisture and 4.56% ash by weight. The protein content of the inner core was determined to be 41.25% by weight on a dry basis. When the inner core fatty acid composition examined, it was determined that the saturated fatty acids were 11.67%, the monounsaturated fatty acids were 38.92%, and the polyunsaturated fatty acids were 48.24%. In addition, it has been determined that the hawthorn seed shell has a semi-crystalline cellulosic structure.

Keywords: Hawthorn, Seed, Fatty acid, Characterisation

*Sorumlu Yazar: incilay.gokbulut@inonu.edu.tr

1. Giriş

Rosaceae familyasına ait *Crataegus* cinsi bitkilerin ortak adı olan alıç, ılıman iklime sahip bölgelere özgü, büyük ve dikenli çalı veya ağaç görünümünde, yabani bir meyve cinsidir (Pan ve ark., 2012). Alıç cinsinin dünya üzerinde yaklaşık 280 türü tespit edilmiş olup, ülkemizde doğal olarak 17 türü ve çok sayıda taksonu yayılış göstermektedir (Bayar & Deligöz, 2016). Anadolu'da en yaygın bulunan alıç türü *C. monogyna* olup, beraberinde *C. azarolus* ve *C. orientalis* türlerine de rastlanmakta, özellikle, *C. azarolus* türüne ait iri meyveli genotiplerin yetiştiriciliğinin giderek yaygınlaştığı rapor edilmektedir (Çalışkan ve ark., 2012). Ülkemizde alıç türleri, genellikle sirke, meyve suyu, reçel olarak işlendikten sonra veya sofralık tüketimde meyveleri için yetiştirilmektedir. Alıç meyve, yaprak ve çiçekleri flavonoidler, oligomerik proantosiyanidinler, triterpen asitler, organik asitler, steroller ve kardiyoaktif aminler ve yüksek flavonoid içeriği ile antioksidan özellik gösteren bir bitkidir (Chang ve ark., 2002). Alıç meyvelerindeki flavonoidlerin kalpte oksijen kullanımını artırarak metabolizma enzimlerini aktive ettiği, kan basıncını düşürdüğü, toplam plazma kolesterolünü etkili bir şekilde azalttığı, iltihap giderici, antikanserijen ve antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2001). Alıçın antioksidan ve biyoaktif bileşenlerinin sağlık ve terapötik özelliklerinden sorumlu olduğu öne sürülmüştür. Çeşitli epidemiyolojik çalışmalar, alıçların meyve ve bitki parçalarının ekstraktlarının tüketiminin kan basıncını ve toplam plazma kolesterolünü etkili bir şekilde azalttığını göstermiştir (Zhang ve ark., 2001).

Alıç bitkisine ait tohumlar genellikle göz ardı edilmektedir. Son çalışmalar, alıç tohumlarının flavonoidler, fenolik asitler, lignanlar ve diğer bileşenler açısından zengin olduğunu göstermiştir (Niu ve ark., 2020). Birçok farmakolojik çalışma, alıç tohumunun antiinflamatuvar, hipolipidemik, analjezik ve antioksidan gibi çeşitli farmakolojik özelliklere sahip olduğunu kanıtlamıştır (Can ve ark., 2010; Peng ve ark., 2016). Yapılan çalışmalar, meyve tohum yağlarının, omega-3 ve omega-6 yağ asitleri, tokoferoller ve steroller gibi diğer bazı biyolojik olarak aktif fitokimyasalların potansiyel bir kaynağı olarak hizmet edebileceğini ortaya koymuştur (Parry ve ark., 2005). Ayrıca, son çalışmalar diyetdeki omega-3 yağ asitlerinin kardiyovasküler kalp hastalığı ve kanser prevalansını azaltmada çok önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir (Maillard ve ark., 2002; Parry ve ark., 2005). Alıç meyvesi sirke üretimi başta olmak üzere endüstriyel bir ürün olarak işlenmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak tohum, hem tohum kabuğu hem de iç çekirdek büyük miktarlarda yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Bu nedenle alıç meyvesi besleyici, tıbbi ve antioksidan özellikleri açısından araştırılmış olsa da, çekirdeklerinin yağ asidi profilleri üzerinde çok az araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada Malatya'da yetişen alıç meyvelerinden elde edilen tohumların kabuk ve iç çekirdeklerinin karakterizasyonu ve yağ asidi bileşimleri değerlendirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Hammadde

Alıç meyveleri Malatya/Hekimhan/Güzelyurt Bölgesinden toplanmıştır. Tohumlar meyvelerden ayrılmış, distile su ile yıkanmış ve gölgede oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan

tohumlar havanda öğütülmüş olup iç çekirdek ve kabuk kısımlarına ayrılarak ayrı ayrı 4 °C'de hava geçirmez kapalı kaplarda muhafaza edilmiştir.

2.2. Yağ ekstraksiyonu

Alıç tohumları toz, kir ve diğer yabancı maddeleri uzaklaştırmak için elle temizlenmiştir. Temizlenmiş ve kurutulmuş tohumlar, öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Yaklaşık 30 g öğütülmüş tohum 8 saat boyunca 45 °C'de Soxhlet ekstraktöründe 0,5 L hekzan ile ekstrakte edilmiştir. Hekzan yoğunlaşma hızı, tüm süre boyunca 150 damla/dk olarak sabitlenmiştir. Ekstrakte edilen yağ örneği, ağız kapalı cam şişede 4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.1. Ekstraksiyon verimi

Ekstraksiyon verimi, ekstrakte edilen yağ miktarının ekstraksiyonda kullanılan öğütülmüş tohum miktarına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

Wf: Ekstrakte yağ ağırlığı

Wi: Öğütülmüş tohum ağırlığı

2.3. Tohum karakterizasyonu

2.3.1. Kimyasal kompozisyon

Protein analizi Kjeldahl protein tayin cihazı kullanılarak AACC metoduna (AACC International, 2000) göre yapılmıştır (AACC, 2000). Bu yöntemle belirlenen azot miktarı 5,7 sabit katsayısı ile çarpılarak alıç tohumundaki % protein miktarları hesaplanmıştır. Alıç tohumlarının kül tayini AOAC (1989) metodu ile önce 650 °C'de 8 saat ve ardından 850 °C'de 8 saat yakılarak tespit edilmiştir (AOCS, 1989). Nem tayini AOCS metoduna göre belirlenmiştir. Element analizi Thermo Scientific Flash 2000 cihazı ile gerçekleştirilmiş ve tohum bileşiminde bulunan karbon (% C), nitrojen (% N), hidrojen (% H), kükürt (% S) ve oksijen (% O) miktarları belirlenmiştir.

2.3.2. FT-IR analizi

FT-IR analizi için öğütülmüş tohum (kabuk ve iç çekirdek) örnekleri potasyum bromür (toz formunda) ile karıştırılmış ve pelet oluşturmak üzere preslenmiştir. Örnekler Fourier transform kızılötesi spektrofotometre (Perkin Elmer Spectrum One, IR 1.10 versiyonlu FT-IR spektrofotometre) cihazı ile 400-4000 cm⁻¹ aralığındaki spektrumlar kullanılarak analiz edilmiştir.

2.3.3. Taramalı elektron mikroskopu (SEM)

Tohum örneklerinin (kabuk ve iç çekirdek) yüzey morfolojileri, gözenek boyutları ve yüzeydeki dağılımları Taramalı Elektron Mikroskopu (Leo EVO-40 VPX Carl Zeiss SMT, Cambridge, UK) ile belirlenmiştir.

2.3.4. XRD analizi

Alıç tohumlarının (kabuk ve iç çekirdek) kristal yapıları XRD analiz yöntemi ve X-ışını kırınım (XRD) (Rigaku Miniflex II) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.4. Yağ asidi bileşimi

Yağ asidi analizleri için 0,1 g yağ örneği üzerine 10 mL n-hekzan ilave edilmiş, hızlıca çalkalanmış ve ardından üzerine 0,5 mL 2 N metanollü KOH çözeltisi ilave edilmiştir. Üst faz berraklaşana kadar karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır. Berrak üst faz viallere alınarak yağ asidi kompozisyonu Alev İyonizasyon Dedektörleri (FID) ile donatılmış bir Gaz Kromatografisi (GC) sistemi kullanımı ile belirlenmiştir. Analitik koşullar ise şu şekildedir: Cihaz; GC-2010 Plus, Kolon; TRCN-100 (100 m × 0.25 mm × 0.20 µm), Enjeksiyon sıcaklığı; 250 °C, Enjeksiyon modu; Split, Akış kontrol modu; pressure, Basınç; 250 kPa, Split oranı; 100, Kolon sıcaklık programı; 140 °C 5 dk, 4 °C/dk, 240 °C 15 dk, FID sıcaklığı; 250 °C, Enjeksiyon hacmi; 1 µL.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tohum karakterizasyonu

Ekstrakte edilen alıç tohum yağlarının ekstraksiyon verimleri ve fizikokimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Alıç tohumunun fizikokimyasal karakterizasyonu
(Table 1. Physicochemical characterization of hawthorn kernel)

Fizikokimyasal karakterizasyon	% (w/w)
Tohum yağ içeriği	49,40
İç çekirdek	14,00
Nem	5,91
Kül	4,56
Protein (kuru bazda)	41,25
Kabuk kül içeriği (650 °C)	0,65
Kabuk kül içeriği (850 °C)	0,55

Çalışmada alıç iç çekirdeğinin yağ verimi % 14 olarak tespit edilmiştir. Alıç tohumunda toplam yağ verimi ise % 49,4 olarak belirlenmiştir. Sonuçlarımız, ekstraksiyon yöntemindeki farklılıkların ekstraksiyon verimini etkileyebileceğini öne süren önceki raporlarla benzerlik göstermektedir. Özcan ve ark., (2005), yaptıkları çalışmada alıç tohumundaki yağ içeriğini % 0,9 olarak belirlemişlerdir (Özcan ve ark., 2005). Anwar ve ark., (2008) yaptıkları çalışmada Güney Alberta’da (Kanada) yetiştirilen alıç tohumlarındaki yağ oranının % 3,4 olduğunu rapor etmişlerdir (Anwar ve ark., 2008). Punjab’ın hem kurak hem de sulak bölgelerinde yetiştirilen *moringa* (*M. oleifera*) tohumlarının ortalama yağ içeriğinin % 34,66 ile % 40,39 arasında olduğu tespit edilmiştir (Anwar ve ark., 2008). Yağ asitleri, hem besinsel değeri açısından hem de yapıdaki çeşitli metabolik ve yapısal fonksiyonlarda görev alan bileşenlerdir. Hücre zarlarının vazgeçilmez bileşenleri olan yağ asitleri, vitaminlerin taşınmasından ve plazmadaki lipid konsantrasyonunun düzenlenmesinden sorumludur. Alıç tohumuna ait yağ asidi bileşimi Tablo 2’de gösterilmektedir. Çalışmada alıç tohumundaki çoklu doymamış yağ asidi (ÇDYA), tekli doymamış yağ asidi (TDYA) ve doymuş yağ asidi (DYA) miktarları sırasıyla % 48,24, % 38,92 ve % 11,67 olarak belirlenmiştir. ÇDYA içerisinde en fazla linoleik asit (% 48,02), TDYA içerisinde en fazla oleik asit (% 38,92), DYA arasında ise en fazla palmitik asit (% 8,10) ve stearik asit (% 2,03) tespit edilmiştir.

Tablo 2. Alıç tohumunun yağ asidi bileşimi
(Table 2. Fatty acid composition of hawthorn kernel)

Yağ asidi	Yağ asidi bileşimi (%)
C4:0 (Butirik asit)	0,08
C16:0 (Palmitik asit)	8,10
C18:0 (Stearik asit)	2,03
C18:1n9c (Oleik asit)	38,92
C18:2n6t (Linolelaidik asit)	0,03
C18:2n6c (Linoleik asit)	48,02
C20:0 (Araşidik asit)	1,14
C20:2 (Eikosadienoik asit)	0,19
C21:0 (Heneikosanoik asit)	0,21
C22:0 (Behenik asit)	0,10
DYA	11,67
TDYA	38,92
ÇDYA	48,24

DYA: Doymuş yağ asidi; TDYA: Tekli doymamış yağ asidi; ÇDYA: Çoklu doymamış yağ asidi

Özderin ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada alıç tohumu yağında en yüksek linoleik (% 64,23), oleik (% 39,36) ve palmitik asit (% 9,40) olmak üzere toplam 10 yağ asidi belirlemişlerdir (Özderin ve ark., 2016). Anwar ve ark., (2008) yabancı yetişen 4 farklı meyve tohumundan elde edilen yağ asidi kompozisyonlarını incelemiş ve en yüksek linoleik asit oranını (% 65,55) alıç tohumu yağında bulmuşlardır (Anwar ve ark., 2008). Vücudun üretmediği ve mutlaka besinler yoluyla alınması gereken esansiyel yağ asitleri (EYA), insan ve diğer memeliler için mutlak gerekli olan çoklu doymamış yağ asitleridir. Vücutta omega-3 (ω -3) ve omega-6 (ω -6) olmak üzere iki tip EYA bulunmaktadır. ω -3 serisi α -linoleik asit (ALA) ve ω -6 serisi cis linoleik asitlerden oluşmaktadır. EYA’leri sindirim, üreme ve bağışıklık sistemlerinin düzenlenmesi yanı sıra doğrudan biyolojik aktivitede bulunan yapılardır. Son yıllarda yapılan insan ve hayvan çalışmalarında, yağ asitlerinin inflamatuvar belirteçler ve inflamatuvar süreçler ile ilişkisi olduğu gösterilmiştir (Özderin ve ark., 2016). Diyetle alınan ω -6 çoklu doymamış yağ asitlerinin inflamasyon, hücre membranındaki işlevleri ve diğer inflamatuvar belirteçleri etkileme yolu ile etkinlik gösterdiği, oleik asitin ise kalp krizi ve damar sertliği riskini düşürdüğü ve kanserden korunmaya yardımcı olduğu bildirilmektedir (Uzdil & Saka, 2020).

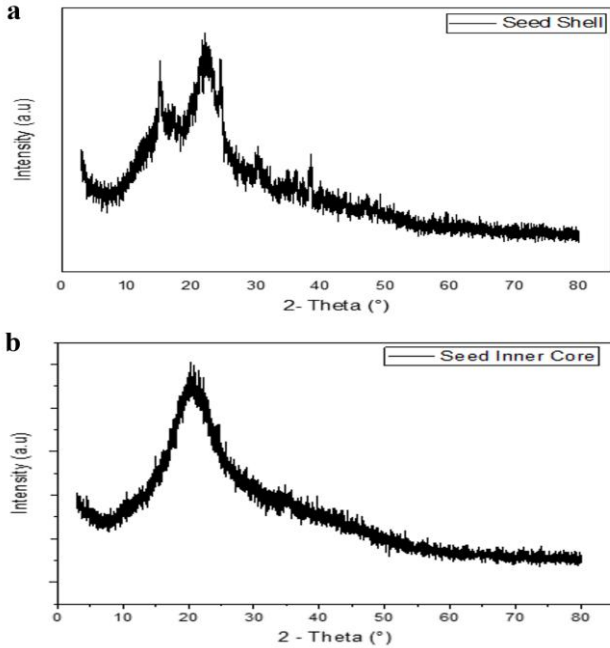
Linoleik asit (LA), çift bağlı çoklu doymamış bir ω -6 yağ asididir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), çocukların ortalama büyüme ve gelişmesi için LA ve ALA’nın gerekli olduğunu belirten bir sağlık beyanı yayınlamıştır (Løvik ve ark., 2008). LA alımının toplam kan kolesterolünü ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL)-kolesterol konsantrasyonlarını azalttığı bildirilmiştir (Djuricic & Calder, 2021). Yapılan çalışmalarda, LA ile koroner kalp hastalığı riski arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmektedir (Sacks & Campos, 2006). Moleküler mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte, LA alımının tip 2 diyabet riski ile ters orantılı olduğu ve daha fazla LA almanın insülin direncini iyileştirdiği bildirilmiştir (Hu ve ark., 2001). LA, seramidlerin temel bir bileşeni olduğu için cildin yapısal bütünlüğü ve bariyer işlevinde özel ve benzersiz bir role sahiptir (Djuricic & Calder, 2021). Çift bağlı tekli doymamış yağ asidi olan oleik asit (18:1), organizmada yaygın şekilde kullanılan ancak esansiyel olmayan bir yağ asididir. Oleik asidin diğer tekli doymamış yağ asitlerine göre avantajı

oksidasyona karşı direnç göstermesidir (Konukoğlu, 2008). Omega-3 yağ asitlerinin, hücre zarlarının temel bileşenleri olan fosfolipitleri oluşturmaya yardımcı olduğu rapor edilmektedir (Alonso-Calderón ve ark., 2013). Tıbbi ve epidemiyolojik çalışmalar, ω -3 yağ asitleri açısından zengin lipidlerin tüketilmesinin koroner kalp hastalıklarına yakalanma riskini azalttığını göstermişlerdir (Alonso-Calderón ve ark., 2013).

Palmitik asit, vajinal inflamatuvar atrofi, cilt hiperpigmentasyonu veya yaralar, enfeksiyonlar gibi cilt ve mukus bozuklukları üzerinde belirgin bir klinik uygulamaya sahiptir. Ek olarak, hiperkolesterolemi, diyabet ve karaciğer fonksiyon bozukluğunda başka farklı olumlu etkileri de gösterilmiştir (Solà Marsiñach & Cuenca, 2019). Alıç meyveleri, yapısında barındırdığı yağ asidi, steroller vb. kimyasallar nedeniyle antioksidan ve antikanserojenik potansiyelleri ve dejeneratif bozuklukları önleme veya iyileştirme yetenekleri nedeniyle bilimsel çalışmalarda giderek ilgi odağı haline gelmektedir (Chang ve ark., 2002; Orhan ve ark., 2007).

3.2. XRD analizi

Şekil 1.a ve 1.b'de alıç tohumunun kabuk ve iç çekirdek XRD sonuçları verilmiştir.



Şekil 1. Alıç tohumunun kabuk (a) ve iç çekirdek (b) XRD sonuçları

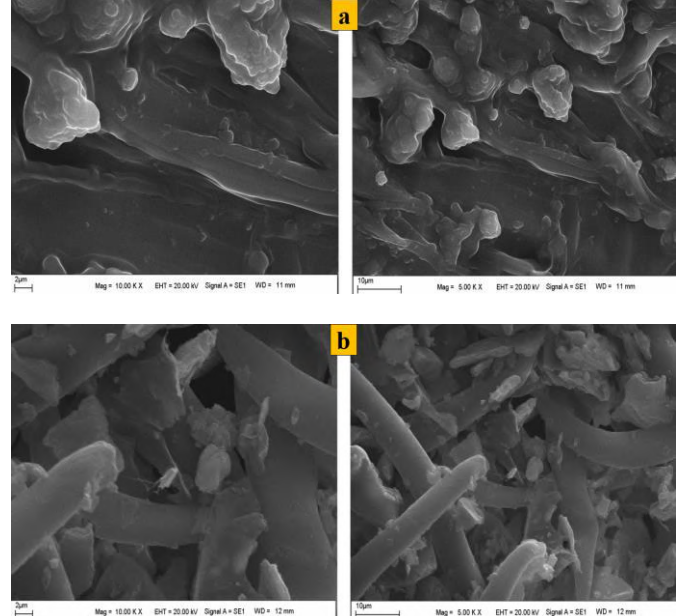
(Figure 1. XRD results of the shell (a) and inner seed (b) of the hawthorn fruit seed)

Alıç tohum kabuğunun XRD spektrumu incelendiğinde yapının hem amorf hem de kristal yapılar içerdiği görülmektedir. Sert kabuklu çekirdeklerin selüloz, hemiselüloz ve lignin içerdiği ve bu yapıda kristal ve amorf birimlerin varlığı bilinmektedir (Ferrer ve ark., 2016). Biyokütle yapısında selüloz, hemiselüloz ve lignin birimleri arasındaki hem amorf hem de kristalin bölgeler, tüm yapının mekanik mukavemeti ile biyolojik ve kimyasal direncinde önemlidir. Bu tür sert kabuklu meyve tohumlarının iç tohumlarının her koşulda binlerce yıl bozulmadan kalmasını sağlayan birincil parametre selüloz, hemiselüloz ve ligninin oluşturduğu yapıdır. İç çekirdeğin XRD

spektrumu incelendiğinde öncelikle amorf olmasına rağmen kabuk kadar olmasa da kristal birimler içerdiği görülmektedir. İç çekirdek yapısının yağ, protein, karbonhidrat ve külden oluştuğu düşünülürse bu yapı beklenmektedir (Ouilly ve ark., 2017).

3.3. SEM morfolojisi

Şekil 2.a ve 2.b'de alıç tohumunun kabuk ve iç tohumunun SEM morfolojileri gösterilmiştir.

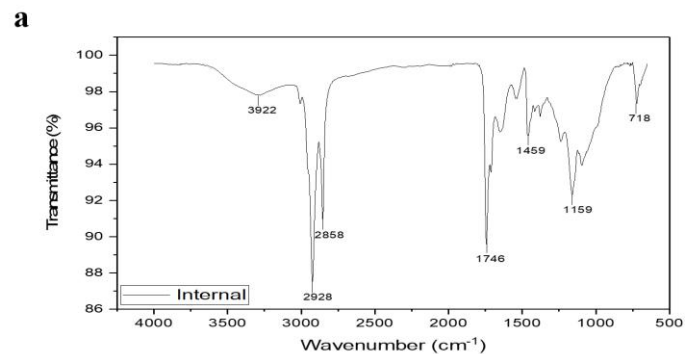


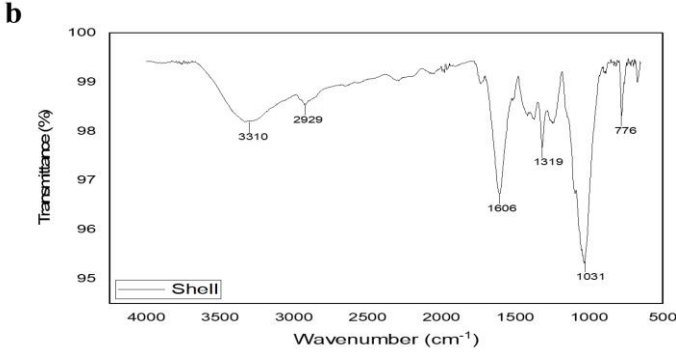
Şekil 2. a) Alıç tohumu iç çekirdeğinin SEM görüntüsü, b) Alıç tohumu kabuğunun SEM görüntüsü
(Figure 2. a) SEM image of hawthorn inner core, b) SEM image of hawthorn seed kernel)

Tohum iç çekirdek kısmının SEM görüntüleri incelendiğinde yağ hücrelerinin yanında protein ve karbonhidrat birimleri görülmektedir. Yağ hücrelerinin farklı boyutlarda olduğu ve dağılımlarının homojen olmadığı gözlenmektedir. Kabuk SEM görüntüsünde ana yapıya ait olan selüloz, hemiselüloz ve ligninin yapısal birimleri gözler önüne serilmektedir. Selülozik birimlerin lif şeklinde olduğu, diğer takımların rastgele dağıldığı gözlenmektedir.

3.4. FT-IR analizi

Şekil 3.a ve 3.b'de alıç tohumunun iç çekirdek ve kabuk FT-IR sonuçları verilmiştir.





Şekil 3. Alıç meyvesi tohumunun iç çekirdek (a) ve kabuk (b) FT-IR sonuçları

(Figure 3. FT-IR results of the inner seed (a) and shell (b) of the hawthorn fruit seed)

Kabuk ve yağlı iç çekirdek için FT-IR spektrumları incelendiğinde, kabuk için 3100-3500 cm^{-1} aralığı, geniş ve düz tepe selülozik (selüloz, lignin ve odunsu yapılar) yapılarıdaki O-H gerilmelerine ait iken 2980-2929 cm^{-1} bölgesindeki konsantrasyona bağlı üçlü keskin yükselmeler simetrik ve asimetrik CH ve CH₂ gerilmelerine ve 1607 cm^{-1} 'deki tepe ise lignin yapısında bulunan aromatik halkadaki C=C titreşimine aittir. 1320 cm^{-1} piki, selüloz yapısındaki -OH düzlemi bükülmesine ve selüloz ve hemiselülozun C-H gerilmesine aittir. 1033 cm^{-1} 'deki geniş ve geniş tepe, selüloz ve hemiselülozdaki C-O streslerini göstermektedir. Yağlı iç çekirdeğin FT-IR spektrumu incelendiğinde 3100-3500 cm^{-1} aralığındaki düz tepe su yapısındaki OH stresleri ile protein ve karbonhidratlara dairdir. 2854, 2927 ve 2980 cm^{-1} üçlü tepe noktaları simetrik ve asimetrik CH ve CH₂ gerilmeleri ile ilişkilidir. 1742 cm^{-1} 'lik keskin tepe, karboksilik asit yapısındaki C=O titreşimine ait spesifik bir tepe noktasıdır. 1461 cm^{-1} tepe noktası karbonhidratlardaki C-H eğilme stresidir. 1159 cm^{-1} tepe noktası, selüloz ve hemiselüloz yapılarındaki C-O-C asimetrik köprü gerilimidir. 1090 cm^{-1} 'deki tepe, inorganik M-O ve M-O-M gerilmelerine aittir.

3.5. Element analizi

Tablo 3'te alıç tohumunun kabuk ve iç çekirdek kısımlarının elementel analiz sonuçları verilmektedir. Alıç tohumunun kabuk ve iç çekirdek kısımlarının elementel analiz sonuçları incelendiğinde, kabuk kısmı tipik selüloz, hemiselüloz ve lignin yapısına sahip olup iç çekirdek yapısındaki yüksek nitrojen protein içeriği ile uyumludur.

Tablo 3. Alıç meyve çekirdeğinin kabuk ve iç çekirdek kısımlarının elementel analiz sonuçları

(Table 3. The elemental analysis results of the shell and inner core parts of the hawthorn fruit seed)

Örnek	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)	O(%)*
Kabuk	41,74	5,56	0,45	0,09	51,15
İç çekirdek	51,76	8,08	5,37	0,42	34,43

*Farklardan hesaplanmıştır.

4. Sonuç

Endüstriyel olarak üretilen biyokütle atıklarının ekonomiye kazandırılması günümüzde önem kazanmıştır. Gıda endüstrisinde önemli bir yere sahip olan alıç, doğrudan meyve olarak tüketilmekle birlikte alıç bitkisi, meyve olarak endüstriyel bir ürün olmaya adaydır. Bu çalışmada doğrudan gıda olarak tüketilen alıç tohumlarının, meyve et kısmı uzaklaştırıldıktan sonra kalan tohumları üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece tüketim sonrası atık olarak değerlendirilen meyve tohumlarının yağ asidi bileşimleri ve kimyasal kullanım açısından yağ asitlerinin miktarları belirlenmiştir. Sert kabuklu meyve tohumları ile karşılaştırıldığında, iç çekirdek veriminin nispeten düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak iç çekirdek, yağ oranı, kül miktarı ve mineraller açısından zengindir. Dış kabuk, karbonlaştırılmış bir ürün olup önemli ölçüde aktifleştirilmiş karbon olarak değerlendirilebilir. Alıç tohum yağı, insan sağlığı ile güçlü bir ilişkisi olan yağ asitleri açısından çok zengindir ve bu nedenle insan sağlığı ile ilgili çeşitli faaliyetlerde önemli bir rol oynayabilir. Alıç tohum yağının, yağ asitlerinin çeşitliliği ve omega-3 ve omega-6 yağ asitleri grup bileşimi nedeniyle özellikle kalp sağlığı için iyi bir ürün olduğu sonucuna varmak mümkündür.

5. Teşekkür

Sunulan bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Kurulu'ndan (BAP Proje Numarası FDK-2019-1994) alınan maddi destekle gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- AACC. (2000). American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC (8th ed.). St. Paul, MN: The Associations.
- Alonso-Calderón, A., Chávez-Bravo, E., Rivera, A., Montalvo-Paquini, C., Arroyo-Tapia, R., Monterrosas-Santamaria, M., ... & Tapia-Hernández, A. (2013). Characterization of black chia seed (*Salvia hispanica* L.) and oil and quantification of β -sitosterol. *International Research Journal of Biological Sciences*, 2(1), 70-72.
- Anwar, F., Przybylski, R., Rudzinska, M., Gruczynska, E., & Bain, J. (2008). Fatty acid, tocopherol and sterol compositions of Canadian prairie fruit seed lipids. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(10), 953-959. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1276-0>
- AOCS (1989). American Oil Chemists' Society. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists'.
- Bayar, E., & Deligöz, A. (2016). Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.) fidanlarının morfolojisi ve kök gelişme potansiyeli üzerinde yetiştirme sıklığının etkisi. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi*, 17(1), 7-11. <https://doi.org/10.18182/tjf.45691>
- Can, Ö. D., Özkay, Ü. D., Öztürk, N., & Öztürk, Y. (2010). Effects of hawthorn seed and pulp extracts on the central nervous system. *Pharmaceutical Biology*, 48(8), 924-931. <https://doi.org/10.3109/13880200903305500>
- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F., Sing, M., & Chow, S. (2002).

- Qi Chang, PhD, Zhong Zuo, PhD, Francisco Harrison, MD, and Moses Sing Sum Chow, PharmD. 605–612.
- Çalışkan, O., Gündüz, K., Serçe, S., Toplu, C., Kamiloglu, Ö., Sengül, M., & Ercisli, S. (2012). Phytochemical characterization of several hawthorn (*Crataegus* spp.) species sampled from the Eastern Mediterranean region of Turkey. *Pharmacognosy Magazine*, 8(29), 16–21. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.93305>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Ferrer, A., Alciaturi, C., Faneite, A., & Rios, J. (2016). Analyses of biomass fibers by XRD, FT-IR, and NIR. In *Analytical Techniques and Methods for Biomass* (pp. 45-83). Springer, Cham.
- Hu, F. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Colditz, G., Liu, S., Solomon, C. G., & Willett, W. C. (2001). Diet, lifestyle, and the risk of type 2 diabetes mellitus in women. *New England journal of medicine*, 345(11), 790-797.
- Konukoğlu, D. (2008). Omega-3 ve omega-6 yağ asitlerinin özellikleri ve kardiyovasküler hastalıklarla ilişkileri. *Türk Aile Hek. Derg.*, 13(3), 121–129. <https://doi.org/10.2399/tahd.08.121>
- Løvik, M., Marchelli, R., Martin, A., Moseley, B., Berg, H. Van Den, Loveren, H. Van, & Verhagen, H. (2008). ALA and LA and growth and development of children - Scientific substantiation of a health claim related to α -linolenic acid and linoleic acid and growth and development of children pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006 - Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. *EFSA Journal*, 6(8), 1–9. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.783>
- Maillard, V., Bougnoux, P., Ferrari, P., Jourdan, M. L., Pinault, M., Lavillonnire, F., Body, G., Le Floch, O., & Chajès, V. (2002). n-3 and n-6 fatty acids in breast adipose tissue and relative risk of breast cancer in a case-control study in tours, France. *International Journal of Cancer*, 98(1), 78–83. <https://doi.org/10.1002/ijc.10130>
- Niu, Z., Yan, M., Zhao, X., Jin, H., & Gong, Y. (2020). Effect of hawthorn seed extract on the gastrointestinal function of rats with diabetic gastroparesis. *South African Journal of Botany*, 130, 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.032>
- Orhan, I., Özçelik, B., Kartal, M., Özdeveci, B., & Duman, H. (2007). HPLC quantification of vitexine-2"-O-rhamnoside and hyperoside in three *Crataegus* species and their antimicrobial and antiviral activities. *Chromatographia*, 66, 153–157. <https://doi.org/10.1365/s10337-007-0283-x>
- Ouilly, J. T., Bazongo, P., Bougma, A., Kaboré, N., Lykke, A. M., Ouédraogo, A., & Bassolé, I. H. N. (2017). Chemical composition, physicochemical characteristics, and nutritional value of *Lannea kerstingii* Seeds and Seed Oil. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, <https://doi.org/10.1155/2017/2840718>
- Özcan, M., Haciseferoğullari, H., Marakoğlu, T., & Arslan, D. (2005). Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: Some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 409–413. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.032>
- Özderin, S., Fakir, H., & Dönmez, E. (2016). Chemical properties of hawthorn (*Crataegus* L. spp.) Taxa naturally distributed in western Anatolia part of Turkey kemijska svojstva svojiti gloga (*Crataegus* L. spp.). *Šumarski list*, 140(7-8), 369-375.
- Pan, G., Yu, G., Zhu, C., & Qiao, J. (2012). Optimization of ultrasound-assisted extraction (UAE) of flavonoids compounds (FC) from hawthorn seed (HS). *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 486–490. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.11.006>
- Parry, J., Su, L., Luther, M., Zhou, K., Peter Yurawecz, M., Whittaker, P., & Yu, L. (2005). Fatty acid composition and antioxidant properties of cold-pressed marionberry, boysenberry, red raspberry, and blueberry seed oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(3), 566–573. <https://doi.org/10.1021/jf048615t>
- Peng, Y., Lou, L. L., Liu, S. F., Zhou, L., Huang, X. X., & Song, S. J. (2016). Antioxidant and anti-inflammatory neolignans from the seeds of hawthorn. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 26(22), 5501–5506. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.10.012>
- Sacks, F. M., & Campos, H. (2006). Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and cardiovascular disease: Time to widen our view of the mechanisms. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 91(2), 398–400. <https://doi.org/10.1210/jc.2005-2459>
- Solà Marsiñach, M., & Cuenca, A. P. (2019). The impact of sea buckthorn oil fatty acids on human health. *Lipids in Health and Disease*, 18(1), 1-11.
- Uzdil, Z., & Saka, M. (2020). Yağ Asitlerinin İnflamasyonla İlişkili Süreçlere Etkisinin Değerlendirilmesi. *Journal of Nutrition and Dietetics*, 48(2), 1–7. <https://doi.org/10.33076/2020.bdd.1359>
- Zhang, Z., Chang, Q., Zhu, M., Huang, Y., Ho, W. K. K., & Chen, Z. Y. (2001). Characterization of antioxidants present in hawthorn fruits. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 12(3), 144–152. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(00\)00137-6](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(00)00137-6)



Nükleer Tıp Öğrencilerinin Radyasyon Okur-Yazarlığının Değerlendirilmesi

Mucize Sarıhan^{1*}

^{1*} İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8013-7370), mucizesarihan1997@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 9 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1114547)

ATIF/REFERENCE: Sarıhan, M. (2022). Nükleer Tıp Öğrencilerinin Radyasyon Okur-Yazarlığının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 85-91.

Öz

Bu çalışmada SHMYO Nükleer Tıp öğrencilerinin uygulamada kullanılan radyofarmasötikler ve çalışma ilkeleri üzerine bilgi düzeylerinin incelenmesiyle ilgili olarak nükleer tıp okur yazarlığı algısına dönük olan düşünceler incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma nitel yöntemle yürütülmüştür. Araştırma sonucunda, nükleer tıp öğrencilerinin, radyoaktivite konusunda bilgilerinin olduğu görülmektedir. Öğrencilerin hem kişisel hem de kurumsal tedbirleri bildikleri ve gerekli kurallara riayet etmektedir. Tüm öğrencilerin Pet CT uygulamasının özelliğinde Flor 18 yüksek aktivite olduğu ve Galyum 68 yüksek doz olduğu için özel hazırlanması gerektiğini ifade ettikleri bu yüzden kurşun yeleğin ağır ve işe yaramadığını onun yerine hızlı hareket konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Tüm öğrencilerin Myocard ve kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalıştığı konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Ancak sadece 3 öğrenci dikkat edilmesi gereken kriter hakkında kurşun yelek giyilmesini, diğer geri kalan çoğunluğun (10 öğrenci) bu konuda bilgi sahibi olmadığı görülmektedir. Radyasyonla yapılan tedavilerde hasta ve yakınlarına, öğrencilerin farklı önerileri olduğu görülmektedir. En önemli öneri ise ayrı odada kalmaları, ayrı WC kullanmaları, ayrı yemek yemeleri ve toplu taşıma kullanmamaları olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Tıp, Radyasyon okuryazarlığı, Radyasyon güvenliği

Evaluation of Radiation Literacy of Nuclear Medicine Students

Abstract

In this study, it is aimed to examine the thoughts about nuclear medicine literacy perception regarding the examination of the knowledge level of Nuclear Medicine Students on radiopharmaceuticals used in practice and their working principles. The research was carried out with the qualitative method. As a result of the research, it is seen that nuclear medicine students have knowledge about radioactivity. Students are aware of both personal and institutional precautions and comply with the necessary rules. All students stated that it should be specially prepared because the feature of Pet CT application is Fluor 18 has high activity and Gallium 68 is high dose. It is seen that all students agree that Myocard and bone scintigraphy work with high activity. However, it is seen that only 3 students wear lead vests about the criteria to be considered, and the remaining majority (10 students) do not have knowledge about this issue. It is seen that students and their relatives have different suggestions for treatments with radiation. It is seen that the most important recommendation is to stay in a separate room, use separate WC, eat separately and not use public transportation.

Keywords: Nuclear Medicine, Radiation Literacy, Radiation Safety

1. Giriş

Nükleer ve radyasyon teknolojisi, bir ülkenin sosyo-ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynamaktadır. Tıp, endüstri, tarım, güvenlik ve araştırma alanlarında radyasyon ve nükleer teknolojinin gelişmekte olan uygulamalarına sahip bir ülke olarak Türkiye, gelecekteki olası çabalara öncülük edecek öğrenciler arasında radyasyon okuryazarlığını artırma konusunda ulusal bir gereksinime sahiptir. Ülkenin radyasyon güvenliği ve güvenlik gereksinimlerini karşılarken, üniversite programlarında insan kaynakları geliştirme adına örgün eğitim verilmektedir (Palacı, 2018). Programların amacı, yetişmiş insan kaynağı eksikliği giderilerek, niteliğin artırılması amaçlanmaktadır.

Tıbbi radyasyon bilimi (MRS) uygulaması, tıbbi ve cerrahi patolojik durumların teşhisi, tedavisi ve takibinde eser miktarda radyonüklid ve iyonlaştırıcı radyasyon enerjisinin uygulanmasını içermektedir (Cherry, Sorenson, & Phelps, 2012; Gunay vd., 2019). Elektromanyetik radyasyonun kullanımında tanısal radyoloji ve klinik radyasyon tedavisi olmak üzere iki başlıca tıbbi radyasyon alt bölüm bulunmaktadır. Yapay radyonüklidlerin keşfi, nükleer tıbbin (NM) gelişmesine yol açmıştır (Adefuy, Adeola, More, & Mohamed, 2020; Gunay vd., 2019). Temel biçiminde, NM uygulaması, radyofarmasötiklerin enjeksiyonunu içermektedir. Tanı amacıyla vücuda gama ışını yayan veya pozitron yayan radyonüklid ile ifade edilen bileşiklerdir. Bu farmasötikler ayrıca çeşitli iyi huylu ve kötü huylu koşullarda hedeflenen radyonüklid tedavisi için alfa veya beta yayan radyoizotoplarla ifade edilmektedir. Nükleer tıp, hastalık yönetiminin hem tanısal hem de terapötik yönlerini kapsamakta ve bu nedenle diğer klinik tıbbi ilaçlardan farklı olmaktadır. NM'nin hastalık durumlarının tanısında kullanılması, morfoloji ve anatomideki değişikliklerden ziyade biyolojik ve fizyolojik süreçlerdeki değişiklikleri tespit etme yeteneğinde bulunmaktadır (Györke, Duffek, & Bártfai, 2000).

Çok sayıda çalışma, pratisyen hekimler ve mezun tıp öğrencileri arasında yüksek düzeyde görüntüleme okuryazarlığının olmadığını bildirmiştir (Dauda, Ozoh, & Towobola, 2019). Bu, hasta sevkinin olmaması, düşük kalite ve yetersiz sevk, rutin görüntüleme için radyasyon dozlarının yetersiz bilgisi ile ilişkilendirilmiştir.

NT görüntüleme prosedürlerinin yaygın klinik kullanımı 1950'lerin başında başladı. Teşhis araçları olarak kullanılan nükleer tıp teknikleri arasında radyoaktif iyot taramaları (veya ^{99m}Tc perteknetat taraması); oktreotid taramaları; endokrinopatiler için metaiyodo-benzil-guanidin (MIBG) ve paratiroid görüntüleme. 2-[^{18}F] floro-2-deoksiglukoz (^{18}F -FDG) kullanan pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi görüntüleme de gelişmiştir ve onkolojik, enfektif, vasküler ve nörodejeneratif bozukluklarda kullanılmaktadır (Boellaard, Delgado-Bolton, & Oyen, 2015). Kullanılan diğer PET farmasötikleri arasında [^{68}Ga] bulunmaktadır. DOTA-NOC, nöroendokrin tümörlerde somatostatin reseptör görüntüleme, ^{68}Ga Prostat Spesifik Membran Antijeni (PSMA), prostat kanserinde ve ^{18}F -Dihidroksifenilalanin (DOPA), motor bozukluklarda, nöroendokrin tümörlerde (NET) dopaminerjik yolların görüntülenmesinde ve konjenital hiperinsülinizm kullanılmaktadır (Chondrogiannis, Marzola, & Al-Nahhas, 2013).

e-ISSN: 2148-2683

NT görüntüleme prosedürleri bu nedenle çoğu tıbbi uzmanlıkta hasta bakımının önemli bir parçasıdır (Brink, 2013; Gunay ve Abamor, 2018)). Daha yakın zamanlarda, peptid reseptör radyonüklid tedavisinin (PRRT) ortaya çıkmasıyla birlikte, tedavide Lutesyum 177(^{177}Lu) gibi beta yayıcılara bağlı radyofarmasötikler nöroendokrin tümörler çok fazla çekiş kazanmıştır. Bununla birlikte, klinik tıpta iyonlaştırıcı radyasyonun tanısal ve terapötik uygulamasının, ALARA (makul olarak elde edilebilecek kadar düşük) ilkesine göre güvenli bir sınır içinde tutulmalıdır (Ostensen, ve diğerleri, 2004). Bu nedenle, kendilerini radyasyon güvenliği konusunda güncel ve uygun bilgilerle donatmak tüm sağlık hizmeti sağlayıcılarının sorumluluğundadır.

Yıllar içinde, klinik tıp ve cerrahi uygulamaları, tanısal testlere olan güvenin artmasıyla çarpıcı biçimde değişti. Gelişmiş radyolojik görüntüleme tekniklerinin (nükleer tıp dahil) mevcut çağı, artan bir taleple radyasyon tıbbını modern tıbbın ön saflarına yerleştirdi. Bu nedenle, tıp pratisyenlerine, tıp uzmanlarına ve tıp öğrencilerine klinik görüntüleme prosedürlerine ilişkin temel bir bilgi ve anlayış sağlanması esastır. Tıp pratisyenleri, hasta sonuçlarını iyileştirmede kullanımlarını optimize etmek için bu teknolojilerin değerlerini, prosedürlerini, endikasyonlarını, faydalarını ve ayrıca kontrendikasyonlarını ve mali sonuçlarını anlamalıdır (Pascual, Chhem, Wang, & Vujnovic, 2011). Radyolojik görüntüleme önemli değişikliklere uğramış olsa da bu değişiklikler hala tıp fakültesi lisans müfredatına tam olarak dahil edilmemiş ve uygulanmamıştır. Radyolojik ve NM eğitimi, tıp fakültesi müfredatında "temel" bir konu değil, klinik modalitelere ek veya yardımcı bir konu olarak kabul edilmektedir. 77 Avrupa ülkesinden oluşan bir çalışmada, Lass ve Scheffler, lisans eğitiminin klinik modüllerden birine entegre edildiği ve bazı durumlarda klinik fizyolojide sunulduğu, ülkeler arasında nükleer tıp lisans öğretiminde yüksek düzeyde farklılıklar olduğunu bildirmiştir (Lass & Scheffler, 2003). Benzer şekilde, Avrupa Radyoloji Derneği (ESR) tarafından ESR Eğitim Komitesininin 38 ulusal delegesine dağıtılan lisans eğitimi üzerine bir elektronik anketi kullanarak, Kourdioukova ve diğerleri müfredat içeriği ve öğretim yöntemlerinde çok sayıda farklılık olduğunu ortaya çıkarmıştır (Kourdioukova, Valcke, Derese, & Verstraete, 2011). Ayrıca, Moloney ve arkadaşları, tıp öğrencilerinin ABD'deki son tıp yılı boyunca radyolojik araştırma talep etme bilgilerinde minimal bir gelişme olduğunu bildirmiştir ve bu, klinik ortamda nispeten kısa bir öğrenme süresine bağlanmıştır (Moloney, ve diğerleri, 2017). Moloney ve meslektaşları ayrıca, eğitim ve uygunluğa verilen önemin radyoloji hizmetlerinin kullanımında bir gelişme sağlayabileceğini ve hasta bakımını iyileştirebileceğini önermişlerdir.

Bu araştırmanın amacı Sağlık hizmetleri meslek yüksek okulu Nükleer Tıp programına kayıtlı önlisans öğrencilerinin uygulamada kullanılan radyofarmasötikler ve çalışma ilkeleri üzerine bilgi düzeylerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla farklı hastanelerde nükleer tıp ve pet ct ünitelerinde staj yapan öğrencilerin radyasyon okur-yazarlığının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki sorulara cevap aranacaktır:

1. Staj yaptığınız klinikte en sık kullandığınız radyoaktivite hakkındaki görüşünüz nedir?

2.Uygulama yaptığımız klinikte radyasyondan korunma ile ilgili alınan tedbirler hakkında düşünceniz nedir?

3. PET-BT de uygulanan radyofarmasötiklerle çalışırken nelere dikkat ediyorsunuz?

4. Yüksek dozla çalışılan radyofarmasötikler hangileri? Dikkat edilen kriterler nelerdir?

5. Radyasyonla yapılan tedavilerde hasta ve yakınlarına

2. Materyal ve Metot

Araştırmada nitel araştırma tekniğinden yararlanılmıştır. Çalışmada amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bazı durumlarda örnekleme evrenin özellikleri hakkındaki bilgiye dayanılarak ve araştırmanın amacına göre seçilir. Bu tip örnekleme amaçsal örnekleme adı verilir (Turhanoglu-Koçak, Suğur, Gönç-Şavran, & Çetin, 2013, s. 156). Amaçlı örneklemede örnekleme seçilen kişilerin ya da objelerin araştırmacının amaçlarına en uygun yanıtı verebilecek birey ve objeler arasından seçilmesi amaçlanır. Amaçlı çalışma grubuna seçim kriteri olarak, palyatif bakım verenlerden araştırmaya gönüllü katılmak istemeleri dikkate alınmıştır. Çalışma grubuna 6 devlet, 3 Özel, 2 vakıf hastanesi ve 1 görüntüleme merkezinde olmak üzere toplamda 13 kişiden oluşmaktadır. Araştırmaya katılanların 12'si (% 92) erkek ve 1'i (% 8) kadındır.

Çalışmada veri toplama yöntemi olarak yarı yapılandırılmış görüşme tekniğinden yararlanılmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşmede görüşme formunun yarısı yapılandırılmış yarısı yapılandırılmamış bir biçimde hazırlanır. Görüşmecinin görüşme esnasında vereceği tepkilere dayalı olarak açık uçlu görüşme formu esnek bir biçimde hazırlanmış olur (Aypay, ve diğerleri, 2014, s. 151). Katılımcılardan elde edilen veriler yarı yapılandırılmış formlara yazılı olarak alınmıştır. Her bir veri formuna numara verilmiştir.

Nitel araştırmada geçerlilik ve güvenilirliği temin etmek için şeffaf bir prosedür oluşturmak (bir başka araştırmacının ne yapıldığını bilmesi ve kontrol edebilmesi), ifade edilebilir olmak

(hem katılımcılar hem de onları kullanmak isteyen diğer araştırmacılar için kategoriler oluşturmak) ve tutarlılık (kategoriler eş zamanlı olarak tutarlı olmalı ve bireysel farklılıkları ve kültürdeki gerçek tutarsızlıkları yansıtmalı) gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır (Rubin & Rubin, 1995). Kullanılan görüşme formunun geçerliliğini temin etmek için alanında uzman altı öğretim üyesinin görüşlerinden faydalanılmış ve öğretim üyelerinin görüşleri dikkate alınarak yarı yapılandırılmış görüşme formu oluşturulmuştur. Pilot uygulamalar yapıldıktan sonra alınan tüm bu sonuçlara göre görüşme formları uygulama için uygun hâle getirilmiştir. Nükleer Tıp Öğrencileri ile yapılan görüşmelerde veri toplamak için araştırmanın amacının ve nasıl yürütüleceğinin açık bir şekilde belirtildiği yazılı görüşme formu kullanılmış olup uygulamalar yaklaşık 30-35 dakika almıştır. Araştırmaya 15 Nükleer Tıp Öğrencisi katılmış olup bunlar arasından 13'ünden elde edilen veriler değerlendirmeye alınmıştır. Katılımcıların kimliklerinin saklı kalacağı önemle vurgulanmıştır

Verilerin analizinde içerik analizi tekniği kullanılmıştır. İçerik analizi uygulanırken göz önünde bulundurulması gereken prensiplerden biri analiz kategorilerinin açık ve kesin bir şekilde belirtilmesidir. Kodlama yapılırken araştırmanın amacı ve görüşme soruları dikkate alınmıştır (Creswell, 2013, s. 232). Bu çalışmada ilgili literatür göz önünde bulundurularak elde edilen görüşler ışığında, katılımcıların Radyoaktivite Bilgi Durumu, Radyasyon Korunma Tedbirleri, Pet CT'de Korunma Önlemi, Yüksek Doz Kriteri ve Hasta ve Yakınlara Öneriler olmak üzere 5 tema belirlenmiştir. Daha sonra bu temalar kategorilere ayrılmış, bu kategoriler ile ilgili katılımcı görüşlerine tablolarda yer verilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Nükleer Tıp Öğrencilerin kendi görüşlerinden elde edilen verilere göre 5 tema belirlenmiştir (Radyoaktivite Bilgi Durumu, Radyasyon Korunma Tedbirleri, Pet CT Önlemi, Yüksek Doz Kriteri ve Hasta ve Yakınlara Öneriler). Bu beş tema daha sonra kategorilere ayrılmıştır. Her bir kategori ile ilgili görüşlere yer verilmiştir. Temalar, temalarla ilgili kategoriler, kategorilere ilişkin görüş bildiren bakımverenlerin örnek görüşleri, tablo 1 de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Radyoaktivite Bilgi Durumu Teması, kategoriler ve örnek görüşler (Table 1. Radioactivity Facts Theme, categories and sample comments)

Temalar	Kategori	Örnek Görüşler
Radyoaktivite Bilgi Durumu	Tc 99	“Tc 99 jeneratör her hafta geliyor. Kullanımı kolay görüntüsü iyi olduğu için en çok tercih edilen radyoaktivite....” (Ö11) “Tc 99 yarı hazır radyoaktivite kullanılıyor. Hem ucuz hem görüntü kalitesi yüksek” (Ö13) “En çok kullanılan radyoaktif madde Tecnesium 99 kullanılıyor. Görüntüleme net olduğu için tercih edildiğini düşünüyorum. Devlet hastanesinde Tc99 tercih ediliyor.” (Ö1) “Nükleer tıpta Tc 99 kullanılıyor. yarılanma ömrü en kısa radyoaktif madde... kullanımı kolay,ucuz ve görüntü kalitesi yüksek” (Ö5)
	Pet Ct	“Pet Ct'de uygulama yapıyorum. En fazla flor 18 kullanıyoruz. Haftada 1 veya 2 kez galyum 68 kullanılıyor.” (Ö2) “Pet Ct'de uygulama yapıyorum. En fazla flor 18 kullanıyoruz. Nükleer tıpta Tc 99 kullanılıyor. Muhtemelen diğer radyoaktif maddelere göre daha ucuz...görüntülemesinde iyi” (Ö3)

Radyoaktivite Bilgi Durumu Teması içerisinde “Tc 99” ve “Pet Ct” alt temaları yer almaktadır.

Devlet, özel hastaneler ile görüntüleme merkezindeki tıp öğrencileri; en çok kullanılan radyoaktif madde Tecnesium 99 kullanıldığını belirtmektedir. Bunun nedeni olarak da görüntüleme net olduğu için tercih edildiğini ifade etmektedirler. Diğer yandan devlet hastanelerinde Tc99 ikiside aynı radyonüklid tercih edildiğini ifade ediyorlar (Ö1, Ö4, Ö5, Ö6,

Ö10) ve genel olarak memnun olduklarını ve kullanımının kolay olduğunu belirten (Ö11) nükleer tıp teknikerleri öğrencileridir. Diğer bir ifade ile dikkate değer cevaplar memnuniyet yönünde olduğudur. Vakıf hastanelerinde ise Pet Ct ile işlem yapıldığını belirten (Ö2, Ö3) nükleer tıp teknikerleri öğrencileridir. Genel olarak tüm öğrencilerin uygulama yaptıkları, Radyoaktivite konusunda bilgilerinin olduğu görülmektedir. Radyasyon Korunma Tedbirleri Teması içerisinde “Kurumsal Tedbir” ve “Kişisel Tedbir” alt temaları yer almaktadır.

Tablo 2 . Radyasyon Korunma Tedbirleri Teması, kategoriler ve örnek görüşler (Table 2. Radiation Protection Measures Theme, categories and sample comments)

Temalar	Kategori)	Örnek Görüşler
Radyasyon Korunma Tedbirleri	Kurumsal Tedbir	“Dozimetreler düzgün takip ediliyor. Radyasyonla ilgili uyarıcı tabelalar var. Hamileler için...bir de havalandırmalar çalışıyor sürekli” (Ö1) “Kurşun kaplı kabin, koruyucu ekipmanlar yeteri sayıda var” (Ö3) “Fiziksel tedbirler duvar ve kapıların kurşun olması, havalandırma olması, nem ölçer olması.” (Ö8) “fiziksel tedbirler duvar ve kapıların kurşun olması, havalandırma olması, nem ölçer olması” (Ö9)
	Kişisel Tedbir	“kişisel korunma önlemi çalışanların aldığı önlemler kurşun yelek, troid koruyucu v.s dikkat kullanımı, zaman mesafe zırlama korunma önlemlerinin alınması gibi” (Ö7) kişisel korunma önlemi çalışanların aldığı önlemler kurşun yelek, troid koruyucuların kullanılması kullanımı, zaman mesafeye dikkat edilmesi” (Ö8) “kurşun yelek, troid koruyucu v.s dikkat kullanımı, zaman mesafe zırlama korunma önlemlerinin alınması gibi. Alara prensibine uygun çalışılması” (Ö9) “Kişisel önlem olarak koruyucu önlükler ve troid koruyucuar kullanılıyor. Zaman mesafe ve zırlama önlemlerinin yanısıra <u>ALARA prensibine</u> dikkat ediliyor” (Ö12)

Tıp öğrencileri; Nükleer tıp teknikleri öğrencileri; en çok kurumsal tedbirler konusunda ağırlıklı olarak duvar ve kapıların kurşun olması, havalandırma olması, nem ölçer olmasını belirtmişlerdir (Ö1, Ö3, Ö8, Ö9, Ö7) kişisel tedbir olarak ise kurşun yelek, troid koruyucu v.s dikkat kullanımı, zaman mesafe zırlama korunma önlemlerinin alınmasının yanı sıra ALARA prensibine dikkat edilmesini belirtmişlerdir (Ö7, Ö8, Ö9, Ö12). Ancak tedbirler konusuna emin olmadığı belirten öğrencilerin

olması dikkat çekici olmuştur (Ö2, Ö6). Bu öğrenciler vakıf hastanesi ve özel hastanede çalışan kişilerden oluşmaktadır. Genel olarak tüm öğrencilerin hem kişisel hem de kurumsal tedbirleri bildikleri ve gerekli kurallara riayet ettikleri söylenebilir.

Pet CT Önlemi Teması içerisinde “Kurşun Yelek” ve “Zaman ve Mesafe” alt temaları yer almaktadır.

Tablo 3. Pet-CT Önlemi Teması, kategoriler ve örnek görüşler (Table 3. Pet-CT Precaution Theme, categories and sample reviews)

Temalar	Kategori)	Örnek Görüşler
Pet CT Önlemi	Kurşun Yelek	“Pette kullanılan radyofarmasötikler nükleer tıbbı göre daha çok ışın yayıyor. En çok F18 kullanıyoruz. Hastalara hastalığını 511 kv enerji yaydığı için kurşun yelek etkili olmuyor” (Ö1) “Flor 18 yüksek aktivite olduğu için kurşun önlük korumuyor hareket kısıtlılığı yarattığı için giymiyoruz” (Ö3) “511 kev enrjisi olan F18 ile çalıştığımız için kurşun yelek işe yaramıyor o nedenle giymiyoruz.” (Ö7) “511 kev enrjisi olan F18 ile çalıştığımız için kurşun yelek işe yaramıyor o nedenle giymiyoruz” (Ö9)
	Zaman ve Mesafe	“Zaman ve mesafeye dikkat ediyoruz” (Ö1) “Genellikle zaman ve mesafeye dikkat ediyoruz. İlk 1 saat içinde hastadan uzak durmaya çalışıyoruz” (Ö2) “Hızlı hareket etmek gerekiyor. En kısa sürede uygulamak gerekiyor” (Ö3) “Galyum 68 yüksek doz, özel hazırlanması gerekiyor. Zaman ve mesafeye dikkat etmek gerekiyor” (Ö5) “Genellikle zaman ve mesafeye dikkat ediyoruz. İlk 1 saat içinde hastadan uzak durmaya çalışıyoruz” (Ö6)

Tıp öğrencileri; en çok kurşun yelek konusunda hareketlerini yavaşlattığını o yüzden işe yaramadığını ifade ediyorlar. Bunun nedeni olarak ta 511 kev enerjisi olan F18 ile çalıştıklarını beyan ediyorlar (Ö1, Ö3, Ö7, Ö9). Diğer yandan zaman mesafenin önemine vurgu yaparak hızlı hareket edip radyoaktif madde hazırlama ve uygulama işlerini hızlı yaparak süreyi kısaltmamız gerekiyor. O nedenle kurşun yelek hareketimizi yavaşlatıyor. Çekim sırasında hasta ile mesafeye

dikkat ediyoruz ifadelerini kullanmışlardır (Ö1, Ö2, Ö3, Ö5, Ö6). Genel olarak tüm öğrencilerin Pet CT uygulamasının özelliğinde Flor 18 yüksek aktivite olduğu ve Galyum 68 yüksek doz olduğu için özel hazırlanması gerektiğini ifade ettikleri bu yüzden kurşun yeleğin ağır ve işe yaramadığını onun yerine hızlı hareket konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Yüksek Doz Kriteri Teması içerisinde “Myocard sintigrafisi” ve kemik sintigrafisi alt temaları yer almaktadır.

Tablo 4. Yüksek Doz Kriteri Teması, kategoriler ve örnek görüşler (Table 4. High Dose Criteria Theme, categories and sample comments)

Temalar	Kategori ve Görüş Sayısı (N)	Örnek Görüşler
Yüksek Doz Kriteri	Myocard sintigrafisi	“Nükleer tıpta en çok mibi ile myocard sintigrafisi ve” (Ö1) “En yüksek doz myokard sintigrafisi çünkü hem rest hem stres uygulamasında 2 ayrı doz kullanılmaktadır.” (Ö4) “Myokard sintigrafisi yüksek doz.” (Ö6) “En yüksek doz myokard sintigrafisi çünkü iki şekilde uygulama gerekiyor ve dozlar artıyor” (Ö5)
	kemik sintigrafisi	“Kemik sintigrafisi yüksek doz” (Ö10) “Yüksek doz, kemik sintigrafisi” (Ö4) “Kemik sintigrafisi yüksek doz, pet ct de staj yaptığımda ise galyum ve flor 18 yüksek doz” (Ö3) “kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalışılıyor. Bu <u>sintigrafilerde kurşun yeleklerimizi giymemiz oldukça önemli</u> ” (Ö9) “kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalışılıyor. Bu <u>sintigrafilerde kurşun yeleklerimizi giymemiz oldukça önemli</u> ...kemik sintigrafisi de yüksek dozla çalışılıyor hasta fazla ise dahada dikkatli olmak gerekiyor” (Ö7)

Nükleer Tıp teknikleri programı öğrencileri; yüksek doz kriteri temasında en çok Myocard sintigrafisi olduğunu beyan ediyorlar (Ö1, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö13). Diğer yandan kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalışılıyor. Bu sintigrafilerde kurşun yeleklerimizi giymemiz oldukça önemli kriter olduğunu ifade etmişlerdir (Ö7, Ö8, Ö9). Genel olarak tüm öğrencilerin Myocard ve kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalıştığı konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Ancak sadece 3

öğrenci dikkat edilmesi gereken kriter hakkında kurşun yelek giyilmesin, diğer geri kalan çoğunluğun (10 öğrenci) bu konuda bilgi sahibi olmadığı görülmektedir.

Hasta ve Yakınlara Öneriler Teması içerisinde “Odaların Ayrı Olması”, “Farklı WC kullanımı”, “Toplu taşımaya binmemesi” ve “Kurşun Odada Bekletme” alt temaları yer almaktadır.

Tablo 5. Hasta ve Yakınlara Öneriler Teması, kategoriler ve örnek görüşler (Table 5. Recommendations to Patients and Relatives Theme, categories and sample comments)

Temalar	Kategori ve Görüş Sayısı (N)	Örnek Görüşler
Hasta ve Yakınlara Öneriler	Odaların Ayrı Olması	“Hasta yakınlarına ve hastalara odalarının ayrı olması gerektiği” (Ö1) “Hastanın ayrı odalarda tutulması..” (Ö4) “Hastaya yaklaşılmaması ve temas edilmemesi öneriliyor.” (Ö5) “Hastadan uzak durması konusunda uyarılıyor” (Ö6)
	Farklı WC kullanımı	“Mümkünse farklı wc kullanılması önerildi” (Ö1) “10 gün ayrı evde ve ayrı WC kullanılması gerektiği söyleniyor” (Ö4)
	Toplu taşımaya binmemesi	“Tedavi sonrası toplu taşımaya binmemesi ve hamile ve çocuklardan ayrı tutulması gerektiği konusunda bilgilendirme yapılıyor.” (Ö5) “Hasta yakınına toplu taşımaya binmemeleri gerektiği söyleniyor. Halk maruziyeti konusunda bilgilendirme yapılıyor.” (Ö7)
	Kurşun Odada Bekletme	“İyot 131 tedavisi yapılıyor. Hiper troidi tedavileri ayaktan yapılıyor. Uygulama sonrası hasta 30-50 dk kurşun odada bekletiliyor sonrasında evine gönderiliyor.” (Ö7) “Uygulama sonrası hasta 30-50 dk kurşun odada bekletiliyor sonrasında evine gönderiliyor” (Ö9)

Nükleer Tıp teknikleri programı öğrencileri; Hasta ve Yakınlara Öneriler Teması içerisinde Odaların Ayrı Olması gerektiğini (Ö1, Ö4, Ö5, Ö6), Farklı WC kullanımını olması gerektiğini (Ö1, Ö4), Toplu taşımaya binmemesi gerektiğini (Ö5, Ö7 ve Kurşun Odada Bekletilmesi gerektiğini (Ö7, Ö19) ifade etmişlerdir. Genel olarak farklı öğrencilerin hasta ve yakınlarına önerileri olduğu görülmektedir. En önemli öneri ise ayrı odada kalmaları olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Nükleer Tıp Öğrencilerinin uygulamada kullanılan radyofarmasötikler ve çalışma ilkeleri üzerine bilgi düzeylerinin incelenmesiyle ilgili olarak nükleer tıp okur yazarlığı algısına dönük olan düşünceler incelenmeye çalışılmıştır. Buna göre şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Radyoaktivite konusunda bilgilerinin olduğu görülmektedir. Öğrencilerin hem kişisel hem de kurumsal tedbirleri bildikleri ve gerekli kurallara riayet etmektedir. Tüm öğrencilerin Pet CT uygulamasının özelliğinde Flor 18 yüksek aktivite olduğu ve Galyum 68 yüksek doz olduğu için özel hazırlanması gerektiğini ifade ettikleri bu yüzden kurşun yelek ağır ve işe yaramadığını onun yerine hızlı hareket konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Tüm öğrencilerin Myocard ve kemik sintigrafileri yüksek aktivite ile çalıştığı konusunda hem fikir oldukları görülmektedir. Ancak sadece 3 öğrenci dikkat edilmesi gereken kriter hakkında kurşun yelek giyilmesini, diğer geri kalan çoğunluğun (10 öğrenci) bu konuda bilgi sahibi olmadığı görülmektedir.

Radyasyonla yapılan tedavilerde hasta ve yakınlarına, öğrencilerin farklı önerileri olduğu görülmektedir. En önemli öneri ise ayrı odada kalmaları, ayrı WC kullanmaları, ayrı yemek yemeleri ve toplu taşıma kullanmamaları olduğu görülmektedir.

Türkiye’de SHMYO Tıbbi Görüntüleme, Radyoterapi ve Nükleer Tıp programlarında öğrenim gören önlisans öğrencilerinin radyasyon okur-yazarlığının öğrenimini geliştirmek için uygulanabilir öneriler aşağıdadır:

1. Türkiye’de sahada radyasyon görevlisi sayılmayan, sağlık bilimlerinde diğer sağlık alanlarında öğrenim gören (hemşire, ebe, fizyoterapist ve diğer sağlık öğrencileri) lisans eğitiminde radyasyonla (iyonize/iyonize olmayan) ilgili eğitimlerin verilmesi diğer sağlık öğrencilerinin de doğru bilgiye sahip olmaları açısından önemlidir. Bu konudaki yanlış ya da eksik bilgi sağlık çalışanları arasında gereksiz korku veya kaygılara neden olmaktadır. Bazı durumlarda ise tam tersi olabilmekte, radyasyon konusunda oldukça rahat davranış sergileyebilmektedir. Bu nedenle sağlık eğitiminde diğer öğrencilerinde dahil olduğu radyasyonla ilgili tetkikler, çalışma prosedürleri gibi birçok konuda bilgi sahibi olmaları için eğitimde birlik oluşturulabilir. Böyle bir çalışma, ülkedeki çeşitli sağlık bilimleri öğrencilerinin, eğitimcilerinin, müfredat planlayıcılarının ve dekanlarının bakış açıları elde edilebilir. Yapılan tavsiyeler, ülke çapında kılavuz ilkelerin geliştirilmesi konusunda bilgi verebilir.
2. Türkiye’de sağlık eğitiminde radyasyon konusunda öğrenme ve korunma konusunda ülke çapında

yönergeler geliştirilebilir. Üniversite eğitim programlarına konulabilir

3. Nükleer Tıp Öğrencileri için Vaka Tabanlı Öğrenme modülleri geliştirilmelidir. Geliştirilen modüller tıp öğretimi müfredatına entegrasyonu sağlanabilir. Tıp öğrencileri için nükleer tıp konusunda etkileşimli bir şekilde öğrenme fırsatı sağlayabilir.

5. Teşekkür

Çalışmada fikir olarak destek veren tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Kaynakça

- Adefuy, A. O., Adeola, H., More, S., & Mohamed, Z. (2020). The need for nationally accepted guidelines for undergraduate nuclear medicine teaching in MBChB programmes in South Africa. *SA Journal of Radiology*, 1-5.
- Aypay, A., Cemaloğlu, N., Sarpkaya, R., Tomul, E., Baştürk, R., Ellez, M., . . . Turgut, Y. (2014). Bilimsel araştırma yöntemleri . A. Tanrıoğen içinde, Bilimsel araştırma yöntemleri (s. 151). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Boellaard, R., Delgado-Bolton, R., & Oyen, W. (2015). FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imag.*, 328–354.
- Brink, A. (2013). Nuclear medicine: The use of nuclear medicine in childhood. *Continuing Medical Education*, 1–2.
- Cherry, S., Sorenson, J., & Phelps, M. (2012). *Physics in nuclear medicine*. Amsterdam: Elsevier Health Sciences.
- Chondrogiannis, S., Marzola, M., & Al-Nahhas, A. (2013). Normal biodistribution pattern and physiologic variants of 18F-DOPA PET imaging. *Nucl Med Comm.*, 11–41.
- Creswell, J. W. (2013). *Nitel Araştırma ve Araştırma Tasarımı: Beş Yaklaşımdan Seçim*. CA: SAGE.
- Dauda, A., Ozoh, J., & Towobola, O. (2019). Medical doctors’ awareness of radiation exposure in diagnostic radiology investigations in a South African academic institution. *SA J Radiol.*, 1–7.
- Günay, O., & Abamor, E. (2019). Environmental radiation dose rate arising from patients of PET/CT. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5177-5184.
- Günay, O., Sarıhan, M., Abamor, E., & Yazar, O. (2019). Environmental radiation doses from patients undergoing Tc-99m DMSA cortical renal scintigraphy. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESSEN)*, 5(2), 86-93.
- Günay, O., Sarıhan, M., Yazar, O., Abuqbeith, M., Demir, M., Sönmezoğlu, K., ... & Gündoğdu, Ö. (2019). Determination of radiation dose from patients undergoing Tc-99m Sestamibi nuclear cardiac imaging. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5251-5258.
- Györke, T., Duffek, L., & Bártfai, K. (2000). The role of nuclear medicine in inflammatory bowel disease. A review with experiences of aspecific bowel activity using immunoscintigraphy with 99m Tc anti-granulocyte antibodies. *Eur J Radiol*, 183–192.
- Kourdioukova, E., Valcke, M., Derese, A., & Verstraete, K. (2011). Analysis of radiology education in undergraduate medical doctors training in Europe. *Eur J Radiol.*, 309–318.

- Lass, P., & Scheffler, J. (2003). Undergraduate teaching of nuclear medicine in European universities. *Eur J Nucl Med Mol Imag*, 1018–1023.
- Moloney, B., McCarthy, C., Byrne, D., McVeigh, T., Kerin, M., & McCarthy, P. (2017). Teaching radiology to medical students – There is a need for change to better prepare students for clinical practice. *Academic Radiology*, 506–513.
- Mubeen, S., Abbas, Q., & Nisar, N. (2008). Knowledge about ionising and non-ionising radiation among medical students. *J Ayub Med Coll Abbottabad*, 118–121.
- Ostensen, H., Ingolfsdottir, G., Munro, L., Diagrammes, A., Conway, M., & Walters, F. (2004). Basics of radiation protection for everyday use how to achieve ALARA: Working tips and guidelines. Geneva: WHO.
- Palacı, H., Günay, O., & Yarar, O. (2018). Türkiye’deki radyasyon güvenliği ve koruma eğitiminin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 249-254.
- Pascual, T., Chhem, R., Wang, S.-C., & Vujnovic, S. (2011). Undergraduate radiology education in the era of dynamism in medical curriculum: An educational perspective. *Eur J Radiol.*, 319–325.
- Rubin, H. J., & Rubin, I. S. (1995). *Qualitative interviewing: The art of hearing data*. Newbury Park: Sage.
- Turhanoglu-Kocak, F. A., Suğur, N., Gönç-Şavran, T., & Çetin, O. B. (2013). *Sosyolojide araştırma yöntem ve teknikleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.



Carbazole Based (D- π -A) Sensitizer: Synthesis, Characterization and its DSSC Application

Merve Yandimoglu¹, Kamuran Gorgun^{2*}

¹ Eskisehir Osmangazi University, Chemistry Department, Eskişehir, Turkey (ORCID: 0000-0003-1010-0032), mervesag26@gmail.com

^{2*} Eskisehir Osmangazi University, Chemistry Department, Eskişehir, Turkey (ORCID: 0000-0003-0407-3787), kgorguntr@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 25 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1118274)

ATIF/REFERENCE: Yandimoglu, M. & Gorgun, K. (2022). Carbazole Based (D- π -A) Sensitizer: Synthesis, Characterization and its DSSC Application. *European Journal of Science and Technology*, (41), 92-99.

Abstract

In this work, a new organic carbazole-based donor- π -acceptor (D- π -A) sensitizer, C3, comprising carbazole core as an electron donor, phenyl units as a π -conjugated bridge, and fluoro groups as an electron acceptor, has been synthesized and used for dye at ZnO based dye-sensitized solar cells (DSSCs). 3,6-di(2,4-difluorophenyl)-N-octyl carbazole (C3) was synthesized with halogenation and alkylation reaction and Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction with good yields. Synthesized C3 sensitizer was characterized by FT-IR, ¹H NMR, and ¹³C NMR. In addition, the optical (UV-Vis and fluorescence) and thermogravimetric properties of this compound were investigated. The hydrothermally synthesized ZnO nanopowder crystal structure was scrutinized by X-ray diffraction spectroscopy (XRD) and determined to belong to a hexagonal wurtzite structure. Scanning electron microscopy (SEM) images have shown that ZnO nanopowder has a highly dense and uniform leafy-like morphology. ZnO-based DSSC devices were fabricated using C3 and N719. The power conversion efficiencies (PCE) and open circuit photovoltage (V_{oc}) of metal-free organic dye (C3), ruthenium dye (N719) and mixture dye (C3-N719) was measured 0.006% - 0.28 V, 0.461% - 0.44 V and 0.893% - 0.53 V respectively. Because of the increasing efficiency of N719-based DSSCs with C3, it was determined that C3 reduced dye aggregation so it could be used as a co-sensitizer.

Keywords: Carbazole, Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reaction, Organic Semiconductor, DSSC.

Karbazol Temelli (D- π -A) Duyarlaştırıcı: Sentezi, Karakterizasyonu ve DSSC Uygulaması

Öz

Bu çalışmada, elektron donörü olarak karbazol çekirdeği, π -konjuge köprü olarak fenil birimleri ve elektron alıcısı olarak flor gruplarını içeren yeni bir organik karbazol bazlı donör- π -alıcı (D- π -A) duyarlaştırıcı bileşik C3 sentezlenmiş olup, ZnO bazlı boya duyarlı güneş pillerinde (DSSC'ler) boya olarak kullanılmıştır. 3,6-di(2,4-diflorofenil)-N-oktil karbazol (C3), ilk olarak halojenasyon ve alkilasyon reaksiyonu ve ikinci olarak Suzuki-Miyaura çapraz kenetlenme reaksiyonu ile iyi verimlerle sentezlenmiştir. Sentezlenen C3 duyarlaştırıcı, FT-IR, ¹H NMR ve ¹³C NMR ile karakterize edilmiştir. Ayrıca bu bileşiğin optik (UV-Vis ve floresans) ve termogravimetrik özellikleri incelenmiştir. Hidrotermal yöntemlerle sentezlenen ZnO nanotozlarının kristal yapısı X-ışını kırınım spektrokopi (XRD) yöntemiyle incelenmiştir ve hegzagonal wurtzite yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Taramalı electron mikrokobu (SEM) görüntüleri ZnO nanotozlarının oldukça yoğun ve düngün yapraklı bir yapıya sahip olduklarını göstermiştir. C3 ve N719 kullanılarak ZnO tabanlı DSSC cihazlarının fabrikasyonu yapılmıştır. Metal içermeyen organik (C3), rutenyum (N719) ve karışım duyarlaştırıcılarının (C3-N719) güç dönüşüm verimleri (PCE) ve açık devre fotovoltajları (V_{oc}) sırasıyla %0,006-0,28, %0.461-0.44 ve %0.893-0.53 olarak ölçülmüştür. N719 bazlı DSSC'lerin C3 ile artan verimi nedeniyle, C3'ün boya kümeleşmesini azalttığı ve böylece yardımcı duyarlaştırıcı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbazol, Suzuki-Miyaura Çapraz Kenetlenme Reaksiyonu, Organik Yarıiletken, DSSC.

* Sorumlu Yazar: kgorguntr@gmail.com, kgorgun@ogu.edu.tr

1. Introduction

The design and synthesis of organic electronic molecules have played an important role in the effectiveness of many optoelectronic materials (Mullekom et al., 2011) such as organic photovoltaics (OPV) (Hirade et al., 2013; Mishra & Bauerle, 2012), dye-sensitized solar cells (DSSC) (Barea et al., 2010; Kumar et al., 2014; Srinivas et al., 2009), organic thin-film transistors (OTFT) (Han et al., 2015), organic light-emitting diodes (OLEDs) (Cias & Slugovc, 2011). Increasing demand for environmentally friendly energy sources has increased the interest in solar energy conversion devices. Since the realization of dye-sensitized solar cells (DSSCs) by Regan and Grätzel (O'regan & Grätzel, 1991), DSSCs have come to the fore as competitor alternatives compared to conventional silicon-based photovoltaic devices (Golçalves et al., 2008) due to their relatively high performance, low production costs (Grätzel, 2009; Günes & Sariciftci, 2008) and simple manufacturing procedures (Grätzel, 2001).

The metal-free organic dyes having push-pull skeletons have gained importance due to their low cost (Yang et al., 2011), easy synthesis (Cui et al., 2011; Pushkara & Jen, 1994), and ease of structural modifications (Giribabu, et al., 2012) as well as their semiconductor properties and excellent thermal properties (Zhang, et al., 2009). These push-pull compounds have a donor- π -acceptor (D- π -A) structure and all parts of the compound have an important role in the determination of photovoltaic performance in DSSC (Patil, et al., 2018; Shen et al., 2011; Yang, et al., 2015). Many studies have modified the donor group to improve the power conversion efficiency (PCE) of DSSCs (Fischer et al., 2010; Kadam, Patil & Sekar, 2018). Carbazole (Lin et al., 2008; Marotta et al., 2013), coumarin (Hara et al., 2001), anthracene (Huang et al., 2011), cyanine (Ehret, Stuhl & Spitler, 2001), indole (Liu et al., 2014), triphenylamine (Wang et al., 2014), a phenothiazine (Hua et al., 2013) and phenoxazine (Tan et al., 2013) are among the donor groups in DSSCs. In addition, when long-chain alkyl groups are attached to donor groups, both dye aggregation can be reduced (Liu et al., 2012) and the electron-donating ability of donors can be increased (Namuangruk et al., 2012). The modification of carbazoles through the 2,7-positions provides an extension of π -conjugation, while the modification through the 3,6- positions boosts the electron donor ability (Zassowski et al., 2017). Carbazole, which is used as a donor group in molecules with a D- π -A structure, attracts attention as an important component of organic materials for multiple optoelectronic applications (Karon & Lapkowski, 2015; Sathiyam et al., 2016). Electron-rich carbazole groups are widely used in the design of electroactive compounds (OTFTs [7], OLEDs (Su, Cai & Kido, 2011), and organic solar cells (Heredia et al., 2010; Lu et al., 2012; Tu et al., 2010) due to their excellent photoconductivity, luminescence (Thomas et al., 2001) strong intramolecular electron transfer and hole-carrying properties (Gupta et al., 2011), effective charge transfer, good thermal stability, high triple energy, glass formation capability, emission efficiencies (Dierschke, Grimsdale & Muellen, 2013). Carbazole derivatives can be easily modified at 3-, 6- and 9-positions (Kadam, Patil & Sekar, 2018). Carbazole's blue photoluminescence is not affected by the alkyl groups at the -N position (Zhang, Fujiki & Tang, 2002; Zheng et al., 2002). Transition metal-mediated crosslinking, ie. Suzuki-Miyaura, is a powerful method for the formation of C-C bonds such as Hiyama, Stille, Heck, Negishi, Kumada, and Sonogashira reactions. These

e-ISSN: 2148-2683

commonly used methods have practical synthetic ways for direct formation of the C-C bond in coordination chemistry, catalysis, polymer synthesis, material science, and biological, medical, and supramolecular chemistry.

Metal oxides such as ZnO, SnO₂, and Nb₂O₅ are also used as porous semiconductors instead of the TiO₂ semiconductor, which is mostly used in DSSCs (Fukai et al., 2007; Memarian et al., 2011; Sayama, Sugihara & Arakawa, 1998; Wang et al., 2004; Zhang et al., 2010). Although its electronic structure is very similar to TiO₂, the ZnO semiconductor, which has higher electron mobility and potentially faster kinetics (Quintana et al., 2007), has become prominent due to its lighter weight, lower cost, and ease of synthesis in various sizes and morphologies (Anta, Guillen & Tena-Zaera, 2012; Li et al., 2012; Vayssieres, 2003; Zhang & Cao, 2011). However, the use of ZnO in DSSCs results in a relatively low open-circuit voltage (V_{oc}) and fill factor (FF) (Keis et al., 2000; Westermark et al., 2002). The main reason for this disadvantage is that many commercially available Ru-based dyes form aggregates rather than single layers on the ZnO surface (Chou, Zhang & Cao, 2007). A lot of work has been done to solve many of these problems and advance to ZnO-based DSSC device performance, such as designing core-shell structures to suppress electron-hole recombination, increasing the surface area, and improving oxide-dye binding (Kang et al., 2007; Law et al., 2006).

DSSC is a device that absorbs light from the sun with a layer of organic molecules and converts it directly into electrical energy. For the first time in 1991, DSSCs were developed by O'regan and Grätzel, a new technology emerged that left the fashion of silicon technology behind (O'regan & Grätzel, 1991). Dye sensitizer, one of the main components of DSSCs, absorbs sunlight and plays a significant role in solar energy conversion efficiency. In addition, the energy range of the dye used must be compatible with metal oxide films. Ruthenium polypyridine-type sensitizers have an effective efficiency of greater than 11%. However, ruthenium dye-based DSSCs suffer from the limitation of ruthenium sources and some environmental issues. In recent studies, many works have been conducted on the synthesis of new organic dyes as sensitizers in DSSCs. Molecules with donor- π -acceptor (D- π -A) structure were synthesized and these molecules were provided to have inter-molecular load transfer structures after absorbing light. Organic dyes/sensitizers have recently gained popularity and have replaced metal-based dyes due to their high absorbance values, easy structural design, and low cost compared to the expensive Ru metal. (Li et al., 2008).

The fluorine atom can improve electron mobility and the ability to adjust molecular energy levels (lower the LUMO level) (Chen et al., 2010; Cho et al., 2014; Paek et al., 2012; Roy et al., 2017). The small atomic radius of the fluorine atom and its high electronegativity makes it possible to use fluorine group-containing molecules as efficient light-collecting materials in DSSCs (Ashraf et al., 2020; Yu et al., 2013). The presence of fluorine groups on the aromatic ring in a molecule plays an effective role in the formation of more efficient photosensitizers for DSSCs (Ashraf et al., 2020). It is known that with the increase of fluorine groups in a molecule, the efficiency of conversion from the sun to electricity is also increased (Huang et al., 2013). T. Siodla et al., in their study in 2014 (Siodla et al., 2014), showed that the resonance effect of -F and -CF₃ groups in the phenyl ring can shorten the lengths of C-F bonds. According to this study, as a result of the calculations, it was found that the C-F bond length of these substituents in the para position tended to decrease and

the resonance increased twice. In addition, it is seen in the literature that compounds with at least one carbazole derivative attached to the benzene ring and at least one electron-withdrawing group in the ortho position are more easily conjugated with the substituents on the benzene ring (Chang 2010) (Kremser et al., 2008). Therefore, within this scope mentioned above, the presence of fluorine groups in the ortho and para positions is thought to play an important role in the observed efficiency value in the present compared to the previous study (Siodla et al., 2014; Kremser et al., 2008; Derince, Gorgun, Caglar & Caglar, 2022).

Herein, we report the carbazole derivatives characterized by FT-IR, ^1H NMR, and ^{13}C NMR. Optical and thermogravimetric properties of the newly synthesized carbazole-based sensitizer (C3) were determined using UV-Vis, fluorescence spectroscopic and TGA-DTA analysis methods. The target compound (C3) was used as a dye in the ZnO-based DSSC. Photovoltaic parameters of ZnO-DSSCs were determined from current-voltage measurements. As far as authors are concerned, a similar structure has not been done so far in the literature. Therefore, the present study introduces how this newly synthesized carbazole-based sensitizer (C3) affects the cell performance of ZnO-based DSSCs in the literature for the first time.

2. Material and Method

2.1. Chemicals

All chemicals and solvents were used HPLC grade purity purchase from Sigma Aldrich (Turkey) or used purified by standard procedures. In addition, Milli-Q grade water (18.2 M Ω cm) was used for all experiments.

2.2. Synthesis

2.1.1. Synthesis of 3,6-dibromo-9H-carbazole (C1)

Carbazole (1 eq.) and *N*-bromosuccinimide (2 eq.) were dissolved in DMF at room temperature. The reaction mixture was cooled to 0 °C, then stirred for 2h and poured into pure water. After the filtration of the crude product, the solid recrystallized from ethanol to afford 3,6-dibromo-9H-carbazole as pale yellow crystals (Derince, Gorgun, Caglar & Caglar, 2022).

2.1.2. Synthesis of 3,6-dibromo-9-octyl-9H-carbazole (C2)

The reaction of 3,6-dibromo-9H-carbazole with 1-bromooctane in DMSO under basic conditions (50% NaOH solution) gave the 3,6-dibromo-*N*-octylcarbazole. The reaction mixture was washed with diethyl ether and water. The white product was purified with column chromatography using *n*-hexane (Derince, Gorgun, Caglar & Caglar, 2022).

The data of the C1 and C2 molecules that we synthesized and characterized, is given in our previous article (Derince, Gorgun, Caglar & Caglar, 2022).

2.1.3. Synthesis of 3,6-bis(2,4-difluorophenyl)-9-octyl-9H-carbazole (C3)

Reaction of Suzuki–Miyaura cross coupling (Miyaura, 2004) of 3,6-dibromo-*N*-octylcarbazole (1 eq.) with 2,4-difluorophenyl boronic acid (2.2 eq.) catalyzed with Pd(PPh₃)₄ (2%) and K₂CO₃ (5.5 eq.) was carried out in a 2:1, DME/H₂O, v/v solvent mixture. The mixture was stirred at 80 °C for 5 h. After the crude product was washed with dichloromethane and water, the target product

(C3) was obtained by purification with column chromatography using *n*-hexadichloromethane (10:1) mixture. Molecular Formula: C₃₂H₂₉F₄N, MW: 503.57 g/mol, Yield: 65%, mp. 61–63 °C. FT-IR ν_{max} (cm⁻¹): 2926, 2856, 1606, 1594, 1480, 844, 799. ^1H NMR (500 MHz, CDCl₃) (δ ppm): 8.29 (s, 2H, H4, H5), 7.66 (dt, 2H, *J*=8.48 Hz, 4J =1.69 Hz, H5'), 7.55 (m, 2H, H2, H7), 7.50 (d, 2H, *J*=8.51 Hz, H6'), 6.96–7.06 (m, 4H, H1, H8, H3'), 4.34 (t, 2H, *J*=7.25 Hz), 1.94 (m, 2H), 1.24–1.53 (m, 10H), 0.93 (t, 3H, *J*=6.97 Hz). ^{13}C NMR (125 MHz, CDCl₃) (δ ppm): 140.58, 131.66, 127.13, 126.02, 123.20, 121.24, 111.48, 108.85, 104.48, 43.17, 31.87, 29.50, 29.03, 27.27, 22.75, 14.23.

2.3. Fabrication of ZnO-DSSC

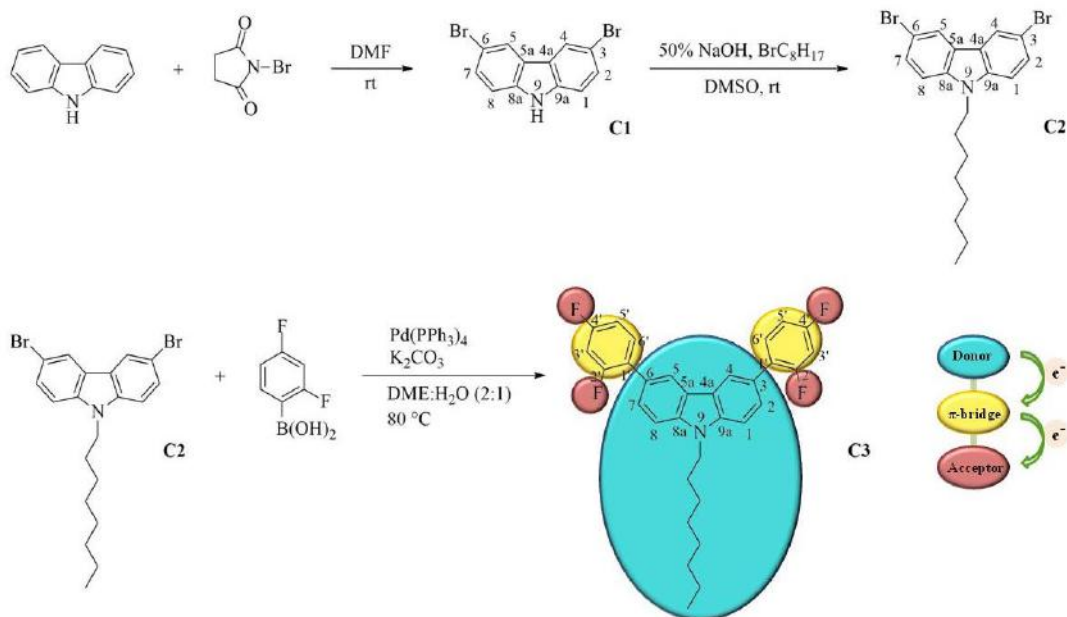
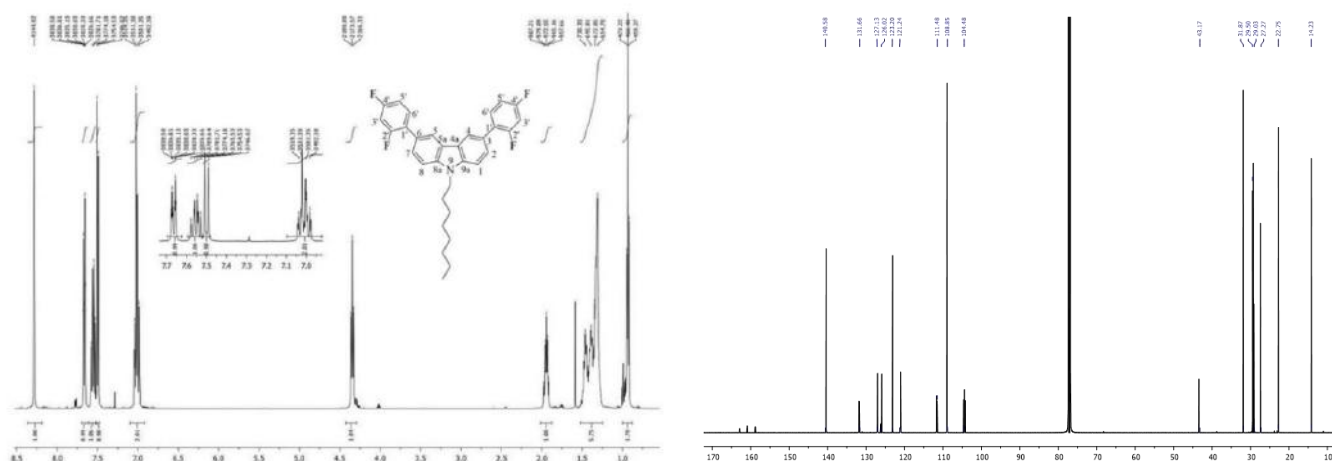
Firstly, fluorine-doped tin oxide (FTO) substrates were kept in an ultrasonic acetone solution bath for 15 minutes to clean and then rinsed with distilled water. They were dried at nitrogen ambient. Hydrothermally sensitized ZnO nanopowder was used as a photoanode. In the first step in the preparation of ZnO photoanode, ZnO paste was formed by mixing ZnO nanopowders with Triton-X 100 and acetylacetone. The obtained pastes were then coated with FTO glass using the doctor-blade method. The ZnO films were annealed for 1 h at 400 °C in air and then cooled at room temperature. The electrodes were immersed in three different dye solutions which are 0.5 mM N719 (ruthenizer 535 bis-TBA, Solaronix), 1.2 mM C3 dye, in a mixture of N719 and C3 dye (V_{N719}:V_{C3}=1:10) for 24 hours. Subsequently, it was fixed with a Pt counter electrode using dye-loaded electrodes on the FTO substrate to form a sandwich-type DSSCs. Finally, iodine solution [iodide/triiodide (I⁻/I³⁻) (Iodolyte, Solaronix) was injected into the sandwich-type DSSC.

2.4. Characterization

All compounds were characterized by ^1H NMR and ^{13}C NMR spectra. These spectra were recorded with a JEOL ECZ500R UltrashieldTM 500 MHz and 125 MHz spectrometers, respectively, at 298 K (Japan) in ppm units with TMS as the internal standard. Thermal analyzes were carried out at the Central Research Laboratory Application and Research Center (ARUM) using the Perkin Elmer STA 8000 (25 °C–1600 °C) device. The FT-IR spectra of all compounds dispersed in KBr pellets were obtained with Bruker FT-IR Spectrophotometer (4000–400 cm⁻¹). UV–Vis absorption and photoluminescence spectra of the C3 were obtained with SHIMADZU UV2450 UV-Vis scanning and Perkin–Elmer LS-55 spectrophotometers, respectively. The current-voltage characteristics of the DSSCs were made with the FYTRONIX OPTOSENSE solar cell measurement system using a voltage sweep rate of 0.01V/s under AM1.5G conditions.

3. Results and Discussion

According to the ^1H NMR spectrum taken in CDCl₃, there are 29 protons in the structure and these protons are individually marked by calculating match constants in the ^1H NMR spectrum. The ^1H NMR spectrum of the synthesized 3,6-bis(2,4-difluorophenyl)-9-octyl-9H-carbazole (C3) compound is given in Figure 1. In the ^1H NMR spectra of compound C3, the peaks at 8.14 ppm (s, 2H), 7.66 ppm (d, 2H), 7.55–7.60 ppm (m, 2H), 7.02 ppm (d, 1H), 7.50 ppm (d, 2H), 6.98–7.04 ppm (m, 4H) are assigned to be H4, H5, H5', H2, H7, H6', H1, H8, H3', respectively, as aromatic protons. In addition, the presence of alkyl groups of this compound, the peaks at 4.24 ppm (t, 2H), 1.82 ppm (m, 2H), 1.20–1.30 ppm (m, 10H), 0.85 ppm (t, 3H) are assigned to be octyl-protons, as aliphatic protons.

Scheme 1. Synthesis of carbazole derivatives *C1-C3*Figure 1. ^1H NMR and ^{13}C NMR spectrum of the CDCl_3 solutions of the *C3* compounds

Synthesis and characterization of molecules *C1* and *C2* have been reported previously (Derince, Gorgun, Caglar & Caglar, 2022). The ^{13}C NMR spectrum of the synthesized 3,6-bis(2,4-difluorophenyl)-9-octyl-9H-carbazole (*C3*) compound given in Figure 1. In the ^{13}C NMR spectra of compound *C3*, the peaks at 140.58, 131.66, 127.13, 126.02, 123.20, 121.24, 111.48, 108.85, 104.48 are assigned to be as aromatic carbons. In addition, the peaks at 43.17, 31.87, 29.50, 29.03, 27.27, 22.75, and 14.23 are assigned to be aliphatic carbons.

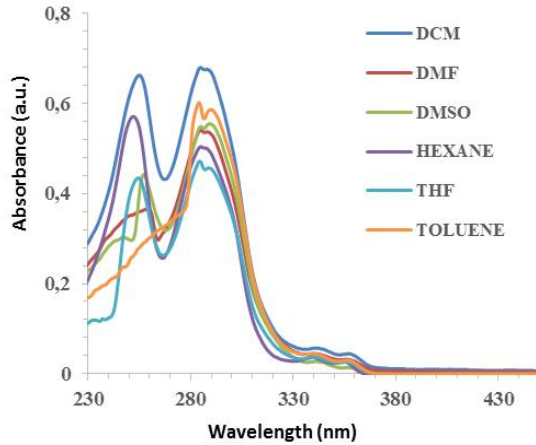
The UV-Vis absorption and emission spectra of *C3* were measured in different solvents (n-hexane, toluene, THF, DCM, DMSO, and DMF) at 1×10^{-5} M, 25 °C (Fig. 2a-b). Maximum wavelengths which belong to the carbazole-based peak of $n-\pi^*$ transitions were observed between 252 nm and 259 nm, in n-hexane, THF, DCM, DMSO, DMF, and also carbazole-centered $\pi-\pi^*$ transitions indicating difluorophenyl fragments which dominate the lowest excited states were observed between 283 nm

and 289 nm in these six different solvents. Furthermore, it was observed that the bathochromic effect increased with solvent polarity while the hypochromic effect was detected in toluene solution. The effect of solvent polarity on the fluorescence properties of the carbazole-centered molecule was studied. As shown in Fig. 2(b), the emission peaks of *C3* were observed in the blue region between 379 nm and 390 nm in all solutions. The longest wavelength emission maxima was observed at 390 nm in DMSO and the shortest wavelength emission maxima was observed at 379 nm in n-hexane. So, *C3* observed an increasing π -conjugation in DMSO.

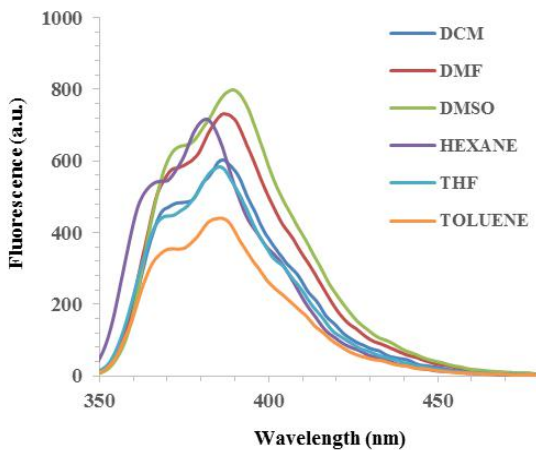
As seen from the thermogravimetric analysis (TGA-DTA) in Figure 3, the synthesized *C3* exhibited great thermal stability at 351 °C with a 5% weight loss.

XRD pattern of ZnO nanopowder is shown in Figure 4. This figure confirmed that ZnO nanopowder is polycrystalline in

nature. The diffraction planes (100), (002), (101) (102), (110) (103), and (112) are in good consent with JCPDS card no. 36-1451 and belong to the hexagonal wurtzite structure. The morphology of the ZnO film has been studied using field emission microscopy (FESEM). The highly dense and smooth-leaf-like morphology of the ZnO powder is seen in this Figure 4. The length of the rods formed a leafy-like structure is about 2 nm and its diameter is 200 nm.



(a)



(b)

Figure 2. a) Absorbance spectra and b) Emission spectra of C3 in 10⁻⁵ M different solvents

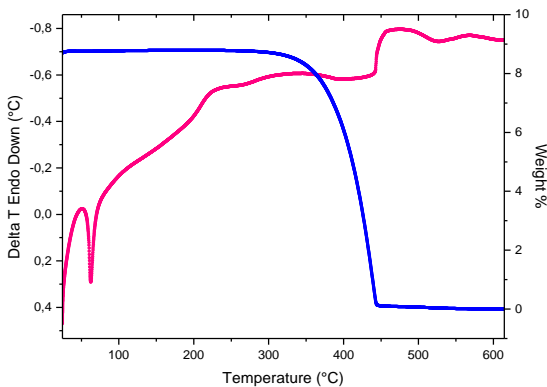


Figure 3. TGA Weight Loss and DTA graphic

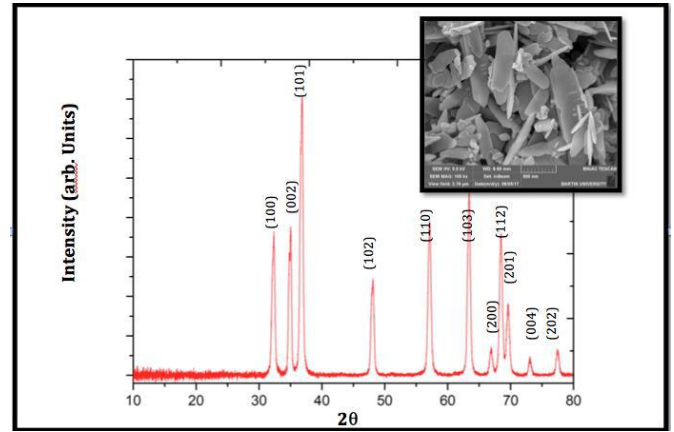


Figure 4. XRD spectra and SEM image of the ZnO nanopowder

Figure 5 shows the current density-voltage (J-V) graphs for DSSCs under AM1.5G simulated solar light (100mW/cm²). The Fill factor (FF) and conversion efficiency (n%) values are estimated using Equations (1) and (2) (Fonash, 2012),

$$n(\%) = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times 100 \quad (1)$$

$$FF(\%) = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \times 100 \quad (2)$$

where V_{oc} is the open-circuit voltage at zero current density, I_{sc} is the short circuit current at zero voltage, V_{max} is the maximum voltage, I_{max} is the maximum current density, and P_{in} is the intensity of the incident light resulting values are summarized in Table 1.

Table 1. Photoelectrochemical parameters of the DSSCs with different dyes

DSSC	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	n (%)
N719	3.40x10 ⁻³	0.44	0.077	0.461
C3	7.64x10 ⁻⁵	0.28	0.073	0.006
N719+C3	4.42x10 ⁻³	0.53	0.095	0.893

As seen in Table 1, C3 has improved the cell performance of DSSCs. C3 used as a co-sensitizers showed an enhancement in the efficiency of N719-based DSSCs up to ~94%. The reason for this enhancement can be attributed to a decrease in dye aggregation.

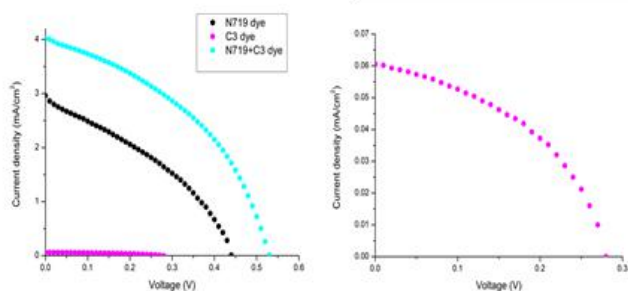


Figure 5. The current density-voltage graphs for DSSCs

4. Conclusions and Recommendations

In this present work, a new organic dye carbazole-based donor- π -acceptor (D- π -A) sensitizer was synthesized (C3) via Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction with good yields and used in ZnO dye-sensitized solar cells (DSSCs). The molecule structure of synthesized C3 was confirmed by FT-IR, ^1H NMR, and ^{13}C NMR. Furthermore, optical (UV-Vis and fluorescence) and thermogravimetric properties of this compound were studied. The UV-Vis and carbazole derivative fluorescence spectra properties were measured for 1×10^{-5} M in n-hexane, THF, DCM, DMSO, DMF, and toluene solutions. In the UV-Vis spectra, it was observed that the bathochromic effect increased with solvent polarity while the hypochromic effect was detected in the solution of toluene. In addition, C3 emitted the longest wavelength emission maxima in DMSO at 390 nm and the shortest wavelength emission maxima in n-hexane at 379 nm. It was indicating that the maximum absorption was strongly influenced by the solvent polarity and π -conjugation in DMSO. On the other hand, C3 exhibited good thermal stability and also a decomposition temperature at 351 °C with a 5% weight loss from the thermogravimetric analysis (TGA-DTA). After ZnO-DSSCs were fabricated, power conversion efficiencies (PCE) of metal-free organic dye (C3), ruthenium dye (N719), and mixture dye (C3-N719) were measured as 0.006%, 0.461%, and 0.893% respectively. C3 was used as a co-sensitizer and exhibited an enhancement in the efficiency of N719-based DSSCs up to ~94%, mainly due to a decrease in dye aggregation.

5. Acknowledge

We would like to thank Halil Esgin for ZnO photoanode synthesis and Yasemin Caglar for the DSSC's measurements and all contributions. This work was partially supported by Eskisehir Technical University Commission of Scientific Research Projects under Grant No. 19ADP157.

References

- Anta, J. A., Guillén, E., Tena-Zaera, R. (2012). ZnO-based dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 116, 11413-11425.
- Ashraf, S., Su, R., Akhtar, J., Siddiqi, H. M., Shuja, A., El-Shafei, A. (2020). Effect of fluoro-substituted acceptor-based ancillary ligands on the photocurrent and photovoltage in dye-sensitized solar cells, *Solar Energy*, 199, 74-81.
- Barea, E. M., Zafer, C., Gultekin, B., Aydin, B., Koyuncu, S., Icli, S., Santiago, F. F., Bisquert, J. (2010). Quantification of the effects of recombination and injection in the performance of dye-sensitized solar cells based on *N*-substituted carbazole dyes, *The Journal of Physical Chemistry C*, 114, 19840-19848.
- Chen, D.-Y., Hsu, Y.-Y., Hsu, H.-C., Chen, B.-S., Lee, Y.-T., Fu, H., Chung, M.-W., Liu, S.-H., Chen, H.-C., Chi, Y. (2010). Organic dyes with remarkably high absorptivity; all-solid-state dye-sensitized solar cell and role of fluorine substitution, *Chemical Communications*, 46, 5256-5258.
- Cho, N., Han, J., Song, K., Kang, M.-S., Jun, M.-J., Kang, Y., Ko, J. (2014). Substituent effect of fluorine atom on benzothiadiazole bridging unit in dye-sensitized solar cells, *Tetrahedron*, 70, 427-433.
- Chou, T. P., Zhang, Q., Cao, G. (2007). Effects of dye loading conditions on the energy conversion efficiency of ZnO and TiO₂ dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111, 18804-18811.
- Cias, P., Slugovc, C., Gescheidt, G. (2011). Hole transport in triphenylamine based OLED devices: from theoretical modeling to properties prediction, *The Journal of Physical Chemistry A*, 115, 14519-14525.
- Cui, Y., Wu, Y., Lu, X., Zhang, X., Zhou, G., Miapheh, F. B., Zhu, W., Wang, Z.-S. (2011). Incorporating benzotriazole moiety to construct D-A- π -A organic sensitizers for solar cells: significant enhancement of open-circuit photovoltage with a long alkyl group, *Chemistry of Materials*, 23, 4394-4401.
- Derince, B., Gorgun, K., Caglar, Y., Caglar, M. (2022). The architectural design of new conjugated systems carrying donor- π -acceptor groups (carbazole-CF₃): Characterizations, optical, photophysical properties and DSSC's applications, *Journal of Molecular Structure*, 1250, 131689-131700.
- Dierschke, F., Grimsdale, A. C., Muellen, K. (2003). Efficient synthesis of 2,7-dibromocarbazoles as components for electroactive materials, *Synthesis*, 2003, 2470-2472.
- Ehret, A., Stuhl, L., Spitler, M., Spectral sensitization of TiO₂ nanocrystalline electrodes with aggregated cyanine dyes, (2001). *The Journal of Physical Chemistry B*, 105, 9960-9965.
- Fischer, M. K., Wenger, S., Wang, M., Mishra, A., Zakeeruddin, S. M., Grätzel, M., Bäuerle, P. (2010). D- π -A sensitizers for dye-sensitized solar cells: linear vs branched oligothiophenes, *Chemistry of Materials*, 22, 1836-1845.
- Fonash, S. (2012) Solar cell device physics, Elsevier.
- Fukai, Y., Kondo, Y., Mori, S., Suzuki, E. (2007). Highly efficient dye-sensitized SnO₂ solar cells having sufficient electron diffusion length, *Electrochemistry Communications*, 9, 1439-1443.
- Giribabu, L., Kanaparthi, R. K., Velkannan, V. (2012). Molecular engineering of sensitizers for dye-sensitized solar cell applications, *The Chemical Record*, 12, 306-328.
- Gonçalves, L. M., de Zea Bermudez, V., Ribeiro, H. A., Mendes, A. M. (2008). Dye-sensitized solar cells: A safe bet for the future, *Energy & Environmental Science*, 1, 655-667.
- Grätzel, M. (2001). Photoelectrochemical cells, *Nature*, 414, 338-344.
- Grätzel, M. (2009). Recent advances in sensitized mesoscopic solar cells, *Accounts of Chemical Research*, 42, 1788-1798.
- Gupta, V. D., Padalkar, V. S., Phatangare, K. R., Patil, V. S., Umape, P. G., Sekar, N. (2011). The synthesis and photophysical properties of extended styryl fluorescent derivatives of *N*-ethyl carbazole, *Dyes and Pigments*, 88, 378-384.

- Günes, S., Sariciftci, N. S. (2008). Hybrid solar cells, *Inorganica Chimica Acta*, 361, 581-588.
- Han, J., Thirupathiah, B., Kwon, G., Kim, C. (2015). Seo, S., Synthesis and characterization of carbazole-and α -carboline-based thiophene derivatives as organic semiconductors for organic thin-film transistors, *Dyes and Pigments*, 114, 78-84.
- Hara, K., Sayama, K., Ohga, Y., Shinpo, A., Suga, S., Arakawa, H. (2001). A coumarin-derivative dyedye-sensitizednanocrystalline TiO₂ solar cell having a high solar-energy conversion efficiency up to 5.6%, *Chemical Communications*, 6, 569-570.
- Heredia, D., Natera, J., Gervaldo, M., Otero, L., Fungo, F., Lin, C.-Y., Wong, K.-T. (2010). Spirobifluorene-bridged donor/acceptor dye for organic dye-sensitized solar cells, *Organic Letters*, 12, 12-15.
- Hirade, M., Yasuda, T., Adachi, C. (2013). Effects of intramolecular donor-acceptor interactions on bimolecular recombination in small-molecule organic photovoltaic cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 117, 4986-4991.
- Hua, Y., Chang, S., Wang, H., Huang, D., Zhao, J., Chen, T., Wong, W.-Y., Wong, W.-K., Zhu, X. (2013). New phenothiazine-based dyes for efficient dye-sensitized solar cells: Positioning effect of a donor group on the cell performance, *Journal of Power Sources*, 243, 253-259.
- Huang, J., Su, J.-H., Li, X., Lam, M.-K., Fung, K.-M., Fan, H.-H., Cheah, K.-W., Chen, C. H., Tian, H. (2011). Bipolar anthracene derivatives containing hole-and electron-transporting moieties for highly efficient blue electroluminescence devices, *Journal of Materials Chemistry*, 21, 2957-2964.
- Huang, W.-K., Wu, H.-P., Lin, P.-L., Diau, E. W.-G. (2013). Design and characterization of heteroleptic ruthenium complexes containing benzimidazole ligands for dye-sensitized solar cells: the effect of thiophene and alkyl substituents on photovoltaic performance, *The Journal of Physical Chemistry C*, 117, 2059-2065.
- Kadam, M. M., Patil, D., Sekar, N. (2018). Carbazole based NLOphoric styryl dyes-synthesis and study of photophysical properties by solvatochromism and viscosity sensitivity, *Journal of Luminescence*, 202, 212-224.
- Kang, S. H., Kim, J.-Y., Kim, Y., Kim, H. S., Sung, Y.-E. (2007). Surface modification of stretched TiO₂ nanotubes for solid-state dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111, 9614-9623.
- Karon, K., Lapkowski, M. (2015). Carbazole electrochemistry: a short review, *Journal of Solid State Electrochemistry*, 19, 2601-2610.
- Keis, K., Lindgren, J., Lindquist, S.-E., Hagfeldt, A. 2000. Studies of the adsorption process of Ru complexes in nanoporous ZnO electrodes, *Langmuir*, 16, 4688-4694.
- Kremser, G., Hofmann, O. T., Sax, S., Kappaun, S., List, E. J. W., Zojer, E., Slugovc, C. (2008). Synthesis and photophysical properties of 3,6-diphenyl-9-hexyl-9H-carbazole derivatives bearing electron withdrawing groups, *Monatshfte für Chemie*, 139, 223-231.
- Kumar, G. S., Srinivas, K., Shanigaram, B., Bharath, D., Singh, S. P., Bhanuprakash, K., Rao, V. J., Islam, A., Han, L. 2014. Metal-free organic dyes containing thiadiazole unit for dye-sensitized solar cells: a combined experimental and theoretical study, *RSC Advances*, 4, 13172-13181.
- Law, M., Greene, L. E., Radenovic, A., Kuykendall, T., Liphardt, J., Yang, P. (2006). ZnO-Al₂O₃ and ZnO-TiO₂ core-shell nanowire dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry B*, 110, 22652-22663,
- Li, G., Jiang, K.-J., Li, Y.-F., Li, S.-L., Yang, L.-M. (2008). Efficient structural modification of triphenylamine-based organic dyes for dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 112, 11591-11599.
- Li, L., Zhai, T., Bando, Y., Golberg, D. (2012). Recent progress of one-dimensional ZnO nanostructured solar cells, *Nano Energy*, 1, 91-106.
- Lin, S. L., Chan, L. H., Lee, R. H., Yen, M. Y., Kuo, W. J., Chen, C. T., Jeng, R. J. (2008). Highly efficient carbazole- π -dimesitylborane bipolar fluorophores for nondoped blue organic light-emitting diodes, *Advanced Materials*, 20, 3947-3952.
- Liu, B., Liu, Q., You, D., Li, X., Naruta, Y., Zhu, W. (2012). Molecular engineering of indoline based organic sensitizers for highly efficient dye-sensitized solar cells, *Journal of Materials Chemistry*, 22, 13348-13356.
- Liu, X., Cao, Z., Huang, H., Liu, X., Tan, Y., Chen, H., Pei, Y., Tan, S. (2014). Novel D-D- π -A organic dyes based on triphenylamine and indole-derivatives for high performance dye-sensitized solar cells, *Journal of Power Sources*, 248, 400-406.
- Lu, M., Zhu, Y., Ma, K., Cao, L., Wang, K. (2012). Facile synthesis and photo-physical properties of cyano-substituted styryl derivatives based on carbazole/phenothiazine, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 95, 128-134.
- Marotta, G., Reddy, M. A., Singh, S. P., Islam, A., Han, L., De Angelis, F., Pastore, M., Chandrasekharam, M. (2013). Novel carbazole-phenothiazine dyads for dye-sensitized solar cells: a combined experimental and theoretical study, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5, 9635-9647.
- Memarian, N., Concina, I., Braga, A., Rozati, S. M., Vomiero, A., Sberveglieri, G. (2011). Hierarchically assembled ZnO nanocrystallites for high-efficiency dye-sensitized solar cells, *Angewandte Chemie*, 123, 12529-12533.
- Mishra, A., Bäuerle, P. (2012). Small molecule organic semiconductors on the move: promises for future solar energy technology, *Angewandte Chemie International Edition*, 51, 2020-2067.
- Miyaura, N. (2004). Metal-catalyzed cross-coupling reactions of organoboron compounds with organic halides, *Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions*, 41-123.
- Namuangruk, S., Fukuda, R., Ehara, M., Meeprasert, J., Khanasa, T., Morada, S., Kaewin, T., Jungsuttiwong, S., Sudyoadsuk, T., Promarak, V. (2012). D-D- π -A-Type organic dyes for dye-sensitized solar cells with a potential for direct electron injection and a high extinction coefficient: synthesis, characterization, and theoretical investigation, *The Journal of Physical Chemistry C*, 116, 25653-25663.
- O'regan, B., Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 353, 737-740.
- Paek, S., Cho, N., Song, K., Jun, M.-J., Lee, J. K., Ko, J. (2012). Efficient organic semiconductors containing fluorine-substituted benzothiadiazole for solution-processed small molecule organic solar cells, *The Journal of Physical Chemistry C*, 116, 23205-23213.
- Patil, D., Jadhav, M., Avhad, K., Chowdhury, T. H., Islam, A., Bedja, I., Sekar, N. (2018). A new class of triphenylamine-based novel sensitizers for DSSCs: a comparative study of

- three different anchoring groups, *New Journal of Chemistry*, 42, 11555-11564.
- Pushkara Rao, V., Jen, A.-Y., Caldwell, J. (1994). Rhodanine-methine as π -electron acceptor in second-order nonlinear optical chromophores, *Tetrahedron Letters*, 35, 3849-3852.
- Quintana, M., Edvinsson, T., Hagfeldt, A., Boschloo, G. (2007). Comparison of dye-sensitized ZnO and TiO₂ solar cells: studies of charge transport and carrier lifetime, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111, 1035-1041.
- Roy, C., Bura, T., Beaupré, S., Légaré, M.-A., Sun, J.-P., Hill, I. G., Leclerc, M. (2017). Fluorinated thiophene-based synthons: polymerization of 1,4-dialkoxybenzene and fluorinated dithieno-2,1,3-benzothiadiazole by direct heteroarylation, *Macromolecules*, 50, 4658-4667.
- Sathiyam, G., Sivakumar, E. (2016). Ganesamoorthy, R., Thangamuthu, R., Sakthivel, P., Review of carbazole based conjugated molecules for a highly efficient organic solar cell application, *Tetrahedron Letters*, 57, 243-252.
- Sayama, K., Sugihara, H., Arakawa, H., (1998). Photoelectrochemical properties of a porous Nb₂O₅ electrode sensitized by a ruthenium dye, *Chemistry of Materials*, 10, 3825-3832.
- Shen, P., Tang, Y., Jiang, S., Chen, H., Zheng, X., Wang, X., Zhao, B., Tan, S. (2011). Efficient triphenylamine-based dyes featuring dual-role carbazole, fluorene and spirobifluorene moieties, *Organic Electronics*, 12, 125-135.
- Siodła, T., Ozimiński, W. P., Hoffmann, M., Koroniak, H., Krygowski, T. M. (2014). Toward a physical interpretation of substituent effects: The case of fluorine and trifluoromethyl groups, *The Journal of Organic Chemistry*, 79, 7321-7331.
- Srinivas, K., Yesudas, K., Bhanuprakash, K., Rao, V. J., Giribabu, L. (2009). A combined experimental and computational investigation of anthracene based sensitizers for DSSC: comparison of cyanoacrylic and malonic acid electron withdrawing groups binding onto the TiO₂ anatase (101) surface, *The Journal of Physical Chemistry C*, 113, 20117-20126.
- Su, S.-J., Cai, C., Kido, J. (2011). RGB phosphorescent organic light-emitting diodes by using host materials with heterocyclic cores: effect of nitrogen atom orientations, *Chemistry of Materials*, 23, 274-284.
- Tan, H., Pan, C., Wang, G., Wu, Y., Zhang, Y., Zou, Y., Yu, G., Zhang, M. (2013). Phenoxazine-based organic dyes with different chromophores for dye-sensitized solar cells, *Organic Electronics*, 14, 2795-2801.
- Thomas, K. R. J., Lin, J. T., Tao, Y.-T., Ko, C.-W. (2001). Light-emitting carbazole derivatives: potential electroluminescent materials, *Journal of the American Chemical Society*, 123, 9404-9411.
- Tu, G., Massip, S., Oberhumer, P. M., He, X., Friend, R. H., Greenham, N. C., Huck, W. T. (2010). Synthesis and characterization of low bandgap conjugated donor-acceptor polymers for polymer: PCBM solar cells, *Journal of Materials Chemistry*, 20, 9231-9238.
- Van Mullekom, H., Vekemans, J., Havinga, E., Meijer, E. (2001). Developments in the chemistry and band gap engineering of donor-acceptor substituted conjugated polymers. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 32, 1-40.
- Vayssieres, L. (2003). Growth of arrayed nanorods and nanowires of ZnO from aqueous solutions, *Advanced Materials*, 15, 464-466.
- Wang, L., Shen, P., Cao, Z., Liu, X., Huang, Y., Liu, C., Chen, P., Zhao, B., Tan, S. (2014). Effects of the acceptors in triphenylamine-based D-A'- π -A dyes on photophysical, electrochemical, and photovoltaic properties, *Journal of Power Sources*, 246, 831-839.
- Wang, Z., Qian, X.-f., Yin, J., Zhu, Z.-k. (2004). Large-scale fabrication of tower-like, flower-like, and tube-like ZnO arrays by a simple chemical solution route, *Langmuir*, 20, 3441-3448.
- Westermarck, K., Rensmo, H., Siegbahn, H., Keis, K., Hagfeldt, A., Ojamäe, L., Persson, P. (2002). PES studies of Ru(dcbpyH₂)₂(NCS)₂ adsorption on nanostructured ZnO for solar cell applications, *The Journal of Physical Chemistry B*, 106, 10102-10107.
- Yang, L., Zheng, Z., Li, Y., Wu, W., Tian, H., Wang, Z. 2015. *N*-Annulated perylene-based metal-free organic sensitizers for dye-sensitized solar cells, *Chemical Communications*, 51, 4842-4845.
- Yang, S., Liu, J., Zhou, P., Han, K., He, G. (2011). Photo-induced intramolecular charge transfer from antenna to anchor groups in phenoxazine dyes, *Chemical Physics Letters*, 512, 66-69.
- Yu, Q.-Y., Huang, J.-F., Shen, Y., Xiao, L.-M., Liu, J.-M., Kuang, D.-B., Su, C.-Y., (2013). Novel phenanthroline-based ruthenium complexes for dye-sensitized solar cells: enhancement in performance through fluoro-substitution, *RSC Advances*, 3, 19311-19318.
- Zassowski, P., Ledwon, P., Kurowska, A., Herman, A. P., Jarosz, T., Lapkowski, M., Cherpak, V., Stakhira, P., Peculyte, L., Volyniuk, D. (2017). Efficient synthesis and structural effects of ambipolar carbazole derivatives, *Synthetic Metals*, 223, 1-11.
- Zhang, Q., Cao, G. (2011). Nanostructured photoelectrodes for dye-sensitized solar cells, *Nano Today*, 6, 91-109.
- Zhang, Q., Dandeneau, C. S., Candelaria, S., Liu, D., Garcia, B. B., Zhou, X., Jeong, Y.-H., Cao, G. (2010). Effects of lithium ions on dye-sensitized ZnO aggregate solar cells, *Chemistry of Materials*, 22, 2427-2433.
- Zhang, X., Chi, Z., Yang, Z., Chen, M., Xu, B., Zhou, L., Wang, C., Zhang, Y., Liu, S., Xu, J. (2009). Synthesis of carbazole derivatives with high quantum yield and high glass transition temperature, *Optical Materials*, 32, 94-98.
- Zhang, Z.-B., Fujiki, M., Tang, H.-Z. (2002). Motonaga, M., Torimitsu, K., The first high molecular weight poly(*N*-alkyl-3,6-carbazole)s, *Macromolecules*, 35, 1988-1990.
- Zheng, J., Zhan, C., Qin, J., Zhan, R. (2002). Synthesis and fluorescence of pyridine-*N*-alkyl carbazole copolymer prepared by oxidative-coupling reaction, *Chemistry Letters*, 31, 1222-1223.



Raf Atama Yönetimi için Tamsayı Programlama Destekli Meta-Sezgisel Algoritmalar

Beray Bayazıt¹, Gülnihal Uçarkuş², Burcu Çağlar Gençosman^{3*}, Mehmet A. Beğen⁴

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5911-7818), beraybayazit@gmail.com

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8556-4192), gluhlucarkus@gmail.com

^{3*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0159-8529), burcucaglar@uludag.edu.tr

⁴ Western University, Ivey School of Business, Management Science, London, Ontario, Canada (ORCID: 0000-0001-7573-0882), mbegen@ivey.uwo.ca

(İlk Geliş Tarihi 25 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 23 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1121006)

ATIF/REFERENCE: Bayazıt, B., Uçarkuş, G., Çağlar Gençosman, B. & Beğen, M. A. (2022). Raf Atama Yönetimi için Tamsayı Programlama Destekli Meta-Sezgisel Algoritmalar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 100-117.

Öz

Perakendeciliğin en karmaşık yönlerinden biri olan perakende raf alanı yönetimi, ürünlerin hangi miktarlarda ne zaman ve nerede teşhir edileceğini belirlemek ve değişen piyasa şartlarını dikkate alarak belirlenen sergilemeyi dinamik olarak güncellemek olarak tanımlanabilir. Önemli bir problem olmasına rağmen ürünlerin dikdörtgenel yerleşimini maksimum kâr amacıyla gerçekleştiren çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada raf alanı tahsisi ve sergileme problemi için ürünlerin dikdörtgenel sergilenme adetlerinin belirlenmesi ürün kalınlıkları da dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve kârın maksimizasyonu amaçlanmıştır. İki boyutlu raf alanı tahsisi problemi çözümü için tamsayı programlama ile genetik algoritma (TP-GA) ve tamsayı programlama ile ateş böceği algoritması (TP-ABA) meta-sezgiselleri birlikte kullanılarak iki matsezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bir kitabeviden alınan gerçek veriler kullanılarak oluşturulan veri seti ile matsezgisellerin performansları karşılaştırılmıştır. TP-GA ve TP-ABA matsezgiselleri ile sırasıyla ortalama %4,47 ve %4,57 optimale yakın çözümler elde edilmiştir. Geliştirilen matsezgiseller ile 900'e kadar ürünli problemler çözülebilmektedir. İki boyutlu raf atama probleminde başarılı olan bu matsezgisel yöntemler, kitabeviden kitapların yerleşimi, perakendecilikte ürün ailelerinin yerleşimi veya İnternet sitelerinde reklamların gösterimi gibi benzer özellik taşıyan problemlerin çözümünde de kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: İki boyutlu raf alanı tahsisi problemi, Tamsayı programlama, Genetik algoritma, Ateş böceği algoritması, Matsezgisel algoritmalar.

Meta-Heuristic Algorithms based on Integer Programming for Shelf Space Allocation Problems

Abstract

Retail shelf space management, which is one of the most complex aspects of retailing, can be defined as determining when, where and in what quantities products will be displayed and dynamically updating the display considering changing market conditions. Although it is an important problem, research papers that study rectangular arrangement of products to optimize profit are limited. In this paper, we determine rectangular facing units of products to maximize profit for shelf space allocation and the display problem. To solve our two-dimensional shelf space allocation problem, we develop two matheuristic algorithms by using integer programming and genetic algorithm (TP-GA) and integer programming and firefly algorithm (TP-ABA) meta-heuristics together. The performances of the matheuristics were compared with a real-world dataset from a bookstore. TP-GA and TP-ABA methods were able to generate near-optimal solutions with an average of 4.47% and 4.57% GAPS, respectively. We can also solve instances up to 900 products. These

* Sorumlu Yazar: burcucaglar@uludag.edu.tr

matheuristic algorithms, which are successful in the two-dimensional shelf assignment problem, can also be used to solve similar problems such as allocation of books in a bookstore, allocation of product families in a grocery store, or display of advertisements on websites.

Keywords: Two-dimensional shelf space allocation problem, Integer programming, Genetic algorithm, Firefly algorithm, Matheuristic algorithms.

1. Giriş

Perakendeciliğin en karmaşık konularından biri olan perakende raf alanı yönetimi, sınırlı raf alanlarının, ürün çeşitliliğindeki hızlı artışa ve müşteri taleplerindeki dalgalanmalara yanıt verecek şekilde doğru bir şekilde yönetilmesi halinde yoğun rekabet ortamında avantaj sağlayacak bir araçtır. Perakendecilerin, hangi ürünlerin sergileneceğine (ürün yelpazesi) ve bu ürünlerin tahsis edileceği raf alanlarına sıklıkla karar vermeleri gerekir (Chen ve Lin, 2007). Ürün çeşitliliği ve raf alanı tahsisi, perakendecilikte müşterilerin satın alma kararlarını etkileyebilecek iki önemli konudur. Yapılan araştırmalar, raf alanı tahsis ve sergileme konumu gibi mağaza içi etkenlerin müşterilerin satın alma davranışları ve talepler üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir (Chen, Chen ve Tung, 2006; Nafari ve Shahrabi, 2010). Müşterilerin planlı satın alma davranışlarının yanı sıra planlanmamış satın almaları da oldukça yaygındır (Bai, 2005). Ürünlerin cazip, ilgi çekici bir şekilde yerleştirilmesi plansız satın almaları artırabilir. Yapılan araştırmalar, birçok perakende satış mağazasında plansız satın almaların bütün satın almaların üçte birini oluşturduğunu göstermektedir (Buttle, 1984). Dolayısıyla, etkili bir raf alanı yönetimi ile perakendeciler satış oranlarını ve kâr marjını artırabilir, stok devir hızını iyileştirebilir ve elde bulundurmama durumlarını azaltarak müşteri memnuniyetini artırabilirler (Özcan, 2010a; Yang ve Chen, 1999). Raf alanı yönetiminde verilmesi gereken kararlar ürün çeşitliliği planlaması, raf alanı tahsisi, raf alanı yerleşimi ve raf alanı stok miktarlarının belirlenmesi şeklinde gruplandırılabilir (Hübner, 2017; Özcan, 2010b). Bu çalışmada, dikdörtgensel yerleşim gibi spesifik özelliklere sahip bir raf alanı tahsisi problemi ele alınmıştır.

Literatürdeki çalışmalar raf alanı yönetim problemlerine göre sınıflandırılabilir gibi başka bir sınıflandırma ise raf alanı tahsisi problemlerinde önemli bir yer tutan alan esneklik (space elasticity), konum esneklik (location elasticity) ve çapraz esneklik (cross elasticity) kavramlarının dikkate alınması ile gerçekleştirilebilir. Raf alanı tahsisi problemlerinde birim satışlardaki görece değişimin raf alanındaki görece değişime oranı alan esnekliği katsayısı ile temsil edilir (Curhan, 1972; Hansen ve Heinsbroek, 1979). Konum esnekliği, ürünlerin raflardaki yatay ve dikey konumlarının ürünlerin talebi üzerindeki etkisini temsil eder. Literatürdeki çalışmalar, üst ve orta raf konumları (göz ve el seviyesi) ile koridor başlarında yer alan konumların diğer konumlara göre daha etkin olduğunu göstermektedir (Chandon, Hutchinson, Bradlow ve Young, 2009). Raf alanı tahsisi probleminde önemli bir diğer kavram ise çapraz esneklik katsayısıdır (Bianchi-Aguiar, 2015; Corstjens ve Doyle, 1981). Belirli bir ürünün sergileme alanı değişiminin ikame veya tamamlayıcı ürünün talebi üzerindeki etkisini ölçmeyi esas alan çapraz esneklik katsayısı, ikame mallar için negatif, tamamlayıcı mallar için pozitif değer almaktadır (Corstjens ve Doyle, 1981). Bu çalışmada ele alınan raf alanı tahsisi probleminde talebin alan esnekliği ve konum esnekliğinden etkilendiği varsayılmıştır.

Raf alanı tahsisi kararlarının alınmasında ürünlerin raflardaki düzeninin grafiksel gösterimleri olan planogramlar

kullanılabilir. Dinamik talep ve kıt raf alanı ile ürün tahsisini ayarlamak için etkili bir araç olan planogramlar, her bir ürünün tam (dikey ve yatay) konumunu ve ürünün raflardaki gösterim adetlerini (alan ataması) içerirler (Frontoni, Marinelli, Rosetti ve Zingaretti, 2017; Geismar, Dawande, Murthi ve Sriskandarajah, 2015; Van Nierop, Fok ve Franses, 2008). Ancak planogramların oluşturulması zor ve zaman alıcıdır çünkü ürün konumu dışında NP-Zor olarak sınıflandırılan çoklu sırt çantası probleminin çözülmesini içermektedir (Martello ve Toth, 1990; Yang ve Chen, 1999). Planogramların oluşturulmasında ürün seçimi, alan ataması ve ürünlerin düzenlenmesi kararları alınmaktadır (Hübner, Schäfer ve Schaal, 2021). Bu çalışmada ürünlerin yatay ve dikey gösterim adetleri belirlenerek alan ataması ve belirli düzenleme kısıtlamaları ile ürünlerin dikdörtgensel yerleşimi sağlanarak ürün düzenlemesi kararları alınabilmekte ve seçilmiş ürün kümesi için planogramlar üretilebilmektedir.

Bu makalede, raf alanı tahsisinde ürünlerin iki boyutta (yatay ve dikey) gösterim adetlerinin (rafın önündeki müşterilerin görebildiği birim sayısı - facing units) belirlenmesi ve ürünlerin dikdörtgensel yerleşimlerinin maksimum kâr amacıyla optimum şekilde sağlanması problemi ele alınmıştır. Gösterim adetlerinin tamsayı olması ve bir ürünün bütün gösterim adetlerinin dikdörtgen şeklinde yerleştirilmesi gibi belirli özelliklere sahip bir problemi klasik raf alanı tahsisi problemlerinden ayırt edebilmek için ele alınan problem 2BRAP (2 Boyutlu Raf Atama Problemi) olarak adlandırılmıştır. 2BRAP, kitap perakendecilerinde görülen raf atama ve sergileme problemine benzer özellikler taşıdığı gibi aynı zamanda marketlerde ürün kategorilerinin (ürün ailelerinin) dikdörtgen bir düzende dağılımı problemi veya son yıllarda gittikçe önem kazanan İnternet sayfalarında reklamların gösterimi problemine de benzemektedir.

Literatürdeki çoğu çalışmada ürünlerin tek boyutta atanması gibi basitleştirici varsayımlar kullanılmaktadır. Bu varsayımlarla uygun çözümler elde edilse de konum esnekliği faktörü göz ardı edildiğinden elde edilen çözümler pratik yerleşimleri temsil edemeyebilirler. Diğer taraftan, ürünün gösterim adetleri talebi etkileyen faktörlerdendir. Literatürdeki çalışmaların çoğu yatay gösterim adetlerini dikkate alırken dikeydeki gösterim adetlerini göz ardı etmektedir (Bianchi-Aguiar, Hübner, Carravilla ve Oliveira, 2021) ve sabit sergileme gösterim adedi olduğunu varsaymaktadır. Literatürde raf alanı tahsisinde iki boyutta (yatay ve dikey) gösterim adetlerinin belirlenmesi ve bu adetlerin dikdörtgensel yerleşimi sağlayacak şekilde yerleştirilmesi çalışmaları çok sınırlıdır (Çağlar Gençosman ve Beğen, 2022; Geismar ve diğerleri, 2015; Hübner ve diğerleri, 2021). Öte yandan, bu çalışmada geliştirilen algoritmalarla optimale yakın çözümler bulunabilmekte ve büyük ürün sayılı problemler çözülebilmektedir. Dolayısıyla çalışmada önerilen çözüm yaklaşımları ile literatüre katkı sağlanmıştır.

2BRAP çözümünü için ilk olarak Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) bir tamsayı programlama modeli (MIP1) ve iteratif bir matematiksel programlama modeli (IP1/IP2) geliştirmiştir. Bu çalışmada ise tamsayı programlama (TP) ile meta-sezgisel algoritmaların güçlü yönleri birleştirilerek matsezgisel

algoritmalar geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımlarda TP modeliyle dikdörtgensel gösterim için gerekli yatay ve dikey gösterim adetleri belirlenmiş ve sonrasında meta-sezgisel yöntemler ile dikdörtgensel gösterimi sağlayan yerleşimler elde edilmiştir. Tamsayılı programlama ve genetik algoritma ile TP-GA ve tamsayılı programlama ve ateş böceği algoritması ile TP-ABA matsezigiselleri ile optimale yakın uygun çözümlerin kabul edilebilir sürelerde elde edilmesi hedeflenmiştir.

Makalenin ana hatları şu şekildedir: Bölüm 1.1.'de raf atama problemi ile ilgili literatürdeki çalışmalara değinilmiştir. Bölüm 2'de problem tanımı, deneylerde kullanılan veri setleri ve problem çözümü için geliştirilen yöntemler anlatılmıştır. Bölüm 3'te deney sonuçları, bulgular ve tartışma yer almaktadır. Sonrasında sonuç ve teşekkür bölümleri ile çalışma tamamlanmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Raf alanı tahsisi probleminde farklı amaçlar ve farklı karakteristikler ele alınarak, çözümü için kesin, sezgisel, meta-sezgisel ve hiper-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Bai ve Kendall, 2008; Hwang, Choi ve Lee, 2005; Lim, Rodrigues ve Zhang, 2004; Özçelik ve Gündüz, 2019; Yalçiner ve Can, 2019; Yang, 2001). Bu çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından derlenmiş ve yöntemlerin karşılaştırmaları yapılmıştır (Bai, 2005; Bianchi-Aguiar, 2015; Bianchi-Aguiar ve diğerleri, 2021; Hansen, Raut ve Swami, 2010; Hübner ve Kuhn, 2012; Özcan, 2010a). 1960'lı yıllardan itibaren çalışılan raf alanı tahsis problemlerine (Cox, 1970; Kotzan ve Evanson, 1969) ilişkin önemli bir literatür vardır, ancak bu çalışmada dikey atama ve/veya yatay konumlandırmayı dikdörtgen atama ile ele alan çalışmalara yer verilmiştir.

Van Nierop ve diğerleri (2008), raf alanı ve raf yerleşiminin satışlar üzerindeki etkisini ölçmek için istatistiksel bir model geliştirmişler ve bir süpermarket zincirinde kâr maksimize eden raf yerleşimlerini bulmak için tavlama dayalı bir sezgisel optimizasyon tekniği önermişlerdir. Hwang, Choi ve Lee (2009), dikdörtgen raf alanında sergilenen çeşitli marka ürünlerle raf alanı tasarımı ve ürün tahsisi problemini ele almışlar ve kâr maksimizasyonunu hedefleyen doğrusal olmayan bir programlama modeli ile genetik algoritma tabanlı sezgisel yöntemler geliştirmişlerdir. Hansen ve diğerleri (2010) çalışmalarında doğrusal olmayan kâr fonksiyonu, konum etkileri ve ürün çapraz esneklik katsayılarını dikkate alarak yeni bir doğrusal model önermişlerdir. Doğrusal programlama modeli ile daha küçük problemler çözülebildiğinden, büyük boyutlu problemler için genetik algoritma tabanlı bir meta-sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Russell ve Urban (2010) ürün ailelerini, ürünlerin yatay ve dikey konumlarını da göz önüne alarak matematiksel model önermişler ve büyük problemler için raf parçalama yaklaşımına dayalı bir alternatif sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Özcan ve Esnaf (2013) bir kitap perakendecisinde yerleşim problemini ele almışlar ve karışık tamsayılı matematiksel model ile birlikte yasak arama ve genetik algoritma sezgisellerini kullanarak bir gerçek hayat problemine çözüm üretmişlerdir. Bai, van Woensel, Kendall ve Burke (2013) iki boyutlu bir raf alanı tahsisi problemi çözümü için bir tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Doğrusal olmayan programlama modeli ile orta büyüklükteki örnekleri çözememişler ve sezgisel yaklaşımlara yönelerek tavlama benzetimi algoritması ile bir hiper-sezgisel öğrenme mekanizması geliştirmişlerdir. Geismar ve diğerleri

(2015) bir DVD kiralama firmasında DVD'lerin maksimum getiri amacıyla raflara yerleşimi problemini ele almışlardır. İki boyutlu gösterim problemi çözümü için doğrusal tamsayılı bir matematiksel model önermişler ancak tek boyutta ardışıklığı sağlamışlardır. Dikdörtgensel yerleşim için ise tamsayılı programlama ve ağırlıklandırılmış bağımsız küme problemi kombinasyonunu kullanmışlar, sonrasında ise bir sezgisel yöntem ile alfabetik sıralama sağlamışlardır. Zhao, Zhou ve Wahab (2016), her bir ürüne olan talebin sadece diğer ürünlere ayrılan raf alanına ve görüntülenen konumlarına değil, aynı zamanda ürünler arasındaki mekansal ilişkilere de bağlı olduğunu kabul etmişler ve ortak optimizasyon modelini çözmek için çok aşamalı tavlama benzetimi tabanlı bir hiper-sezgisel algoritma önermişlerdir. Rabbani, Salmanzadeh-Meydani, Farshbaf-Geranmayeh ve Fadakar-Gabalou (2018) çalışmalarında çapraz esneklik, konum esnekliği ve rafların yatay ve dikey yükseklikleri ile derinliğini dikkate almışlardır. Gösterim yönünü de dikkate aldıkları problem çözümü için raf yüksekliklerini değişken alarak karışık tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmişler ve büyük boyutlu problemlere de genetik algoritma uygulamışlardır. Bianchi-Aguiar, Silva, Guimarães, Carravilla ve Oliveira (2018) gösterim yönü yanında ürün ailelerini de göz önünde bulundurarak raf atama problemini ele almışlar ve matematiksel programlama tabanlı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Hübner ve diğerleri (2021), Geismar ve diğerleri (2015) çalışmasını genişletmiş ve 2BRAP için stokastik bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemler için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel önermişler ve sezgisel çözümlerin kalitesini tek boyuta gevşetilmiş matematiksel model ile ölçmüşlerdir. Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmalarında 2BRAP'ı ele almışlar ve problem çözümü için mantık-tabanlı Benders algoritması geliştirmişlerdir. Sonrasında ayrıştırma yöntemleri ile gerçek boyutlu problemlerin optimal çözümlerine ulaşmışlardır. Bu çalışma ise Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasının devamı niteliğindedir. Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasındaki tamsayılı matematiksel modeldeki (MIP1) ardışıklık kısıtları gevşetilmiş ve amaç fonksiyonu kaldırılarak sadece uygun çözümlerin elde edilebildiği yeni bir tamsayılı matematiksel model (TP) önerilmiştir. TP modeli ile meta-sezgisel yöntemlerden genetik algoritma (TP-GA) ve ateş böceği algoritması (TP-ABA) bir arada kullanılarak iki adet matsezigisel algoritma geliştirilerek daha büyük problemlerin çözülmesi hedeflenmiş ve başarılmıştır.

Literatürde iki boyutlu raf alanı tahsisi problemi için farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiş olsa da tamsayılı programlama ile genetik algoritma ve ateş böceği algoritması meta-sezgisel yöntemlerinin bir arada kullanıldığı matsezigiseller sınırlı sayıda ve bilindiği kadarıyla ateş böceği algoritması ile desteklenen bir matsezigisel 2BRAP için henüz geliştirilmemiştir. Genetik algoritma ile desteklenen matematiksel modeller ise doğrusal olmayan yapıdadır (Hübner ve diğerleri, 2021). Dolayısıyla, çalışmada geliştirilen yenilikçi çözüm yöntemleri ile de literatüre katkı sağlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. İki Boyutlu Raf Atama Problemi (2BRAP)

Bu çalışma, bir kitabevinde maksimum kâr amacıyla kitapların raflara dikdörtgensel yerleştirilmesi problemini çözebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kitabevi yönetimi, kitapların görünürlüğünü ve erişimini artırmak amacıyla bir kitaptan birden fazla adette ve dikdörtgen düzenleme ile yerleştirmektedir. Bu aşamada kitabevi dikdörtgensel yerleşimi sağlasa da raf alanlarının seçiminde sistematik bir yaklaşım uygulamamaktadır ve yerleşim kararları geçmiş deneyimlere ve önceki tahsis yerlerine göre verilmektedir. Kitabevinin, satışları ve dolayısıyla kârı arttıracak dikdörtgensel yerleşimleri belirleyebilen, bir diğer ifade ile iki boyutlu raf alanı tahsisi (atama) olarak sınıflandırılan bu problemi çözebilen yöntemlere ihtiyacı vardır.

İki boyutlu raf atama problemi; ürünlerin kalınlıklarının da dikkate alındığı iki boyutta (x-boyutu / genişlik ve y-boyutu / yükseklik) gösterim adetlerinin (*facing units*) maksimum kâr amacıyla belirlenerek bitişik dikdörtgensel yerleşimi sağlayacak şekilde raflara atanması problemidir. D adet ürün farklı şekil ve boyutta olabilir ve bunlar K adet kabinde sergilenebilir. K kabininin R_k adet satırı ve C_k adet sütunu vardır; dolayısıyla bir kabin $R_k * C_k$ adet hücre kapasitelidir. Gösterim adetleri başlangıçta bilinmemekte ve ürünlerin kârı göz önüne alınarak geliştirilen çözüm algoritmaları tarafından belirlenmektedir. Raf içi stoklama yapılmamaktadır, dolayısıyla çözüm aşamasında belirlenen adetlerde raf hücrelerine yalnızca bir birim ürün atanmaktadır. Ürünler boş hücre kalmayacak şekilde sınırlı raf alanına yerleştirilirler ve raflardaki satırların etki değerleri orta raflarda yüksek iken, yukarı ve aşağı raflara gidildikçe azalmaktadır. Bir ürünün bütün gösterim adetleri aynı kabine atanmalıdır. Bir d ürünü birden fazla satıra atanırsa, bu satırlar ardışık olmalıdır ve bu ürünün gösterim adetleri ardışık satırlarda aynı olmalıdır (w_d). Ayrıca, eğer ürün birden fazla sütuna tahsis edilmişse, bu sütunların ardışık olması ve ardışık sütunlardaki ürünün gösterim adetlerinin (h_d) eşit olması gerekir. Bu şekilde, bir ürüne ait bütün birimler bitişik bir dikdörtgen şeklinde kabinde yerleştirilebilir. Bir satırda yer alacak ürün sayısını belirlemede önemli olan ürün kalınlıkları ile hücre sayısı netleşir. Hücrelerin adetleri minimum kalınlıktaki ürün dikkate alınarak belirlenir. Kalınlığı farklı olan ürünlerin kaplayacağı hücre sayısı ise minimum kalınlık ile oranlanarak hesaplanır. Dolayısıyla atanan ürünlerin kalınlıklarına bağlı olarak satırlardaki uygun yerleşim hücre adetleri değişkenlik gösterir. Ürün kalınlıklarının hesaplanması ve bu değerlere göre sütun sayılarının belirlenmesi ile ilgili detaylı bilgiye Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasından ulaşılabilir.

Bir d ürününün bir gösterim adedinden elde edilen gelir V_d 'dir ve her k kabinindeki i sırasının gösterim etkinliği A_i 'dir. Dreze, Hoch ve Purk, (1994) çalışmalarında göz hizasındaki rafların/satırların diğerlerinden daha önemli olduğunu ve kâr maksimizasyonuna etki ettiğini göstermişlerdir. Her kabinde sabit olan sekiz satır için etki değerleri, göz hizasındakiler (4.satır ve 5.satır) en yüksek etki değerine ve uç sıralar en düşük etki değerine (1.satır ve 8.satır) sahip olacak şekilde $A_i = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8) = (5, 6, 7, 8, 8, 7, 6, 5)$ belirlenmiştir.

Daha önce de bahsedildiği gibi ele alınan iki boyutlu raf atama probleminde talebin alan esnekliği ve konum

esnekliğinden etkilendiği kabul edilmiş ve dikey etkiler ve çapraz-esneklik etkileri dikkate alınmamıştır. Literatürdeki çalışmalar da bu kabulün geçerli olduğunu desteklemektedir (Bianchi-Aguiar ve diğerleri, 2018; Chandon ve diğerleri, 2009; Dreze ve diğerleri, 1994; Kök, Fisher ve Vaidyanathan, 2015; Yang ve Chen, 1999). Talep fonksiyonu $Q_{dik}(n_{dik})$ eşitlik (1)'deki gibi tanımlanmıştır. Bir d ürününün k kabininde i satırındaki gösterim adedi n_{dik} , d ürününün bir gösterim adedine olan minimum talebe eşit (bu problemde 1'dir) değiştirilmemiş temel talep α_d , ve alan esnekliği β_{dik} terimleri ile temsil edilmiştir.

$$Q_{dik} = \alpha_d * n_{dik}^{\beta_{dik}} \quad (1)$$

Kârın maksimizasyonunu hedefleyen amaç fonksiyonu, ürünlerin konumuna bağlıdır ve ürünlerin satırlardaki konumlarını (dikey konumlarını) ve gösterim adetlerini değiştirerek kârı maksimize etmeyi amaçlar. Ürün d 'den elde edilen kârın V_d olduğu göz önüne alındığında, amaç fonksiyonu, eşitlik 2'deki gibi doğrusal olmayan S-şekilli Gompertz büyüme modeli kullanılarak modellenebilir (Dreze ve diğerleri, 1994).

$$z = V_d * \alpha_d * n_{dik}^{\beta_{dik}} \quad (2)$$

Yang ve Chen (1999) çalışmalarında amaç fonksiyonunu doğrusal hale getirmek için β_{dik} tahmininin mümkün olmadığı durumlarda yaklaşıklığın geçerli olmasını sağlamak amacıyla gösterim adetlerinin üst ve alt sınırlarını kullanmayı önermişler ve ürün kârının az sayıda gösterim adedi olduğunda doğrusal olduğunu varsayımlardır. Bu çalışmada da d ürünü gösterim adetlerinin üst sınırı/alt sınırı U_d/L_d ile temsil edilmekte ve kitabevi tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla bu varsayım 2BRAP için kullanıldığında, amaç fonksiyonu eşitlik (3)'de olduğu gibi doğrusal hale gelebilir ve dikey konum etkisi, her i satırı için tanımlanan A_i satır etkinliği ile fonksiyona yansıtılır.

$$z = V_d * A_i * \alpha_d * n_{dik} \quad (3)$$

Bir k kabininde i satırındaki d ürünü için potansiyel kâr z , d ürününden elde edilen kâr (V_d), i satırının etkinliği (A_i) ve d ürünün bir gösterim adedi için olan minimum talep ($\alpha_d = 1$) ve k kabininde i satırında d ürününün gösterim adedi (n_{dik}) çarpılarak hesaplanır. Bu amaç fonksiyonu çalışmada geliştirilen yöntemler tarafından bulunan çözümlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

İki boyutlu sırt çantası problemleri sınıfına ait olan 2BRAP bir NP-Zor problemidir. İki boyutlu sırt çantası problemlerinde, belirli bir genişliğe ($S^{genişlik}$) ve derinliğe ($S^{derinlik}$) sahip iki boyutlu dikdörtgen bir S alanına bir dizi $r \in R$ dikdörtgenin atanması sağlanır (Hübner ve diğerleri, 2021). Ele alınan problemde kitabevindeki bir kabin, belirli bir genişlik (C_k) ve yüksekliğe (R_k) sahip, kapasiteli, iki boyutlu dikdörtgen bir K alanıdır. Bir r dikdörtgeni, ögenin kendisini değil, genişlik ve yükseklik olmak üzere iki boyutu olan gösterim alanını temsil eder. Kabinde bulunan rafların yükseklikleri/sınırları göz ardı edilebilir çünkü bu sınırlar r dikdörtgenlerin dağılımını, yerleşimini ve boyutlarını kısıtlamaz. Ayrıca çözüm için geliştirilen matematiksel modeller, raf içi yüksekliği ile ilgili herhangi bir kısıt barındırmamaktadır. Bu nedenle kabinler, iç rafların sınırlarından bağımsız olarak, belli bir kapasiteye sahip iki boyutlu dikdörtgen bir alan haline gelirler. Bununla beraber 2BRAP iki boyutlu sırt çantası problemine kıyasla bir diğer zorlayıcı yanı da dikdörtgenlerin boyutlarının başlangıçta

bilinmemesi ve önerilen çözüm yöntemlerinin ürünlerin genişliğini ve yüksekliğini belirlemesi gerekliliğidir. Sonuç olarak 2BRAP çözümü için geliştirilen yöntemler iki boyutlu sırt çantası problemlerinin ve literatürdeki benzer problemlerin çözümünde kullanılabilir. 2BRAP çözümü için geliştirilen yöntemler sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

2.2. Çözüm Yöntemleri

Bu çalışmada ele alınan 2BRAP çözümü için Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) tarafından bir tamsayılı matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir (MIP1). MIP1 modeli ile ürünlerin gösterim adetleri satırda ve sütunda ardışık olarak yerleştirilmektedir. Ancak satırda ve sütunda ardışıklık kısıtlarının eşzamanlı değerlendirilmesi büyük problemlerin kabul edilebilir sürelerde çözülmesini zorlaştırmıştır. Bu sebeple bu makalede meta-sezgisel yöntemler kullanılmış ve problem çözümü için genetik algoritma ve ateş böceği algoritması tabanlı matsezigisel yaklaşımlar önerilmiştir.

Popülasyon tabanlı olan meta-sezgisellerden genetik algoritma ve ateş böceği algoritmasında popülasyonu oluşturan bireylerin uygun çözümler olması gerekmektedir. Çözüm başlangıcında ürünlerin satırdaki (w_d) ve sütundaki adetleri (h_d) belli olmadığından bu değişkenlerin meta-sezgisel algoritmalar tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu algoritmalar ile uygun çözümü sağlayan genişlik ve yükseklik değerlerine sahip bireyleri üretmek oldukça zordur. Bu sebeple başlangıç popülasyonu oluşturma aşamasında tamsayılı programlamadan yararlanılmış ve EK-A'da detayları verilen tamsayılı programlama (TP) modeli geliştirilmiştir. TP modelinde satırda ve sütunda ardışıklığı sağlayan kısıtlar kullanılmamıştır. TP modelinin bir optimal çözüm bulması yerine ilgili problem için bütün uygun çözümleri bulması ve kaydetmesi sağlanmıştır. Bu çözümler daha sonra kural tabanlı bir algoritma (KTA) kullanılarak popülasyon büyüklüğü adedince farklılaştırılarak çoğaltılmıştır. Meta-sezgisel algoritmalar, TP tarafından belirlenen ve KTA tarafından çoğaltılan popülasyon ile çözüme başlamış ve her birey için satır ve sütun ardışıklarının sağlandığı çözümleri elde ederek eşitlik (3)'de verilen amaç fonksiyonu ile kârı hesaplamışlardır. Amaç fonksiyonu değerlerine göre meta-sezgisel algoritmaların adımları uygulanmıştır. Algoritmaların adımları sonraki bölümlerde detaylandırılmıştır.

2.3. Tamsayılı Programlama ve Genetik Algoritma Tabanlı Matsezigisel: TP-GA

Meta-sezgisel algoritmalar sınıfına dahil olan genetik algoritma, Holland (1975) tarafından tanıtıldığı günden bugüne kadar birçok kombinatoriyal optimizasyon problemi çözümünde başarıyla kullanılmıştır. Biyolojik organizmaların genetik işlemlerine dayanan ve popülasyon tabanlı bir sezgisel olan genetik algoritmada popülasyondaki bireylerin her birinin uygun çözüm olması gerekir. 2BRAP çözümünde popülasyondaki bireylerin ardışıklık kısıtları dikkate alınarak üretilmesi ve her birinin uygunluğunun kontrolü, genetik algoritmanın performansını düşürmüştür. Tek başına çözüm için kullanılan genetik algoritmaya alternatif olarak matematiksel programlama ve genetik algoritma tabanlı bir matsezigisel yaklaşım (TP-GA) geliştirilmiştir.

TP-GA matsezigiselinde, problem EK-A'da verilen TP matematiksel modeli ile çözümlü kural tabanlı bir algoritma ile (KTA) popülasyon büyüklüğü adedince uygun çözüm üretilmesi

sağlanır. Sözde kodu Tablo 1'de verilen KTA ile uygun çözümlerdeki d ürününün atandığı kabin (x_d), gösterim genişliği (w_d) ve gösterim yüksekliği (h_d) belirlenir. Sonrasında uygun çözümü sağlayan bu değerler genetik algoritmaya gönderilir ve algoritma tarafından ürünlerin ataması yapılır. TP-GA matsezigiselinin sözde kodu Tablo 2'deki gibidir. Matsezigiseldeki genetik algoritma (GA) parametreleri (çaprazlama oranı P_c , mutasyon oranı P_m , popülasyon büyüklüğü P , maksimum iterasyon sayısı I_{max}) tanımlanır ve uygunluk fonksiyonu (kâr maksimizasyonu) belirlenir. TP modelinden elde edilen uygun çözümler ve KTA'dan yararlanarak popülasyon büyüklüğü kadar birey üretilir. En iyi çözüm önceden belirlenen maksimum iterasyon sayısı (I_{max}) kadar değişmeye kadar P_c oranına göre çaprazlama ve P_m oranına göre mutasyon işlemleri sırasıyla uygulanır.

Tablo 1. KTA sözde kodu (Table 1. KTA Pseudo Code)

$S_j = \emptyset, \forall j=1, \dots, D$ (maksimum ürün adedi) (S_j =atanan ürünler kümesi)
 A_{pj} =j ürünün kapladığı alan (satır*sütun)
 A_{ci} = i kabinin kalan alanı (satır*sütun)
 $T_{yki}=1$, i kabininin y satırının k sütununa ürün atanmışsa; eğer atanmamışsa =0.

1. **Begin**
2. While (bütün ürünler kabinlere atanana kadar) ($s(S_j)$ =ürün adedi)
 3. Her j ürününü yüksekliklerine (h_j) göre sırala.
 4. For i=1: kabin sayısı
 5. For j=1: ürün sayısı
 6. If ($A_{pj} \leq A_{ci}$) AND ($j \notin S_j$)
 7. j ürününü $y = \text{rand}(1, \text{satır sayısı}+1)$ satırına ata.
 8. For k=1: i kabininin sütun sayısı
 9. If ($h_j + y \leq i$. kabininin sütun sayısı) AND ($w_j + k \leq i$. kabininin satır sayısı)
 10. If isAssigned(y, h_j, k, w_j, i) <> 0
 11. $S_j = S_j \cup \{j\}$
 12. $A_{ci} = A_{ci} - A_{pj}$
 13. Break;
 14. End For k
 15. End For j
 16. End For i
 17. End While
 18. **End**
 19. **Metot:** isAssigned (y, h_j, k, w_j, i)
 20. For a=y: $y+h_j$
 21. For b=k: $k+w_j$
 22. If $T_{abi}=0$
 23. Return 1
 24. Else break and return 0

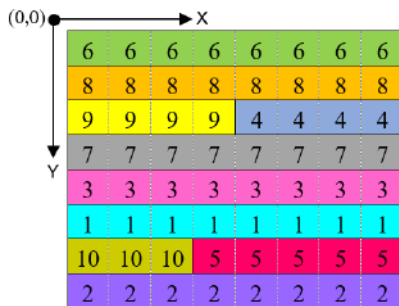
Geliştirilen TP-GA matsezigiselindeki GA işleyişi ile ilgili detaylar aşağıda belirtilmiştir.

Kromozom Gösterimi: Kromozomun genlerinde sırasıyla her ürün için sergileme yüksekliği, sergileme genişliği, sergilendiği X konumu değeri, sergilendiği Y konumu değeri, atandığı kabin numarası ve uygunluk fonksiyonu değerleri tutulmaktadır. Şekil 1'de kromozomun ilk geninde 1 numaralı ürünün, 1 numaralı kabinin sol üst köşesinden X koordinatında 5 birim, Y koordinatında 0 birim uzaklıkta konumunun başlayacağı bilgisi yer almaktadır. 1 numaralı ürün bu konumdan itibaren sağa doğru 8 birim genişlikte ve 1 birim yükseklikte yer kaplamaktadır.

Tablo 2. TP-GA sözde kodu (Table 2. TP-GA Pseudo Code)

1. **Begin**
2. Parametreleri tanımla ve uygunluk fonksiyonu (amaç fonk.) belirle.
3. TP ile bütün uygun çözümleri bul, $U = \{U_1, \dots, U_{max}\}$.
4. Her U kümesindeki her d ürünü için x_d , w_d , h_d değerlerini elde et.
5. x_d , w_d , h_d değerlerini kaydet.
6. **For** $i=1: U_{max}$
7. KTA ile uygun birey q_i üret.
8. Her q_i bireyinin x_d , w_d , h_d değerleri ile kabindeki satır ve sütun başlangıçlarını belirle.
9. q_i uygunluk değerini hesapla.
10. $P = P \cup q_i$, yeni bireyi popülasyona ekle.
11. **End For** i
12. **If** ($U_{max} < P$) -Uygun çözüm adetleri popülasyon büyüklüğünden küçük olduğunda;
13. **For** $i=U_{max}: P$
14. U kümesinden rastgele bir çözüm seç.
15. KTA ile uygun birey q_i üret.
16. Her q_i bireyinin x_d , w_d , h_d değerleri ile kabindeki satır ve sütun başlangıçlarını belirle.
17. q_i uygunluk değerini hesapla.
18. $P = P \cup q_i$, yeni bireyi popülasyona ekle.
19. **End For** i
20. **End If**
21. Nesil iyileştirmek için Turnuva Seçim Yöntemi uygula.
22. **While** ($t < \text{Maksimum iterasyon sayısı } (I_{max})$)
23. Rastgele seçilen iki birey q_1 ve q_2 için P_c çaprazlama oranına göre çaprazlama operatörü uygulayarak q_1' ve q_2' yavrularını elde et.
24. Rastgele seçilen birey için P_m mutasyon oranına göre mutasyon operatörü uygula ve yeni bireyin uygunluk değerini hesapla.
25. Yeni nesilde en iyiyi (q_{best}^t) bul.
26. **If** $q_{best}^{t-1} < q_{best}^t$ **then**
27. $t = t + 1$
28. **End If**
29. **End While**
30. En iyi bireyi (q_{best}) belirle.
31. **End**

Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	8	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y Konumu	5	7	4	2	6	0	3	1	2	6
X Konumu	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Şekil 1. Örnek kromozom ve kromozomun çözülmesi (Figure 1. A sample of chromosome and the analysis of the chromosome)

Başlangıç Popülasyonu: Başlangıç popülasyonu, kullanıcı tarafından belirlenen adette (P) TP modelinden gelen sergileme kabini, sergileme genişlik ve sergileme yükseklik değerlerine göre kabine ataması yapılmış bireylerden oluşur.

Uygunluk Fonksiyonu: Kromozomda saklanan bilgileri kullanarak amaç fonksiyon değeri, kabinde bulunan her bir rafın etki değeriyle, ürünün kâr değerinin çarpılmasıyla elde edilir. Her bireyin amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu olarak amaç fonksiyonu değeri tercih edilmiştir.

Kromozom seçimi: Mevcut popülasyondan bir grup birey, seçim aşamasında üreme basamağı için eşleşme havuzu oluşturmak üzere seçilir. Seçimin amacı, iyi bireyleri tutmak ve kötü bireyleri bir nesilden diğerine geçerken ortadan kaldırmaktır. Popülasyon büyüklüğünce (P adet) birey olana kadar turnuva seçim tekniği uygulanır. Böylece, yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip olan kromozom, düşük amaç değerine sahip olan kromozomdan daha fazla seçilme şansına sahip olduğundan nesil iyileşmektedir. Kromozomlar üreme için seçildikten sonra, çaprazlama ve mutasyon operatörleri yavruları üretmek için uygulanır.

Çaprazlama Operatörü: Çaprazlama operatörü, gelecek nesillere eklenecek iki yeni kromozom üretmek için seçilen iki kromozomun genlerini yeniden birleştirir. Her ebeveynin en iyi özelliklerini almayı ve kalan özellikleri yavruları oluşturma aşamasında karıştırmayı amaçlar. Tek noktada çaprazlama, ürünün kabindeki yükseklik ve genişlik genlerine uygulanmaktadır. Toplam ürün sayısı D adet olduğunda $k \in [2, D-1]$ tamsayı pozisyonunda düzgün dağılım ile rastgele bir çaprazlama noktası üretilir. İlk ebeveyndeki l 'den k 'ya kadar olan kısım, birinci yavruya kopyalanır ve daha sonra bu yeni parça dizilerinin kalan kısmı, ikinci ebeveynde görüldüğü gibi aynı sırada tamamlanır ve simetrik işlem ile ikinci yavru üretilir. Şekil 2'de çaprazlama işlemine örnek verilmiştir. Düzgün dağılım ile rastgele üretilen çaprazlama noktası ($k=3$) siyah çizgi ile belirtilmiştir. 1.yavrunun bu k noktasına kadar olan sıralaması ilk ebeveyninden ve kalan gen sıralaması da ikinci ebeveyninden gelmektedir. Benzer şekilde, 2.yavrunun da bu k noktasına kadar olan sıralaması ikinci ebeveyninden ve kalan gen sıralaması da ilk ebeveyninden gelmektedir. Daha sonra ilgili genişlik, yükseklik değerleriyle atamalar yapılır. Çaprazlama sonucunda uygun çözüme uymayan yavruların oluşmaması için, yavruların üretimi aşaması takip edilir ve gerekli düzenlemeler yapılır. Kabindeki boş hürelere kalan ürünler sığmıyorsa yeniden atama yapılır. Bu aşamada, ürünlerin X konumu ve Y konumu sabit olan genişlik ve yükseklik değerleriyle yeniden hesaplanır. Daha sonra, üretilen yavrulardan amaç fonksiyonu değeri ebeveyninkinden büyük olan yavru, ebeveynin yerine geçer. Çaprazlama operatörünü uygulama olasılığı, çaprazlama oranı P_c ile belirlenir.

Mutasyon Operatörü: Mutasyon işlemi, bireylere rastgele genler ekleyerek veya bireylerin kromozomlarını değiştirerek daha geniş bir çözüm alanının taranmasını amaçlar. Şekil 3'te görüldüğü gibi rastgele seçilmiş bir bireyin, aynı boyutta sergileme alanı kaplayan ürünlerinin yerleri değiştirilmektedir. Bu örnekte Ürün-3 ve Ürün-7 yer değiştirmiştir. Mutasyon operatörünün uygulama olasılığı, önceden tanımlanmış mutasyon oranı P_m ile belirlenir.

2.4. Tamsayı Programlama ve Ateş Böceği Algoritması Tabanlı Matsezgisel: TP-ABA

Ateş böceği algoritması (*firefly algorithm*) Yang (2008) tarafından ateş böceklerinin sosyal davranışlarının benzetimine dayanarak geliştirilmiş güçlü ve etkili bir sürü tabanlı matsezgisel algoritmadır. Ateş böceklerinin parlaklığa duyarlı sosyal davranışlarını ele alarak geliştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar ve deneysel karşılaştırmalar, ateş böceği algoritmasının yüksek başarı oranları ile global optimum değeri bulmakta çok etkili olduğunu ve hem parçacık sürü optimizasyonu hem de genetik algorithmadan üstün olduğunu göstermektedir (Yang 2009). Ayrıca literatürde 2BRAP'ne benzer problemlerde (2 boyutlu kesme problemi, paketleme problemi vb.) ateşböceği algoritması ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında ele alınan problem çözümü için matematiksel programlama ve ateş böceği algoritması tabanlı bir matsezgisel yaklaşım (TP-ABA) geliştirilmiş ve sözde kodu Tablo 3'de özetlenmiştir. TP-ABA'daki ateş böceği algoritmasının (ABA) işleyişi ile ilgili detaylar aşağıda belirtilmiştir.

Çözüm Gösterimi: Bölüm 2.3'de detaylandırılan genetik algorithmada kullanılan çözüm yaklaşımı bu algorithmada da kullanılmıştır. Kromozomların genleri, ateş böceklerinin de parametre boyutları olarak tanımlanmıştır.

Başlangıç Popülasyonu: İlk popülasyonun kalitesi, bir algoritmanın performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Başlangıç popülasyonunda hem problemin özelliğini hem de çözüm kalitesini dikkate alarak, TP modeli çözülmüş ve uygun çözümlerin kabin, genişlik ve yükseklik değerleri elde edilmiştir. Daha sonra bu değerlere göre ürünler Tablo 3 adım 3'de gösterildiği gibi uygun boyutlarda kabinlerine atanarak başlangıç popülasyonu (P) kadar ateş böcekleri üretilmiştir.

Uygunluk Fonksiyonu: Ateş böceğinde saklanan bilgileri kullanarak amaç fonksiyon değeri, kabinde bulunan her bir rafın etki değeri ve ürünün kâr değeri çarpılarak elde edilmiştir. Uygunluk fonksiyonu olarak amaç fonksiyonu değeri tercih edilmiştir.

Çözüm Güncelleme: ABA'da oluşturulan her bir ateş böceği diğer tüm ateş böceklerini kontrol eder ve kendinden parlak olan ateş böcekleri için formüle bağlı olarak onlara doğru hareket ederken eğer parlak değilse rastgele hareket gerçekleştirir.

Uzaklık hesabı: İki ateş böceği arasındaki mesafe (r) bulunurken, her iki ateş böceği (i ve j) arasındaki, sırasıyla x_i ve x_j konumlarındaki mesafe, Hamming uzaklığı kullanılarak ölçülmüştür. Hamming uzaklığı, bilgisayar bilimlerinde aynı uzunluktaki iki dizinin birbirine dönüşebilmesi için gerekli olan yer değiştirme sayısıdır (Hamming, 1950). Örneğin [100011101] ile [100101101] dizileri arasındaki Hamming uzaklığı, benzemeyen hane sayıları toplamı, yani 2 olacaktır.

Işık yoğunluğu: Işık kaynağının belli bir uzaklıktaki şiddetidir. Ateş böceğinin uygunluk değeri ışık yoğunluğu olarak belirlenmiştir.

Çekicilik: Bir ateş böceğinin çekiciliği, ışık yoğunluğuyla belirlenir. Her ateş böceği, diğer ateş böceklerini ne kadar güçlü çektiğini belirten kendine özgü çekiciliğe (β) sahiptir. Geliştirilen algorithmada, ateş böceğinin çekiciliği eşitlik (4) ile hesaplanmıştır (Karthikeyan, Asokan ve Nickolas, 2014).

1.Ebeveyn										
Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	8	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y Konumu	6	5	0	4	1	7	3	2	4	1
X Konumu	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.Ebeveyn										
Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	4	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Y Konumu	7	6	5	2	4	3	1	0	2	4
X Konumu	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1.Yavru										
Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	4	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Y Konumu										
X Konumu										
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.Yavru										
Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	8	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y Konumu										
X Konumu										
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Şekil 2. Çaprazlama operatörü (Figure 2. Cross-over operator)

Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	8	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y Konumu	5	7	4	2	6	0	3	1	2	6
X Konumu	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ürün No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Genişlik	8	8	8	4	5	8	8	8	4	3
Yükseklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y Konumu	5	7	3	2	6	0	4	1	2	6
X Konumu	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
Kabin No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	4	4	4	4	4	4	4
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Şekil 3. Mutasyon operatörü (Figure 3. Mutation operator)

Durdurma Kriteri: Durdurma kriteri, algoritmanın performansını etkilediği için genetik algoritmanın tasarımında önemli kararlardan biridir. Önerilen genetik algoritma, önceden tanımlanmış bir maksimum iterasyon sayısına kadar en iyi çözüm değişmediğinde durmaktadır.

TP-GA algoritmasına alternatif olarak popülasyon tabanlı ve son yıllarda popülerliği hızla artan ateş böceği algoritması da değerlendirilmiştir. Benzer şekilde TP-ABA algoritması geliştirilmiş ve sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

$$\beta(r) = \beta_0 / (1 + (\gamma r)^2) \quad (4)$$

Formülde yer alan γ , sabit emilim katsayısını ifade ederken β_0 , ateş böceğinin parlaklığı yani uygunluk değeridir. Fakat daha hızlı bir çözüm için $\beta_0=1$ olarak alınmıştır.

Tablo 3. TP-ABA sözde kodu (Table 3. TP-ABA Pseudo Code)

1. **Begin**
2. Parametreleri tanımla ve uygunluk fonksiyonu belirle.
3. TP ile bütün uygun çözümleri bul, $U=\{U_1, \dots, U_{\max}\}$.
4. Her U kümesindeki her d ürünü için x_d , w_d , h_d değerlerini elde et.
5. x_d , w_d , h_d değerlerini kaydet.
6. **For** $i=1: U_{\max}$
7. KTA ile uygun ateş böceği p_i üret.
8. Her p_i ateş böceğinin x_d , w_d , h_d değerleri ile kabindeki satır ve sütun başlangıçlarını belirle.
9. p_i için ışık yoğunluğu (I_i) hesapla.
10. $P=P \cup p_i$, yeni ateş böceğini popülasyona ekle.
11. **End For** i
12. **If** ($U_{\max} < P$) -Uygun çözüm adetleri popülasyon büyüklüğünden küçük olduğunda;
13. **For** $i=U_{\max}: P$
14. U kümesinden rastgele bir çözüm seç.
15. KTA ile uygun ateş böceği p_i üret.
16. Her p_i ateş böceğinin x_d , w_d , h_d değerleri ile kabindeki satır ve sütun başlangıçlarını belirle.
17. p_i için ışık yoğunluğu (I_i) hesapla.
18. $P=P \cup p_i$, yeni ateş böceğini popülasyona ekle.
19. **End For** i
20. **End If**
21. Sabit emilim katsayısını (γ) belirle.
22. **While** ($t < \text{Maksimum iterasyon Sayısı} (I_{\max})$)
23. **For** $i=1: P$
24. **For** $j=1: P$
25. **If** ($I_j > I_i$) **then**
26. Ateş böceği p_i ve p_j 'yi çekiciliklerine göre hareket ettir. Hareket adımlarını (Adım 1, Adım 2, Adım 3) uygula.
27. p_i ateş böceğini Adım 3'de oluşturulan aday çözümle güncelle ve ışık yoğunluğunu hesapla.
28. **End If**
29. **End For** j
30. **End For** i
31. Mevcut en iyiyi (p_{best}) bulmak için ateş böceklerini sırala.
32. $[0,1]$ aralığında rassal sayı ($rand$) üret.
33. **If** $rand < 0,5$ **then**
34. Rastgele seçilen bir ateş böceğine komşuluk arama algoritması (KAA) uygula.
35. KAA ile üretilen ateş böceği ile rastgele seçilen ateş böceğini değiştir.
36. **End If**
37. Ateş böcekleri içinde en iyiyi bul ve p_{best} 'i güncelle.
38. **If** $p_{best}^{t-1} < p_{best}^t$ **then**
39. $t=t+1$
40. **Else** $t=0$
41. **End If**
42. **End While**
43. En iyi ateş böceğini (p_{best}) belirle.
44. **End**

Hareket: Seçilen i ateş böceği, j ateş böceğinin parlaklık değerine göre hareket eder. Böylece ateş böceği her zaman başka bir ateş böceğine yaklaştırılır yani mesafeleri azalır. Bunun için uygulanan adımlar şöyle özetlenebilir:

Adım 1: İki ateş böceği arasındaki sergileme genişlik ve sergileme yükseklik değerleri için Hamming uzaklıkları ayrı ayrı bulunur ve sırasıyla r_1 , r_2 olarak saklanır. Yapılması gereken değişiklikler de sırasıyla d_1 , d_2 olarak listede tutulur.

Adım 2: Çekicilikleri r_1 ve r_2 için ayrı olarak eşitlik (4) ile hesaplanır ve (0,1) arasında rassal sayı üretilir.

Adım 3: Aday çözüm oluşturulurken;

- Eğer üretilen rassal sayı, $\beta(r_1)$ 'den ve $\beta(r_2)$ 'den küçükse ilgili ürün için sergileme genişlik değerleri d_1 içinden seçilir. Sergileme yükseklik değeri ise d_2 'den gelir.
- Eğer üretilen rassal sayı, sadece $\beta(r_1)$ 'den küçükse ilgili ürün için sergileme genişlik değerleri d_1 içinden seçilir. Sergileme yüksekliği değişmez.
- Eğer üretilen rassal sayı, sadece $\beta(r_2)$ 'den küçükse ilgili ürün için sergileme yükseklik değerleri d_2 içinden seçilir. Sergileme genişliği değişmez.

Daha sonra bu genişlik, yükseklik ve atanan kabinlerle X ve Y konumları üretilir.

Her iterasyonda oluşturulan aday çözüm, EK-A'da verilen TP modelinde belirtilen kısıtları yerine getirmek zorundadır ve bu nedenle, çözümün uygulanabilirliği kontrol edilir ve sağlanır.

Komşuluk Arama Algoritması (KAA): Çözüm alanında aramayı genişletmek için yerel komşuluk arama algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan ateş böceklerinin her birinin sergileme genişlik ve sergileme yükseklik parametrelerine sırayla bu geliştirmeler uygulanır. Bu şekilde nesilde iyileşme sağlanmaktadır. Rasgele seçilen bir ateş böceğinin aynı kabinde yer alan rasgele seçilmiş iki ürünü için mevcut sergileme genişlik ve yükseklik değerleriyle kaplanan alan büyüklüğünü sağlayan yeni genişlik ve yükseklik değerleri üretilir. Daha sonra bu yeni değerlerle X konumu ve Y konumu parametreleri tekrar oluşturularak komşu çözüm üretilmiş olur.

Durdurma Kriteri: ABA önceden tanımlanmış bir maksimum iterasyon sayısına kadar en iyi çözüm değişmediğinde durmaktadır.

Tablo 4'te ABA için bir güncelleme örneği verilmiştir. İki ateş böceği p_1 ve p_2 için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır. Farklı elemanlar seçilmiş ve Hamming uzaklıkları hesaplanmıştır. Ateş böceği p_2 'nin p_1 ateş böceğinden farklı elemanlarını belirten liste oluşturulmuştur. Parantez içindeki ilk değer ürün numarasını, ikinci değer p_1 ateş böceğinin elemanını göstermektedir. Daha sonra eşitlik (4)'e göre çekicilikleri hesaplanır. (0,1) arasında üretilen rassal sayıya göre Adım 3'te belirtildiği şekilde hareket gerçekleştirilir. X ve Y konumları da elde edilen yeni çözüme göre güncellenir.

TP modeli ile üretilen uygun çözümler bu bölümde detaylandırılan meta-sezgisellerin başlangıç popülasyonlarını oluşturmuş ve meta-sezgisel yöntemler bu uygun bireylerle çözüme başlayarak belirlenen durdurma kriterleri içinde en iyi çözümü bulmayı hedeflemişlerdir. Yöntemlerin test edilmesi ve karşılaştırılmasında kullanılan veri setleri sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

Tablo 4. Ateş böceği algoritması çözüm güncellemesi örneği
(Table 4. An example of Firefly algorithm solution update)

Çözüm Vektörü	Sergileme Yüksekliği	Sergileme Genişliği	X Konumu	Y Konumu	Kabin No
Mevcut ateş böceği (p_1)	[1 1 2 1 1]	[2 1 4 3 2]	[3 0 1 0 3]	[0 0 0 1 2]	[1 1 1 1 1]
p_1 için amaç fonksiyonu	Z=131				
Mevcut ateş böceği (p_2)	[2 2 1 2 1]	[2 1 2 3 2]	[2 0 2 0 3]	[0 0 2 1 2]	[1 1 1 1 1]
p_2 için amaç fonksiyonu	Z=107				
Farklı elemanlar (d)	{(1, 1), (2, 1), (3, 2), (4, 1)}	{(3, 4)}	-	-	-
Hamming Uzaklığı	4	1	-	-	-
Çekicilikler (β)	0,38	0,91	-	-	-
(0,1) arası üretilen sayı rand()	{0,27; 0,41; 0,5; 0,72}	{0, 3}	-	-	-
Hareket	(1; 1)	(3; 2)	-	-	-
Hareket sonrası ateş böceği (p_{yeni})	[1 2 1 2 1]	[2 1 4 3 2]	[3 0 2 0 3]	[2 0 0 1 0]	[1 1 1 1 1]
p_{yeni} için amaç fonksiyonu	Z=115				

2.5. Veri Seti Özellikleri

Geliştirilen modelleri test etmek ve performanslarını değerlendirebilmek amacıyla Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasındaki bir veri seti (*GerçekVeri / RealisticData*) kullanılmıştır. Gerçek veri seti (*GerçekVeri*), yerel bir kitabevindeki çok satanlar kabini verilerinden elde edilen olası parametre değerlerinin frekansları kullanılarak üretilen ampirik veri setidir. Parametrelerin frekans dağılımı Tablo 5'te verilmiştir. Farklı gösterim adetleri ve farklı kalınlıkların olduğu 10-250 tip kitaptan oluşan 48 test problemi vardır. Problemlerin hepsinde kabinlerdeki satır sayısı 8 olarak alınırken sütun sayısı problemin büyüklüğüne göre 8-160 arasında değişmektedir. Bütün problemlerde 8 raf için etki değerleri A_i , sırasıyla 5-6-7-8-8-7-6-5 ağırlıklarını almıştır. Bu veri seti Mendeley (<https://doi.org/10.17632/zy6bm4nr9w.2>) sitesinde paylaşılmıştır.

2.6. TP-GA Parametre Analizi

TP-GA matsezgiselinde kullanılan GA parametreleri için analizler yapılmıştır. GA popülasyon büyüklüğü (P), mutasyon oranı (P_m), çaprazlama oranı (P_c) ve maksimum iterasyon oranı (I_{max}) kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerdir. Bu parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesinde ana etki grafikleri incelenmiş, ANOVA analizi yapılmış ve son olarak %GAP ve çözüm süresi çıktıları için Cevap Yüzeyi Metodu (*Response Surface Method*) ile en iyi değerler tespit edilmiştir. Tablo 6'da analizde faktörler ve seviyeler görülmektedir. Bu değerlerin seçiminde literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir.

Tablo 5. Kitabevi verilerinde parametrelerin ampirik dağılımı
(Table 5. Empirical distribution of data parameters of the bookstore)

Ürün Kalınlığı	Olasılık	Üründen Elde Edilen Kâr	Olasılık
1	0,072	3-5	0,074
2	0,530	5-7	0,214
3	0,264	7-9	0,206
4	0,106	9-11	0,199
5	0,020	11-13	0,235
6	0,004	13-15	0,057
7	0,005	15-17	0,007
		17-19	0,002
		19-21	0,002
		21-24	0,004

Tablo 6. GA faktörleri ve seviyeleri (Table 6. GA factors and their levels)

Seviye	Faktörler			
	P	P_m	P_c	I_{max}
1	25	0,15	0,65	500
2	50	0,25	0,75	1000
3	75	0,35	0,85	1500

Faktör analizi MINITAB programında gerçekleştirilmiş ve tam faktöriyel tasarım oluşturularak 3^4 adet (81 adet) deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler 30 ürünlü bir problem ile gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları matematiksel modelin optimal sonucu ile karşılaştırılarak %GAP hesaplanmıştır. %GAP değeri GA'nın optimale ne kadar yakın sonuç elde ettiğini göstermektedir ve eşitlik (5) ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte z' değeri GA ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri ve z^* değeri optimal değerdir.

$$\%GAP = \frac{z^* - z'}{z^*} \quad (5)$$

Deney sonuçlarında %GAP ile birlikte süre de çıktı olarak kaydedilmiş ve analizlerde kullanılmıştır (EK-B). Ele alınan çözüm yöntemi sezgisel bir yöntem olduğundan optimale yakın çözümler elde etmek önceliktir. Ancak büyük problemlerde hızlı sonuçların üretilmesi de önem kazanmaktadır. İki çıktıyı da göz önünde bulundurarak cevap yüzeyi metodu kullanılmış ve parametrelerin optimal değerleri belirlenmiştir. Bu analizlerin detayları EK-B'de verilmiştir. GA için optimal değerler Tablo 7'deki %GAP & Süre minimizasyonu için elde edilen değerler olarak seçilmiştir. TP-GA matsezgiseli ile gerçekleştirilen tüm deneylerde bu parametreler kullanılmıştır. Cevap yüzeyi metodu, TP-ABA matsezgiselinde ABA'nın parametre değerlerinin belirlenmesinde de kullanılmış ve analiz sonuçları sonraki bölümde anlatılmıştır.

Tablo 7. GA için cevap yüzeyi metodu ile belirlenen optimal parametre değerleri (Table 7. Optimal parameter values determined by the response surface method for GA)

Minimum Amaç Fonksiyonu	Faktörler			
	P	P _m	P _c	I _{max}
%GAP	25	0,15	0,65	1005
Süre	25	0,15	0,75	500
%GAP&Süre	25	0,15	0,65	500

2.7. TP-ABA Parametre Analizi

TP-ABA algoritmasında kullanılan ABA parametreleri için analizler yapılmıştır. ABA popülasyon büyüklüğü (P), çekicilik (β), sabit emilim katsayısı (γ) ve maksimum iterasyon oranı (I_{max}) kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerdir. ANOVA analizi ile ana etki grafikleri incelenmiş ve cevap yüzeyi metodu ile %GAP ve çözüm süresi çıktıları için parametrelerin en iyi değerleri belirlenmiştir. Tablo 8’de analizde kullanılan faktörler ve seviyeleri görülmektedir.

Tablo 8. ABA faktörleri ve seviyeleri (Table 8. ABA factors and their levels)

Seviye	Faktörler			
	P	β	γ	I _{max}
1	25	0	0,1	25
2	50	0,5	5	50
3	75	1	10	100

Önceki analizde de olduğu gibi, ABA faktör analizinde de tam faktöriyel tasarımla (81 adet) deneyler gerçekleştirilmiştir. GA’nın parametre analizindeki örnek problem, ABA parametre analizinde de kullanılarak (30 ürün) deneyler gerçekleştirilmiş ve eşitlik (5) ile matematiksel modelin optimal sonucu kullanılarak %GAP değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde deney süreleri de kaydedilmiştir ve analizlerde kullanılmıştır (EK-B). Cevap yüzeyi metodu ile parametrelerin minimum %GAP ve sürede çözüm üretebilen optimal değerleri belirlenmiştir. EK-B’de detaylandırılan cevap yüzeyi metodu ile bulunan optimal değerler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. ABA için cevap yüzeyi metodu ile belirlenen optimal parametre değerleri (Table 9. Optimal parameter values determined by the response surface method for ABA)

Minimum Amaç Fonksiyonu	Faktörler			
	P	β	γ	I _{max}
%GAP	25	0	0,1	99,97
Süre	25	0,014	0,101	25
%GAP&Süre	25	1	0,1	44

Önerilen matsezigisel algoritmalar ve yapılan parametre analizleri sonucunda elde edilen değerler ile veri setindeki problemler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve matsezigisellerin performansları sonraki bölümde karşılaştırılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Önerilen iki matsezigisel TP-GA ve TP-ABA yöntemleri C# ortamında geliştirilmiştir. Yöntemlerin TP modeli için IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programının OPL kütüphanesi Visual Studio programına eklenmiştir. Deneyler, Intel Core i7 2.59 GHz işlemci ve 8 GB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Yöntemlerin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Matsezigisellerde kullanılan TP modelinin çözüm süresi 1800 sn. ile sınırlandırılmıştır. Meta-sezigiseller için ise maksimum iterasyon sayısı sınır olarak kullanılmıştır ve deneyler üç tekrarlı yapılarak ortalamaları alınmıştır. Tablolardaki MIP1 sütunu ve değerleri Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasında geliştirilen tamsayılı matematiksel modelin 1800 sn. süre sınırı içinde bulunduğu değerlerdir. Bütün problemlerde satır sayısı 8 olarak alınmıştır.

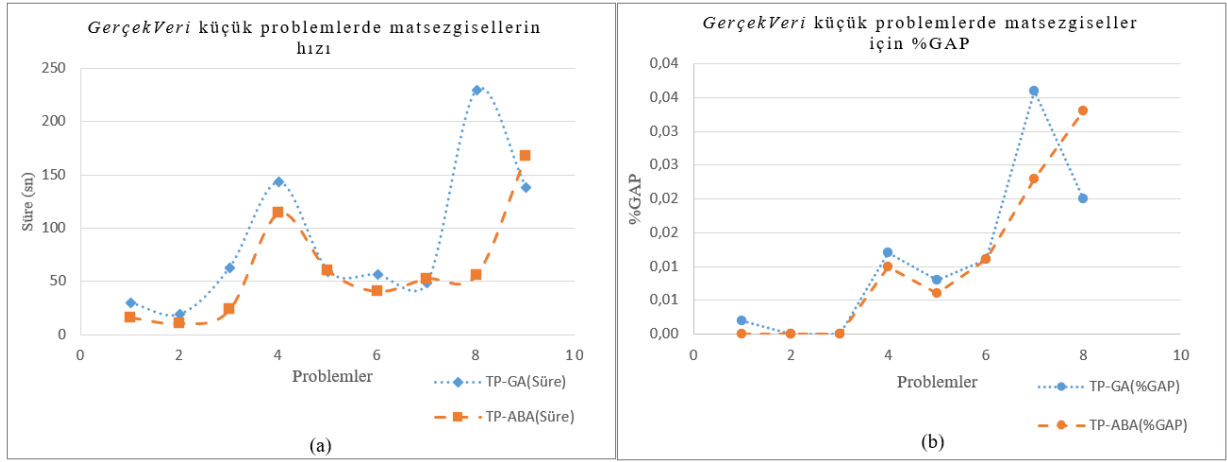
Tablo 10’da GerçekVeri veri setindeki küçük boyutlu problemlerin çözümleri verilmiştir. Bu tabloda MIP1 modeli R1-R8 problemlerinde optimal sonucu bulabilmiştir. MIP1 optimal değerleri kullanılarak TP-GA ve TP-ABA matsezigisellerin performansları karşılaştırılmıştır. R9 probleminde 1800 sn. içinde MIP1 optimal sonucu bulamazken önerilen matsezigisel algoritmalar ile daha kısa sürede daha iyi çözümlere ulaşılabilmektedir. Tablo 10 kullanılarak TP-GA ve TP-ABA matsezigisellerin hızları ve optimale yakın sonuç üretmeleri Şekil 4(a) ve Şekil 4(b)’de görselleştirilmiştir.

Tablo 11’de matsezigisellerin büyük boyutlu problemlerin çözümündeki performansları verilmiştir. Büyük boyutlu problemlerde matsezigisellerin performansı Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasında önerilen iteratif tamsayılı matematiksel model (IP1/IP2) ile karşılaştırılmış ve matsezigisellerin optimal çözüme ne kadar yakın sonuçlar elde ettikleri %GAP sütunlarında belirtilmiştir. Problemlerdeki “Ürün sayısı” sütunu gösterim adetlerini değil, eşsiz ürün tiplerini göstermektedir. Örnek olarak 250 farklı ürün barındıran R46 probleminde 8 satır ve 148 sütuna matsezigiseller 1184 adet gösterim yüzeyi yerleştirmişlerdir. Gösterim adetleri büyük boyutlu problemlerde ürün sayısından oldukça farklı ve büyüktür. Şekil 5’de Tablo 11’deki %GAP sütunları görselleştirilmiştir. Matsezigisellerin büyük boyutlu problemlerde bile optimale yakın sonuçlar üretebildikleri ve birbirlerine yakın performans gösterdikleri gözlenmiştir. GerçekVeri veri setindeki bütün problemler dikkate alındığında TP-GA matsezigiselinin ortalama %4,47 GAP ile ve TP-ABA matsezigiselinin ortalama %4,57 GAP ile optimale yakın sonuçlar elde edebilmişlerdir. Bu sonuçlar da matsezigisellerin başarısını göstermektedir.

Matsezigisellerin performanslarını test etmek için veri setindeki örneklerin sayısı artırılmış ve 300-900 ürüne sahip problemlerin raf atamaları gerçekleştirilmiştir. Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasında geliştirilen iteratif matematiksel yöntem ile 250 ürüne kadar problemler optimal çözülebilirken, önerilen TP-GA ve TP-ABA matsezigiselleri ile 900 ürüne sahip problemlerin uygun çözümlerine ulaşılabilmektedir. Sezgisellerin performansları Tablo 12’de verilmiştir. Tabloda ilk üç sütun problemlerin özelliklerini belirtmektedir. Bütün deneylerde 1 kabin ve 8 satır alınmıştır. Sütun sayıları problemin boyutuna göre değişmektedir. Bu deneylerde iki matsezigisel ile bulunan uygun çözümlerin kalitesi birbirine oldukça yakındır.

Tablo 10. GerçekVeri küçük problemlerde matsezgisellerin optimal sonuçlar ile karşılaştırılması (Table 10. Comparison of matheuristics with optimal results for GerçekVeri small problems)

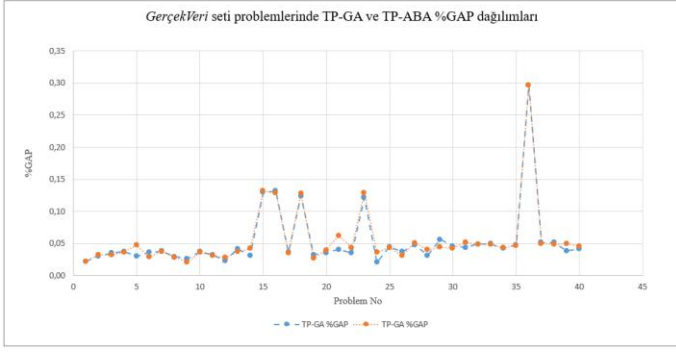
Prob. No.	Ürün Sayısı	Satır Sayısı	Sütun Sayısı	Kabin Sayısı	MIP1			TP-GA			TP-ABA		
					Amaç fonk.	Süre	% GAP	Amaç fonk.	Süre	% GAP	Amaç fonk.	Süre	% GAP
R1	10	8	8	1	2260	2,0	0	2256	29,7	0,002	2260	16,2	0
R2		8	8	1	1996	3,2	0	1996	19,3	0	1996	10,5	0
R3		8	8	1	1652	41,1	0	1652	62,9	0	1652	23,4	0
R4	20	8	8	1	2241	155,8	0	2215	143,0	0,012	2218	113,8	0,010
R5		8	8	1	2316	24,2	0	2297	59,6	0,008	2303	60	0,006
R6		8	8	1	2432	300,3	0	2405	56,4	0,011	2406	40,7	0,011
R7	30	8	12	1	3646	314,9	0	3521	48,5	0,034	3563	52,6	0,023
R8		8	12	1	2965	338,1	0	2903	207,8	0,019	2840	54	0,032
R9		8	12	1	2596	1800	7,54	2719	137,9	-0,047	2710	167,3	-0,044
Ortalama						331,07		85,01	0,004		59,83	0,004	



Şekil 4. GerçekVeri veri setindeki küçük boyutlu problemlerde (a) Matsezgisellerin çözüm süreleri karşılaştırması ve (b) Matsezgisellerin optimal çözüme yakınlıkları karşılaştırması (Figure 4. For small size problems in GerçekVeri; (a) Comparison of solution times of matheuristics and (b) Comparison of matheuristics' solutions to optimal solutions)

Tablo 11. GerçekVeri seti büyük boyutlu problemlerde matsezgisellerin performansı (Table 11. Performance comparison of matheuristics with GerçekVeri large size problems)

Prob. No.	Ürün Sayısı	Sütun Sayısı	Kabin Sayısı	TP-GA % GAP	TP-ABA % GAP	Prob. No.	Ürün Sayısı	Sütun Sayısı	Kabin Sayısı	TP-GA % GAP	TP-ABA % GAP
R10	40	24	1	2,20	2,20	R28	100	64	1	3,60	3,00
R10		12	2	3,00	3,10	R29		64	1	4,60	4,80
R11		24	1	3,40	3,10	R30		64	1	3,00	3,90
R11		12	2	3,60	3,50	R31		76	1	5,30	4,20
R12		24	1	2,90	4,50	R32		125	76	1	4,40
R13	50	32	1	3,50	2,80	R33	76	1	4,20	4,90	
R13		16	2	3,70	3,60	R34	92	1	4,60	4,70	
R14		32	1	2,80	2,80	R35	150	92	1	4,70	4,60
R14		16	2	2,50	2,10	R36	92	1	4,00	4,20	
R15		32	1	3,60	3,50	R37	100	1	4,30	3,80	
R16	60	40	1	3,20	3,00	R38	175	100	1	5,00	5,50
R16		20	2	2,20	2,70	R39	90	1	4,90	4,80	
R17		40	1	4,00	3,60	R40	200	120	1	5,20	4,90
R18		40	1	3,00	4,10	R41	200	120	1	3,90	5,00
R19	70	40	1	11,50	11,60	R42	120	1	4,10	4,60	
R20		40	1	11,70	11,40	R43	140	1	5,10	4,60	
R20		20	2	3,50	3,40	R44	225	140	1	4,30	4,70
R21		40	1	11,00	12,80	R45	140	1	2,50	2,70	
R22		80	50	1	3,10	2,70	R46	250	148	1	4,80
R23	50		1	3,40	4,00	R47	250	148	1	5,60	5,50
R23	20		2	3,90	6,30	R48	160	1	5,80	6,60	
R24	50		1	3,40	4,40	Ortalama				4,47	4,57
R25	90	52	1	10,80	11,40						
R26		52	1	2,00	3,50						
R27		52	1	4,30	4,20						



Şekil 5. GerçekVeri veri setindeki büyük boyutlu problemlerde matsezgisellerin optimal çözüme yakınlıkları karşılaştırması (Figure 5. Comparison of matheuristics' solutions to optimal solutions for large-size problems in GerçekVeri)

Tablo 12. 300-900 ürün boyutlu problemlerde matsezgisellerin performansı (Table 12. Performance of matheuristics on problems with 300-900 products)

Prob. no	Ürün sayısı	Sütun sayısı	TP-GA Amaç fonk. farkı (%)	TP-ABA Çözüm süresi farkı (%)
R49	300	160	0,75	274,49
R50	400	180	0,04	537,70
R51	500	200	-0,01	382,35
R52	600	240	0,25	79,99
R53	700	280	0,59	109,33
R54	800	320	0,04	496,26
R55	900	380	-0,01	163,13

Örnek olarak R49 deneyinde TP-GA durdurma kriterleri içinde %0,75 daha kaliteli bir çözüme ulaşmıştır. Diğer taraftan R51 probleminde TP-ABA daha iyi bir çözüm elde etmiştir. Çözüm süreleri karşılaştırıldığında ise iki algoritma arasındaki fark ortaya çıkmaktadır. TP-ABA algoritması durdurma kriterleri içinde çözümlere daha hızlı ulaşmıştır. R54 probleminde %496,26 oranında, diğer bir deyişle neredeyse 5 kat daha hızlı çalışarak TP-GA ile elde edilen çözümden sadece %0,01 farklı bir çözüme ulaşabilmiştir. Bu sonuçlar, büyük boyutlu 2BRAP'lerin matsezgisellerle başarılı şekilde çözülebildiğini gösterdiği gibi aynı zamanda TP-ABA algoritmasının çözüm hızı açısından TP-GA'ya üstünlüğünü de göstermektedir. Tablo 12'deki yüzdeliklerin elde edildiği deney sonuçları Şekil 6(a) ve Şekil 6(b)'de görselleştirilmiştir. Şekil 6(a)'da TP-GA ve TP-ABA algoritmalarının çözüm süreleri ve Şekil 6(b)'de belirlenen durdurma kriterleri sonrasında buldukları amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6(b)'den de anlaşılacağı üzere çözüm kalitesi neredeyse aynı iken, TP-ABA algoritması çözüm süresi bakımından TP-GA'ya göre oldukça hızlıdır. Dolayısıyla, hızlı çözümlere ihtiyaç duyulan problemlerde TP-GA yerine TP-ABA algoritması kullanılarak çözüm kalitesinden ödün vermeden problemlerin çözümleri elde edilebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, raf alanı tahsisi problemi olarak sınıflandırılan, maksimum kâr amacıyla bitişik dikdörtgen sergileme alanlarının optimum şekilde tahsis edilmesi problemi

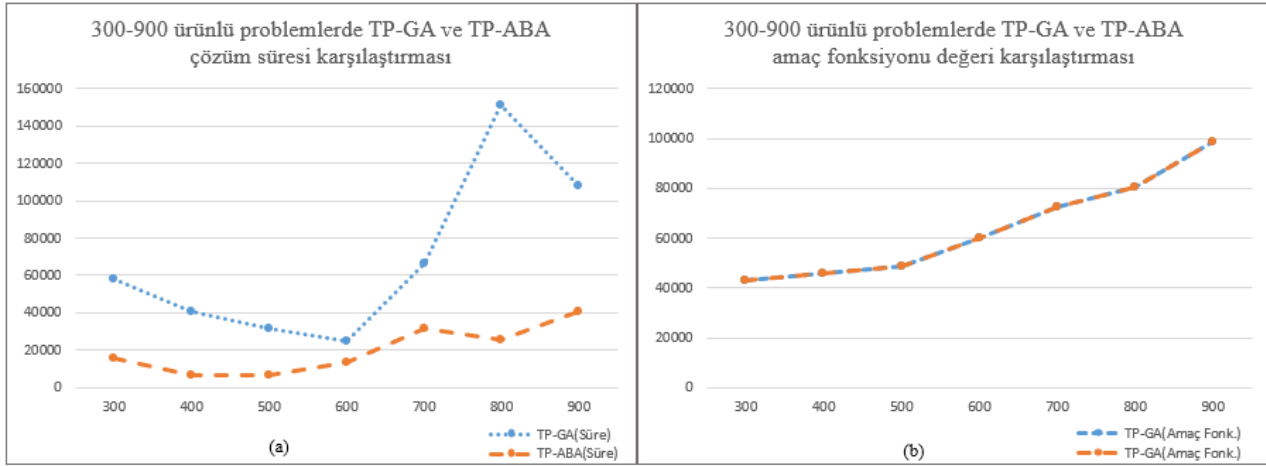
ele alınmıştır. İki boyutlu sergileme problemi olarak da sınıflandırılabilen bu problem; kitabevlerinde rafların yerleşimi örneği ile ele alınsa da bütün perakendecilerde görülen ürün ailelerinin raf alanı tahsisi ve sergileme problemine de benzer özellikler taşımaktadır. Ayrıca son yıllarda gittikçe önem kazanan İnternet sayfalarında reklamların gösterimi veya İnternet sayfası tasarımlarında da karşılaşılan alan tahsisi ve sergileme problemine de benzemektedir. Perakendecilik sektöründe ürün ailelerinin, kitabevlerinde kitap listelerinin ve İnternet sayfalarında reklam alanlarının dinamik bir şekilde güncellenmesi gerekliliği, problem çözümünde hızlı algoritmaların geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle literatürde de başarıları kanıtlanmış meta-sezgisel algoritmalar genetik algoritma ve ateş böceği algoritması seçilmiştir.

Seçilen meta-sezgisel algoritmalar popülasyon temelli algoritmalar ve bu algoritmalarda uygun çözümlerin olduğu bir popülasyondaki bireyler ile çözüme başlanarak, bireylerin farklı operasyonlar sonucu iyileştirilmesi ile en iyi sonucu üreten birey/çözüm elde edilmeye çalışılır. 2BRAP için uygun çözümlerin elde edilmesi, gösterim adetlerinin karar değişkeni olmasından ve dikdörtgenel yerleşimin zorunluluğundan dolayı oldukça zordur. Geliştirilen tamsayı programlama modeli ile elde edilen uygun çözümler kullanılarak meta-sezgisel algoritmaların popülasyonları oluşturulmuştur. Bu aşamada uygun çözümlerin popülasyon büyüklüğüne getirilmesi için kural-tabanlı bir algoritma da kullanılmıştır. Tamsayı programlama ile desteklenen meta-sezgisel algoritmalar matsezgiseller olarak adlandırılmıştır.

Geliştirilen matsezgisel algoritmaların performansları Çağlar Gençosman ve Beğen (2022) çalışmasında detaylandırılan veri setlerindeki problemlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda matsezgisel algoritmaların %4,47 - %4,57 GAP ile optimale yakın sonuçlar elde edebildikleri görülmüştür. 2BRAP probleminde ilk defa bu çalışma ile kullanılan matsezgisel algoritmalar oldukça başarılı performans göstermişlerdir. Matsezgisellerin ilk aşamasında TP kullanılması çözüm süresine olumsuz yansısı da optimal sonuca yakın çözümlerin elde edilmesine katkı sağlamıştır. Son olarak matsezgisel algoritmalar büyük problemler için kullanılmış ve 900 ürüne kadar olan örnek problemler için uygun çözümler elde edilebilmiştir. İteratif matematiksel model ile 250 ürün ve 8x140 alan için problemler çözülebilirken matsezgisellerle 900 ürün 8x380 alan örneği çözümlenerek yaklaşık dört katı büyük bir problemin uygun çözüme erişilebilmiştir. Bu çalışma ile büyük boyutlu gerçek hayat raf atama problemlerinin uygun çözümlerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, tamsayı programlama destekli genetik algoritma ve ateş böceği algoritması matsezgiselleri raf atama problemlerine ve benzer yapıdaki atama problemlerine de başarılı bir şekilde uyarlanabilir ve NP-Zor yapıdaki problemlerin optimale yakın çözümlerine kabul edilebilir sürelerde ulaşılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 3001 Programı kapsamında 217M920 numaralı proje ile desteklenmiştir.



Şekil 6. 300-900 ürünlü problemlerde (a) Matsezgisellerin çözüm süreleri karşılaştırması ve (b) Matsezgisellerin amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırması (Figure 6. (a) Comparison of solution times of mathheuristics and (b) Comparison of objective function values of mathheuristics in problems with 300-900 products)

Kaynakça

- Bai, R. (2005). *An investigation of novel approaches for optimising retail shelf space allocation* (Doktora Tezi). University of Nottingham. Erişim adresi: <http://www.cs.nott.ac.uk/~pszgk/papers/BaiPhDThesis.pdf>
- Bai, R. ve Kendall, G. (2008). A Model for Fresh Produce Shelf Space Allocation and Inventory Management with Freshness Condition Dependent Demand. *INFORMS Journal on Computing*, 20(1), 78–85.
- Bai, R., van Woensel, T., Kendall, G. ve Burke, E. K. (2013). A new model and a hyper-heuristic approach for two-dimensional shelf space allocation. *4OR*, 11(1), 31–55. doi:10.1007/S10288-012-0211-2.
- Bianchi-Aguiar, T. (2015). *The Retail Shelf Space Allocation Problem: New Optimization Methods Applied to a Supermarket Chain* (Doktora Tezi). Porto University. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/pqdtglobal/docview/1914884710/51880A1B027E4DC8PQ>.
- Bianchi-Aguiar, T., Silva, E., Guimaraes, L., Carravilla, M. A. ve Oliveira, J. F. (2018). Allocating products on shelves under merchandising rules: Multi-level product families with display directions. *Omega (United Kingdom)*, 76, 47–62. doi:10.1016/j.omega.2017.04.002.
- Bianchi-Aguiar, T., Hübner, A., Carravilla, M. A. ve Oliveira, J. F. (2021). Retail shelf space planning problems: A comprehensive review and classification framework. *European Journal of Operational Research*, 289(1), 1–16. doi: 10.1016/j.ejor.2020.06.018.
- Buttle, F. (1984). Merchandising. *European Journal of Marketing*, 18(6–7), 104–123.
- Chandon, P., Hutchinson, J. W., Bradlow, E. T. ve Young, S. H. (2009). Does In-Store Marketing Work? Effects of the Number and Position of Shelf Facings on Brand Attention and Evaluation at the Point of Purchase. *Journal of Marketing*, 73(6), 1–17. doi:10.1509/jmkg.73.6.1.
- Chen, M. C. ve Lin, C. P. (2007). A data mining approach to product assortment and shelf space allocation. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 976–986. doi: 10.1016/j.eswa.2006.02.001.
- Chen, Y. L., Chen, J. M. ve Tung, C. W. (2006). A data mining approach for retail knowledge discovery with consideration of the effect of shelf-space adjacency on sales. *Decision Support Systems*, 42(3), 1503–1520. doi: 10.1016/j.dss.2005.12.004.
- Corstjens, M. ve Doyle, P. (1981). A Model for Optimizing Retail Space Allocations. *Management Science*, 27(7), 822–833. doi:10.1287/mnsc.27.7.822.
- Cox, K. K. (1970). The Effect of Shelf Space upon Sales of Branded Products. *Journal of Marketing Research*, 7(1), 55–58. doi:10.2307/3149507.
- Curhan, R. C. (1972). The Relationship between Shelf Space and Unit Sales in Supermarkets. *Journal of Marketing Research*, 9(4), 406–412. doi: 10.1177/002224377200900408.
- Çağlar Gençosman, B. ve Beğen, M. A. (2022). Exact optimization and decomposition approaches for shelf space allocation. *European Journal of Operational Research*, 299(2), 432–447. doi: 10.1016/j.ejor.2021.08.047.
- Dreze, X., Hoch, S. J. ve Purk, M. E. (1994). Shelf management and space elasticity. *Journal of Retailing*, 70(4), 301–326. doi:10.1016/0022-4359(94)90002-7.
- Frontoni, E., Marinelli, F., Rosetti, R. ve Zingaretti, P. (2017). Shelf space re-allocation for out of stock reduction. *Computers and Industrial Engineering*, 106, 32–40. doi:10.1016/j.cie.2017.01.021.
- Geismar, H. N., Dawande, M., Murthi, B. P. S. ve Sriskandarajah, C. (2015). Maximizing Revenue Through Two-Dimensional Shelf-Space Allocation. *Production and Operations Management*. doi:10.1111/poms.12316.
- Hamming, R. W. (1950). Error Detecting and Error Correcting Codes. *Bell System Technical Journal*, 29(2), 147–160.
- Hansen, J. M., Raut, S. ve Swami, S. (2010). Retail Shelf Allocation: A Comparative Analysis of Heuristic and Meta-Heuristic Approaches. *Journal of Retailing*, 86(1), 94–105. doi:10.1016/j.jretai.2010.01.004.
- Hansen, P. ve Heinsbroek, H. (1979). Product selection and space allocation in supermarkets. *European Journal of Operational Research*, 3(6), 474–484. doi:10.1016/0377-2217(79)90030-4.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, USA.

- doi:10.7551/mitpress/1090.001.0001.
- Hübner, A.H. ve Kuhn, H. (2012). Retail category management: State-of-the-art review of quantitative research and software applications in assortment and shelf space management. *Omega*, 40(2), 199–209. doi:10.1016/j.omega.2011.05.008.
- Hübner, A. (2017). A decision support system for retail assortment planning. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 45(7–8), 808–825. doi:10.1108/IJRDM-09-2016-0166.
- Hübner, A., Schäfer, F. ve Schaal, K. N. (2021). Maximizing Profit via Assortment and Shelf-Space Optimization for Two-Dimensional Shelves. *Production and Operations Management*, 29(3), 547–570. doi:10.1111/poms.13111.
- Hwang, H., Choi, B. ve Lee, M. J. (2005). A model for shelf space allocation and inventory control considering location and inventory level effects on demand. *International Journal of Production Economics*, 97(2), 185–195. doi:10.1016/j.ijpe.2004.07.003.
- Hwang, H., Choi, B. ve Lee, G. (2009). A genetic algorithm approach to an integrated problem of shelf space design and item allocation. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 809–820. doi:10.1016/j.cie.2008.09.012.
- Karthikeyan, S., Asokan, P. ve Nickolas, S. (2014). A hybrid discrete firefly algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problem with limited resource constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(9–12), 1567–1579. doi:10.1007/s00170-014-5753-3.
- Kök, A. G., Fisher, M. L. ve Vaidyanathan, R. (2015). Assortment planning: Review of literature and industry practice. *International Series in Operations Research and Management Science*, 223, 175–236. doi:10.1007/978-1-4899-7562-1_8.
- Kotzan, J. A. ve Evanson, R. V. (1969). Responsiveness of drug store sales to shelf space allocations. *Journal of Marketing Research*, 6(4), 465–469.
- Lim, A., Rodrigues, B. ve Zhang, X. (2004). Metaheuristics with Local Search Techniques for Retail Shelf-Space Optimization. *Management Science*, 50(1), 117–131. doi:10.1287/mnsc.1030.0165.
- Martello, S. ve Toth, P. (1990). An exact algorithm for large unbounded knapsack problems. *Operations Research Letters*, 9(1), 15–20. doi:10.1016/0167-6377(90)90035-4.
- Nafari, M. ve Shahrabi, J. (2010). A temporal data mining approach for shelf-space allocation with consideration of product price. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4066–4072. doi:10.1016/j.eswa.2009.11.045.
- Özcan, T. (2010a). Perakende raf alanı yönetimi: Literatür incelemesi ve bir karar destek aracı tasarımı. *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 21(67), 84–103.
- Özcan, T. (2010b). Perakende Endüstrisinde Raf Alanı Tahsis ve Mağaza Yerleşim Optimizasyonuna Bütünleşik Bir Model Önerisi. *İÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 55–63.
- Özcan, T. ve Esnaf, Ş. (2013). A Discrete Constrained Optimization Using Genetic Algorithms for A Bookstore Layout. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(2), 261–278. doi:10.1080/18756891.2013.768447.
- Özçelik, T. Ö. ve Gündüz, G. (2019). Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 977–982. doi: 10.31590/ejosat.606566.
- Rabbani, M., Salmanzadeh-Meydani, N., Farshbaf-Geranmayeh, A. ve Fadakar-Gabalou, V. (2018). Profit maximizing through 3D shelf space allocation of 2D display orientation items with variable heights of the shelves. *OPSEARCH*, 55(2), 337–360. doi:10.1007/s12597-018-0335-z.
- Russell, R. A. ve Urban, T. L. (2010). The location and allocation of products and product families on retail shelves. *Annals of Operations Research*, 179(1), 131–147. doi:10.1007/S10479-008-0450-y.
- Van Nierop, E., Fok, D. ve Franses, P. H. (2008). Interaction between shelf layout and marketing effectiveness and its impact on optimizing shelf arrangements. *Marketing Science*, 27(6), 1065–1082. doi:10.1287/mksc.1080.0365.
- Yalçiner, A. Y. ve Can, B. (2019). Tam Sayılı Programlama ve Simülasyon ile Raf Alanı Optimizasyonu: Bir Ambalaj Firmasında Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı*, 375–388. doi: 10.31590/ejosat.638609.
- Yang, M. H. ve Chen, W. C. (1999). A study on shelf space allocation and management. *International Journal of Production Economics*, 60–61, 309–317. doi:10.1016/S0925-5273(98)00134-0.
- Yang, M. H. (2001). Efficient algorithm to allocate shelf space. *European Journal of Operational Research*, 131(1), 107–118. doi:10.1016/S0377-2217(99)00448-8.
- Yang, X. S. (2008). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Beckington, UK: Luniver Press.
- Yang, X. S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. *Lecture Notes in Computer Science*. doi:10.1007/978-3-642-04944-6_14.
- Zhao, J., Zhou, Y. W. ve Wahab, M. I. M. (2016). Joint optimization models for shelf display and inventory control considering the impact of spatial relationship on demand. *European Journal of Operational Research*, 255(3), 797–808. doi: 10.1016/j.ejor.2016.05.025.

EK-A Tamsayılı Matematiksel Model: TP

İki boyutlu raf atama problemi çözümü için geliştirilen mat-sezgisellerde kullanılan TP matematiksel modeli notasyonu Tablo 13'deki gibidir. Bir d ürünün gösterim adetlerinin üst ve alt sınırı U_d ve L_d parametreleri ile temsil edilir. Her ürünün kalınlıkları farklıdır ve T_d ile gösterilir. Karar değişkenleri x_{dk} , y_{dik} ve t_{dijk} ürünlerin konumunu gösterir. Bu değişkenler ile ürünlerin dikdörtgensel gösterimi sağlanır. Dikdörtgensel gösterimin boyutları ise w_d , h_d , m_{dk} ve n_{dik} tamsayılı karar değişkenleri ile belirlenir. Bir d ürününün dikdörtgensel gösterimindeki dikdörtgenin genişliği ve yüksekliği sırayla w_d ve h_d değişkenleri ile temsil edilir. Bir d ürününün bir satırdaki gösterim adetleri w_d ile temsil edilir ve ürün birden fazla satıra atanırsa gösterim adetleri bu satırlarda aynı olmalıdır. Bir d ürününün sütunlardaki gösterim adetleri ürünün yüksekliği h_d ile temsil edilir ve ürün birden fazla sütuna atanırsa gösterim adetleri bu sütunlarda aynı olmalıdır. TP modelinde satırlara/sütunlara atanan ürünlerin ardışık yerleşimi zorunlu değildir. Uygun çözümü sağlayan w_d ve h_d değişkenlerinin belirlenmesi yeterlidir.

Tablo 13. TP notasyonu (Table 13. Notation of TP)

Kümeler:

D : Ürünler kümesi. $D=\{1,2,\dots, D_{max}\}$.

K : Kabinler kümesi. $K=\{1,2,\dots, K_{max}\}$.

I : Satırlar kümesi. $I=\{1,2,\dots, I_{max}\}$.

J : Sütunlar kümesi. $J=\{1,2,\dots, J_{max}\}$.

İndisler:

d : Yerleştirilen ürün indisi, $d \in D$.

k : Kabin indisi, $k \in K$.

i : Satır indisi, $i \in I$.

j : Sütun indisi, $j \in J$.

Parametreler:

R_k : k kabinindeki satır sayısı.

C_k : k kabinindeki sütun sayısı.

A_i : i sütunu etkisi.

V_d : d ürününün kârı.

L_d : d ürünü alt sınırı.

U_d : d ürünü üst sınırı.

T_d : d ürünü kalınlığı.

Karar Değişkenleri:

x_{dk} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } d \text{ ürünü } k \text{ kabinine atanırsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

y_{dik} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } d \text{ ürünü } k \text{ kabininde } i \text{ satırına atanırsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

t_{dijk} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } d \text{ ürünü } k \text{ kabininde } i \text{ satırı ve } j \text{ sütununa atarsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

m_{dk} : k kabininde d ürününün toplam gösterim adedi

n_{dik} : k kabininde i satırında d ürününün gösterim adedi

w_d : d ürününün satırdaki genişliği

h_d : d ürününün sütundaki yüksekliği

TP modeli kısıtları aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{k \in K} x_{dk} = 1; \forall d \in D \quad (1)$$

$$\sum_{d \in D} t_{dijk} = 1; \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} t_{dijk} = n_{dik} T_d; \forall d \in D, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} n_{dik} = m_{dk}; \forall d \in D, \forall k \in K \quad (4)$$

$$x_{dk} L_d \leq m_{dk}; \forall d \in D, \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{dk} U_d \geq m_{dk}; \forall d \in D, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{d \in D} n_{dik} T_d = C_k; \forall i \in I, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{d \in D} t_{dijk} = R_k; \forall j \in J, \forall k \in K \quad (8)$$

$$w_d - n_{dik} T_d \leq C_k (1 - y_{dik}); \forall d \in D, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (9)$$

$$n_{dik} T_d \leq C_k y_{dik}; \forall d \in D, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (10)$$

$$n_{dik} T_d \leq w_d; \forall d \in D, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} y_{dik} = h_d; \forall d \in D, \forall k \in K \quad (12)$$

$$x_{dk}, y_{dik}, t_{dijk} \in \{0,1\}; \forall d \in D, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (13)$$

$$m_{dk}, n_{dik}, w_d, h_d \in \{0, \mathbb{Z}^+\}; \forall d \in D, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (14)$$

Kısıt (1) ile her ürünün sadece bir kabine atanması sağlanır. Kısıt (2), her hücreye sadece bir gösterim adedinin yerleşmesini sağlar. Kısıt (3) ile d ürününün i satırındaki n_{dik} gösterim adedi hesaplanır. Kısıt (4) ile d ürününün k kabinindeki toplam gösterim adedi m_{dk} hesaplanır. Kısıt (5) ve (6), ürünlerin gösterim adetlerini alt sınır (L_d) ve üst sınır (U_d) değerleri ile sınırlandırır. Kısıt (7) ve (8) ile bir k kabinine atanan toplam gösterim adetleri, kabinin toplam sütun (C_k) adedi ve toplam satır (R_k) adedi ile sınırlandırılır. Kısıt (9) ve (10) ile eğer d ürünü bir satıra atanmışsa bu satırdaki gösterim adetlerinin toplamının w_d adet olması sağlanır. Kısıt (11) ve (12) ile bir d ürününün genişlik değişkeni w_d ve yükseklik değişkeni h_d hesaplanır. Kısıt (13) ve (14) ile değişkenlerin çözüm uzayları tanımlanır.

EK-B. Parametrelerin Detaylı Analizi

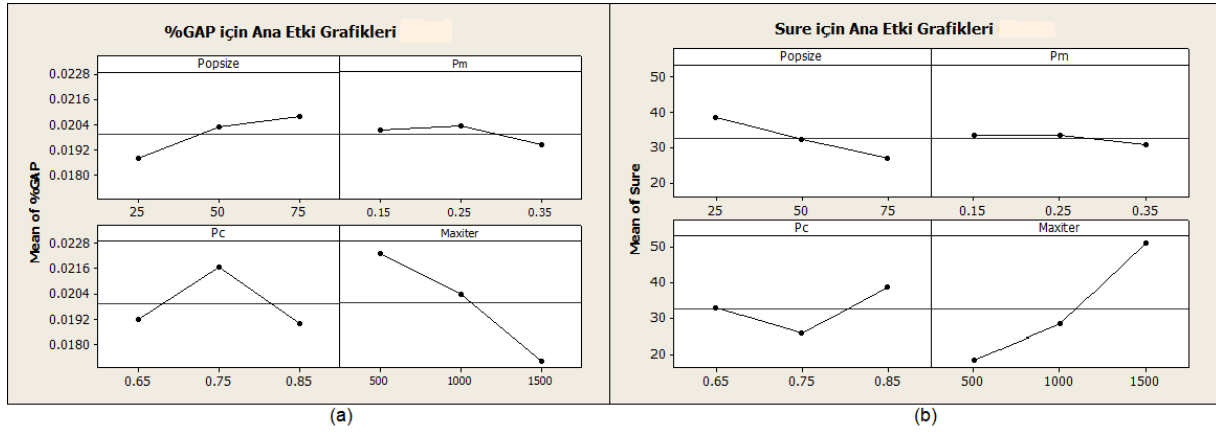
B.1. TP-GA Parametre Analizi

TP-GA matsezigisinde kullanılan GA için parametre analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan popülasyon büyüklüğü (P), mutasyon oranı (P_m), çaprazlama oranı (P_c) ve maksimum iterasyon oranı (I_{max}) faktörleri ve seviyeleri Tablo 14’de görülmektedir.

Tablo 14. GA faktörleri ve seviyeleri (Table 14. GA factors and their levels)

Seviye	Faktörler			
	P	P_m	P_c	I_{max}
1	25	0,15	0,65	500
2	50	0,25	0,75	1000
3	75	0,35	0,85	1500

Bu değerlerle faktör analizi yapabilmek için MINITAB programında tam faktöriyel tasarım oluşturularak 3^4 adet (81 adet) deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları matematiksel model optimal sonucu ile karşılaştırılarak %GAP hesaplanmış ve çözüm süresi de çıktı olarak kaydedilmiştir. %GAP ve süre için faktörlerin ana etki grafikleri Şekil 7(a) ve 7(b)’deki gibidir. Ortalama %GAP değerleri incelendiğinde en düşük değerlerin 25 popülasyon, 0,35 mutasyon oranı, 0,85 çaprazlama oranı ve 1500 iterasyon ile elde edildiği görülmüştür. Mutasyon oranının ortalama %GAP’e etkisinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Parametrelerin %GAP’e etkisini daha detaylı incelemek için ANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve bulgular Tablo 15’de verilmiştir. Tablo 15 incelendiğinde P ve P_m parametrelerinin anlamlı bir etkiye sahip olmadığı ve diğer taraftan P_c ve I_{max} parametrelerinin p değerleri 0,05 değerinden küçük olduğu için istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. I_{max} ile ortalama süre arasında doğrusala yakın bir ilişki vardır. Maksimum iterasyon sayısı arttıkça çözüm süresi de artmaktadır. İlginç olan ilişki ise beklentinin aksine popülasyon sayısı arttıkça ortalama çözüm süresinin azalmasıdır. Ortalama süre çıktısı ve parametreler arasındaki ilişki varyans analizi (ANOVA) ile daha detaylı incelenmiş ve Tablo 16’da belirtildiği gibi mutasyon oranı dışındaki parametrelerin anlamlı olduğu görülmüştür.



Şekil 7. GA parametreleri için (a) %GAP için ana etki grafikleri ve (b) Süre için ana etki grafikleri (Figure 7. (a) Main effect graphs of %GAP and (b) Main effect graphs of solution time for GA parameters)

Tablo 15. GA'da %GAP için varyans analizi (Table 15. Analysis of variance for GAP% of GA)

Kaynak	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri
P (Popsize)	5.94E-05	2,97E-05	1,83	0,168
P _m	1.22E-05	6,1E-06	0,38	0,688
P _c	0,000123	6,13E-05	3,77	0,028
I _{max}	0,000356	0,000178	10,93	0
Hata	0,001171	1,63E-05		
Toplam	0,001721			

Tablo 16. GA'da süre için varyans analizi (Table 16. Analysis of variance for solution time of GA)

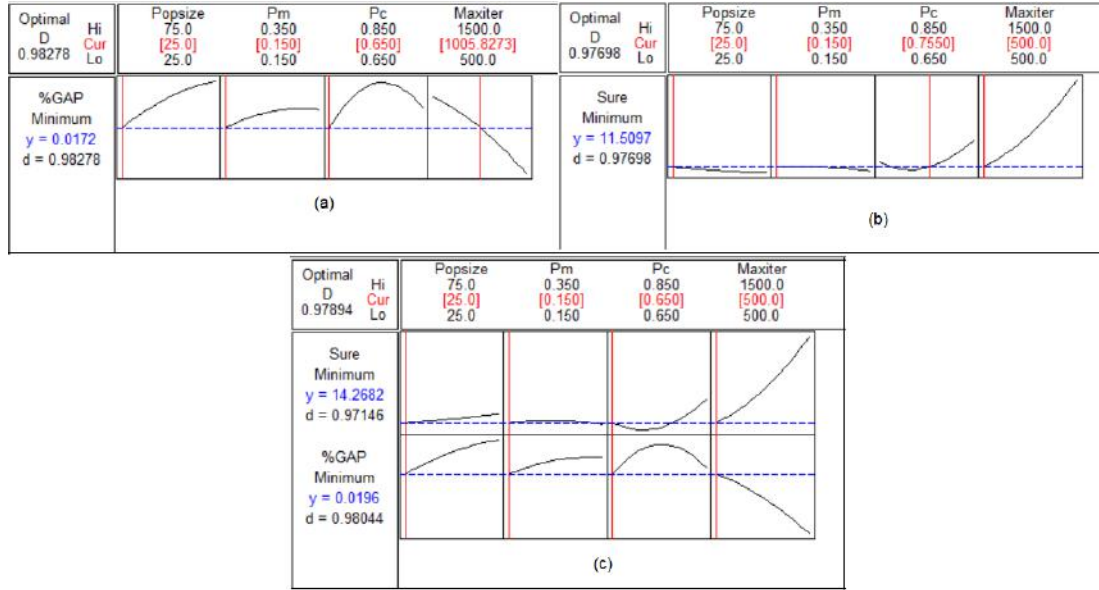
Kaynak	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri
P (Popsize)	1846,7	923,3	4,47	0,015
P _m	140,9	70,5	0,34	0,712
P _c	2259,8	1129,9	5,47	0,006
I _{max}	15261,8	7630,9	36,94	0,00
Hata	14874,6	206,6		
Toplam	1846,7	923,3	4,47	0,015

Ele alınan çözüm yöntemi sezgisel bir yöntem olduğundan optimale yakın çözümler elde etmek birinci önceliktir. Ancak büyük problemlerde hızlı sonuçların üretilmesi de önem kazanmaktadır. İki çıktıyı da göz önünde bulundurarak cevap yüzeyi metodu kullanılmış ve parametrelerin optimal değerleri belirlenmiştir. Şekil 8'de cevap yüzeyi metodu ile bulunan optimal değerler verilmiştir. Cevap yüzeyi metodunda önce %GAP ve süre çıktıları için ayrı ayrı parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. %GAP için amaç fonksiyonu minimizasyon seçilmiş ve hedef sıfır ve üst değer bir olarak belirlenmiştir. Süre için benzer şekilde amaç fonksiyonu minimizasyon seçilmiş ve hedef sıfır ve üst değer mevcut deneylerdeki en uzun süre dikkate alınarak 500 olarak belirlenmiştir. Cevap yüzeyi optimizasyonu parametrelerin minimum değerlerinden başlatılmıştır. Cevap yüzeyi optimizasyonunda minimum %GAP için optimal değerler Şekil 8(a)'da, minimum süre için optimal değerler Şekil 8(b)'de ve iki amaç fonksiyonu minimizasyonu için optimal değerler Şekil

8(c)'de verilmiştir. Optimize yakın sonuçların elde edilmesi çözüm süresinden daha önemli olduğu için cevap yüzeyi yönteminde önem derecesi %GAP için 1 alınırken süre için 0,2 alınmış ve %GAP'in minimizasyonunun çözüm süresinden 5 kat daha önemli olduğu durum için optimal değerlerin bulunması sağlanmıştır. Tablo 17'de GA için belirlenen optimal parametreler verilmiştir.

Tablo 17. GA için cevap yüzeyi metodu ile belirlenen optimal parametre değerleri (Table 17. Optimal parameter values determined by the response surface method for GA)

Minimum Amaç Fonksiyonu	Faktörler			
	P	P _m	P _c	I _{max}
%GAP	25	0,15	0,65	1005
Süre	25	0,15	0,75	500
%GAP&Süre	25	0,15	0,65	500



Şekil 8. GA’da (a) Min. %GAP için optimal parametreler, (b) Min. süre için optimal değerler, (c) Min. %GAP ve süre için optimal değerler. (Figure 8. In GA; (a) Optimal parameters for min. GAP%, (b) Optimal values for min. time, (c) Optimal values for min. %GAP and time)

B.2. TP-ABA Parametre Analizi

TP-ABA matsezigiselindeki ABA parametreleri için analizler yapılmıştır. ABA popülasyon büyüklüğü (P), çekicilik (β), sabit emilim katsayısı (γ) ve maksimum iterasyon oranı (I_{max}) kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerdir. ANOVA analizi ile ana etki grafikleri incelenmiş ve cevap yüzeyi metodu ile %GAP ve çözüm süresi çıktıları için parametrelerin en iyi değerleri belirlenmiştir. Tablo 18’de parametre analizinde kullanılan faktörler ve seviyeleri görülmektedir.

Tablo 18. ABA faktörleri ve seviyeleri (Table 18. ABA factors and their levels)

Seviye	Faktörler				I_{max}
	P	β	γ		
1	25	0	0,1		25
2	50	0,5	5		50
3	75	1	10		100

Faktör analizinde tam faktöriyel tasarımla (81 adet) deneyler yapılmıştır. GA’nın parametre analizinde kullanılan problem (30 ürün), ABA için de kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve matematiksel modelin optimal sonucu ile karşılaştırılarak %GAP değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde deney süreleri de kaydedilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Şekil 9(a) ve 9(b)’de %GAP ve süre için faktörlerin ana etki grafikleri verilmiştir. Ortalama %GAP değerleri incelendiğinde en düşük değerlerin $P=75$, $\beta=1$, $\gamma=0,1$ ve $I_{max}=100$ ile elde edildiği görülmüştür. Çekicilik (β) oranının ortalama %GAP’e etkisinin düşük olduğu tespit edilmiştir. ANOVA analizi ile parametrelerin daha detaylı etkisi incelenmiş ve sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir. Çekicilik ve sabit emilim katsayılarının anlamlı bir etkiye sahip olmadığı ancak popülasyon büyüklüğü P ve iterasyon sayısının I_{max} %GAP değeri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Şekil 9(b)’de verilen ortalama süreye etki eden parametreler incelendiğinde popülasyon

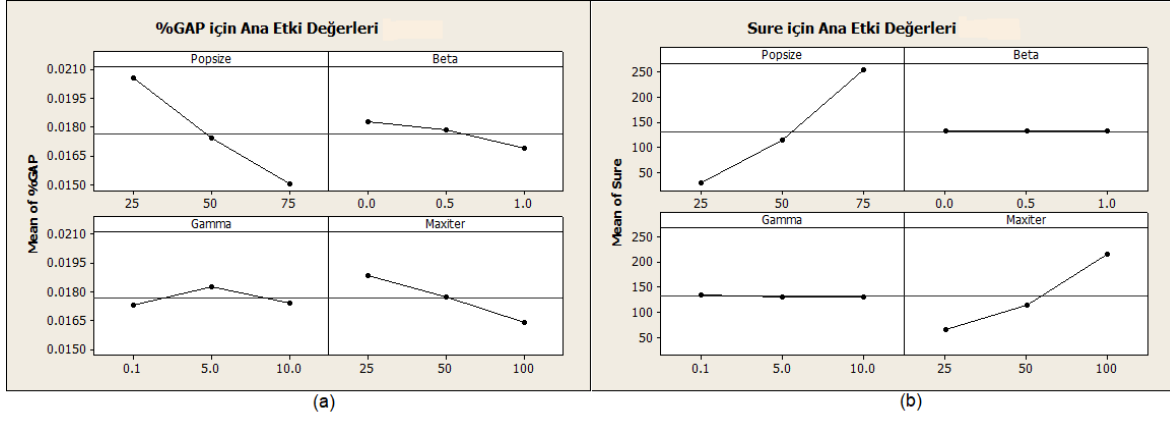
büyüküğü ve iterasyon sayısının doğal olarak etkili olduğu görülmektedir. Tablo 21’de de bu etkiler açıkça görülmektedir.

Cevap yüzeyi metodu ile parametrelerin minimum %GAP ve sürede çözüm üretebilen optimal değerleri belirlenmiştir. Şekil 10’da cevap yüzeyi metodu ile bulunan optimal değerler verilmiştir. Cevap yüzeyi metodunda önce %GAP ve süre çıktıları için ayrı ayrı parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. %GAP için amaç fonksiyonu minimizasyon seçilmiş ve hedef sıfır ve üst değer bir olarak belirlenmiştir.

Süre için benzer şekilde amaç fonksiyonu minimizasyon seçilmiş ve hedef sıfır ve üst değer mevcut deneylerdeki en uzun süre dikkate alınarak 500 olarak belirlenmiştir. Cevap yüzeyi optimizasyonu parametrelerin minimum değerlerinden başlatılmıştır. Cevap yüzeyi optimizasyonunda minimum %GAP için optimal değerler Şekil 10(a)’da, minimum süre için optimal değerler Şekil 10(b)’de ve iki amaç fonksiyonu minimizasyonu için optimal değerler Şekil 10(c)’de verilmiştir. Optimize yakın sonuçların elde edilmesi çözüm süresinden daha önemli olduğu için cevap yüzeyi yönteminde önem derecesi %GAP için 1 alınırken süre için 0,2 alınmış ve %GAP’in minimizasyonunun çözüm süresinden 5 kat daha önemli olduğu durum için optimal değerlerin bulunması sağlanmıştır. Tablo 19’da analizler sonucunda belirlenen ABA için optimal parametre değerleri görülmektedir.

Tablo 19. ABA için cevap yüzeyi metodu ile belirlenen optimal parametre değerleri (Table 19. Optimal parameter values determined by the response surface method for ABA)

Minimum Amaç Fonksiyonu	Faktörler			
	P	β	γ	I_{max}
%GAP	25	0	0,1	99,97
Süre	25	0,014	0,101	25
%GAP&Süre	25	1	0,1	44



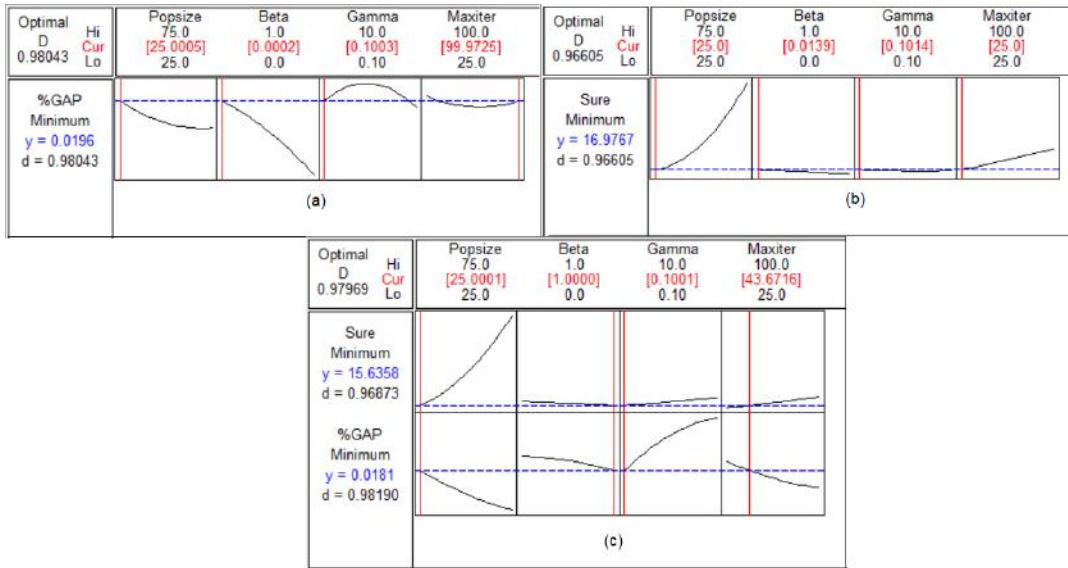
Şekil 9. ABA parametreleri için (a) %GAP için ana etki grafikleri ve (b) Süre için ana etki grafikleri (Figure 9. (a) Main effect graphs of GAP% and (b) Main effect graphs of solution time for ABA parameters)

Tablo 20. ABA'da %GAP için varyans analizi (Table 20. Analysis of variance for GAP% of ABA)

Kaynak	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri
P	0,000412	0,000206	18,02	0
β	2,57E-05	1,29E-05	1,13	0,33
γ	1,41E-05	0,000007	0,62	0,543
I_{max}	8,25E-05	4,13E-05	3,61	0,032
Hata	0,000822	1,14E-05		
Toplam	0,000412			

Tablo 21. ABA'da süre için varyans analizi (Table 21. Analysis of variance for solution time of ABA)

Kaynak	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri
P	697856	348928	139,77	0
β	8	4	0	0,998
γ	425	212	0,09	0,919
I_{max}	322598	161299	64,61	0
Hata	179742	2496		
Toplam	697856	348928	139,77	0



Şekil 10. ABA'da (a) Min. %GAP için optimal parametreler, (b) Min. süre için optimal değerler, (c) Min. %GAP ve süre için optimal değerler (Figure 10. In ABA; (a) Optimal parameters for min. GAP%, (b) Optimal values for min. time, (c) Optimal values for min. %GAP and time)



Farklı Gölgeleyen Kanallar Üzerinden Enerji-Verimli Veri İletimi için Geçmiş-temelli Su-Doldurma Algoritması

Ömer Melih Gül^{1*}

^{1*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi (KKK), Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin10, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0673-7877), gomermel@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 13 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1112389)

ATIF/REFERENCE: Gül, Ö. M. (2022). Farklı Gölgeleyen Kanallar Üzerinden Enerji-Verimli Veri İletimi için Geçmiş-temelli Su-Doldurma Algoritması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 118-125.

Öz

Bu çalışmada, kablosuz ağlarda çoklu gölgeleyen kanallar üzerinden bir radio kaynak tahsisi problem ele alınmaktadır. Bu problem iki yönlü incelenmektedir. İlk olarak, problemi tüm gölgeleyen kanalları düşünerek ele alınmaktadır. Çevrimdışı su-doldurma algoritmasını düşünerek bu problemin en iyi çözümünü sunulmuştur. Daha sonra bu probleme geçmiş-temelli çevrimiçi su doldurma algoritmaları önerilmiştir. Bu çevrimiçi algoritma, geçmişin bir kısmına bağlı bir su-doldurma seviyesine karar vermek amacıyla geçmiş kısmı olarak kullanılmaktadır. Daha sonra, bu çevrimiçi algoritma problemin zaman ufkuunda veri iletmek için bu geçmiş-temelli su-doldurma seviyesini uygulamaktadır. Çevrimiçi ve çevrimdışı politikaların görelî performansını, çeşitli tiplerde (Rayleigh, Rician, Nakagami, Weibull) gölgeleyen kanallar için çeşitli zaman ufuklarında değerlendirilmektedir. Sayısal sonuçlar, özellikle daha uzun zaman ufukları için ve daha uzun geçmişin daha uzun kısımlarını kullanıldığında, bu çevrimiçi su doldurma algoritmalarının çevrimdışı su doldurma algoritmalarına yakın performansı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Su-Doldurma, Takviyeli Öğrenme, Çoklu Erişim Haberleşmesi, Çevrimiçi Politika.

Performance of History-based Water-Filling Algorithm for Energy-Efficient Data Transmission over Different Fading Channels

Abstract

In this paper, we tackle a resource allocation problem over multiple fading channels in wireless networks. This problem is investigated in two ways. First, we consider the problem over the whole multiple fading channels altogether with no power constraint. We look for an optimal solution for this problem by considering an offline waterfilling algorithm. Then, we also propose history-based online waterfilling algorithms for this problem. This online algorithm uses the history partially in order to determine a waterfilling level based on that part of history. Then, the online policy applies this history-based determined waterfilling level to transmit data over the time horizon of the problem. The relative performance of the online and offline policies is evaluated for various types of fading channels (Rayleigh, Rician, Nakagami, Weibull) over various time horizons. The numerical results demonstrate these online waterfilling algorithms shows close performance to offline waterfilling algorithms especially for longer time horizons and by using larger portions of history.

Keywords: Water-Filling, Reinforcement Learning, Multi-access Communications, Online Policy.

* Sorumlu Yazar: gomermel@metu.edu.tr

1. Introduction

1.1. Motivation and Related Work

With negligible latency, superior reliability, and high speeds, the fifth generation (5G) communication is expected to expand mobile ecosystems into new directions. It impacts most of the industries, by providing digitized logistics, remote healthcare, precision agriculture and safer transportation as explained in Qualcomm's website (last reached in 2022). One of the key technologies for 5G is direct communications. In mobile strategies, developing period transportation and pervasive mobile services result in consuming considerably much energy under energy constraints, which prevents D2D communications. Due to small range, data transmission will enable new mobile applications and industry models as in Nazir et. Al (2021).

Water-filling algorithms are very essential for optimizing data transmission in communication systems. They affect design of wireless communications systems, network optimization, resource allocation, so on, which can be seen in Boyd et. Al (2004), Cover et. al (2006), Goldsmith et. Al. (2005), Goldsmith et al. (1996), Tse et. al (2005), Teletar et. Al. (1995), Yang et al. (1994), Dai et. Al. (2014), Gai et. Al. (2012). They are generally needed for resource allocation for multidimensional communications systems. Different physical constraints and performance requirements emerges with the evolution of wireless systems over past decade. This results in various waterfilling policies from single to multi waterlevel solutions, from perfect channel state information(CSI)-based to robust solutions Xing et. Al (2020).

The work authored by Qi et. Al. (2012) presents a low-complexity waterfilling algorithm to allocate power at OFDM-based cognitive radio systems by using power-increment or power-decrement waterfilling process in order to overcome power limitations emerged with cognitive radio, which cannot be dealt with basic waterfilling algorithms. Numerical results demonstrate they can succeed in allocating power optimally and more quickly than iterative waterfilling algorithms.

The work authored by He et. Al. (2013) proposes a low-complexity geometric waterfilling approach for weighted and unweighted radio resource allocation problems by solving a nonlinear system from Karush-Kuhn-Tucker conditions of these problems. This work proves optimality of proposed waterfilling algorithm. Numerical results demonstrate proposed approach is robust, insight-seeing and easy to follow.

The work authored by Ajitsinh et. Al. (2017) investigates power allocation algorithms like uniform, waterfilling, suboptimal and optimal algorithms for OFDM-based cognitive radio systems in simulation environment. Numerical results demonstrate the proposed algorithms can achieve higher transmission than uniform and classical waterfilling algorithms.

The paper authored by Hu et. Al. (2017) proposes a power allocation technique for achieving optimum energy efficiency in Massive MIMO. It develops a new technique for computing optimum power allocation technique based on that simplified expression and it was compared with the conventional scheme. For maximizing energy and spectral efficiency, the paper proposes and embeds an improved waterfilling technique in the power allocation algorithm. Simulation results demonstrates that

compared with conventional schemes, energy efficiency and spectral efficiency are improved much at downlink transmission.

Many recent works propose water-filling policies for channel resource allocation problems. As an example study, Shi et al. (2016) proposes an improved power allocation waterfilling policy, which avoids iterative calculations in conventional waterfilling policy, simplifies the policy effectively so decreases calculations. Chaeriah et al. (2017) proposes an OFDM-based power allocation method. Then, it applies water flooding technique over fading channels in cognitive radio network. This policy can boost channel performance of the network effectively. Moreover, waterfilling policy can be applied for resource allocation problems in multicarrier uplink NOMA systems in the work authored by Zeng et. Al (2019).

The paper authored by Elgarhy et. Al. (2018) investigates a highly-complex weighted throughput maximization problem which can be solved by MLFP-bAsed PowEr aLlocation (MAPEL) algorithm presented in the work authored by Qian et. Al. (2009). The paper uses several methods to reduce computational times of MAPEL, especially by considering the constraint of minimum rate in that optimisation problem. Moreover, the water filling principle is introduced in the optimization for respecting maximum available power for each user if in more resource blocks, the allocation need to be made.

The work authored by Kim et. Al. (2018) proposes a principled technique to decide optimal nonuniform bitline swings by formulating convex optimisation problem. Under the constraints on mean squared error of retrieved words, it considers criterion for maximizing speed, minimizing energy, and energy-delay product. The studied optimization problems in this paper can be interpreted as classical waterfilling, groundflattening&waterfilling, and sandpouring& waterfilling. Greedy algorithms are proposed for obtaining optimized discrete swings by leveraging these interpretations.

The work authored by Gursadani et. Al. (2021) analyzes bit error rate performance of STBC, Orthogonal-STBC and channel capacity enhancement frameworks of MIMO systems by applying waterfilling algorithms with equalization techniques of ZF, ML and MMSE.

The paper authored by Song et. Al. (2021) proposes an improved waterfilling algorithm where the signum function is used for optimizing temperature limit of transmission interference. This advances flexibility of channel screening and optimises the communication network capacity effectively.

In the related literature, many different waterfilling policies are proposed for different problems in different systems whereas these policies have generally high computationally complexity. Therefore, more robust and efficient waterfilling algorithms are needed for this problem especially in the practical manner. To the best of our knowledge, the effect of using partial history to decide future waterlevel for data transmission has not studied yet.

1.2. Main Contributions

In this paper, we tackle a resource allocation problem over multiple fading channels in wireless networks. This problem is tackled in two ways. First, we consider the problem over the whole multiple fading channels altogether in offline manner. We look for an optimal solution for this problem over each fading channel by considering an offline waterfilling algorithm. Then, we consider the problem over the multiple fading channels in

online manner. We propose a history-based online waterfilling policy which benefits from partial history information.

1.3. Organization

The rest of the paper is organized as follows. In Section II, we gave our system model and then defined our problem. In Section III, I gave a brief background on waterfilling approach. Section IV, we proposed optimal offline waterfilling algorithms and then we proposed history-based online algorithms for the problem at hand. In Section V, we presented the numerical results under different fading scenarios for various time horizons. In Section VI, we concluded our work.

2. System Model and Problem Formulation

2.1. System Model

In this paper, we consider energy-efficient data transmission problem over multiple fading channels in wireless networks.

In this system, a transmitter with K channels transmits data to K single-channel receivers. We assume that channels are orthogonal to each other, so interference is neglected.

Figure 1 shows an example scenario with 4 fading channels.

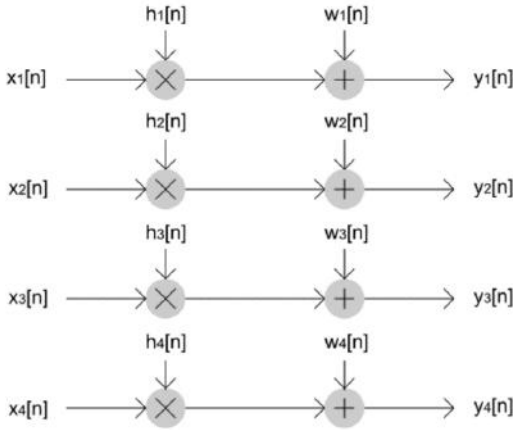


Figure 1. System model with $K=4$ fading channel scenario
(Şekil 1. $K=4$ gölgelenen kanallı senaryo ile Sistem Modeli)

The data transmission over each channel is modelled as,

$$y_k[n] = h_k[n] \cdot x_k[n] + w_k[n], k = 1, \dots, K; n = 1, \dots, N \quad (1)$$

where $y_k[n]$, $x_k[n]$, and $w_k[n]$ are output, input and noise signals in the k^{th} subchannel in n^{th} time slot, respectively. $h_k[n]$ is channel gain for each subchannel.

Assuming the transmit power in each subchannel is $P_k[n]$, the maximum rate of reliable communication over OFDM channel is

$$C_k[n] = B \cdot \log \left(1 + \frac{P_k[n] \cdot |h_k[n]|^2}{N_0} \right) \text{ bit/symbol} \quad (2)$$

where N_0 is power density of noise.

By allocating transmission powers $P_k[n]$ optimally, we aim to maximize total transmitted data over the time horizon.

2.2. Problem Formulation

The problem at hand is investigated in both offline and online manner in the paper. First, the problem is given as follows.

$$C(K, N) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K C_k[n] \quad (3)$$

From Equation (2), the power allocation is the solution to the optimization problem:

$$C(K, N) = \max_{\{P_k[n]\}_{n=1}^N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K B \cdot \log \left(1 + \frac{P_k[n] \cdot |h_k[n]|^2}{N_0} \right) \quad (4)$$

s.t. $\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K P_k[n] \leq E$ where E is total transmission energy; and $P_k[n] \geq 0, k = 1, \dots, K, n = 1, \dots, N$.

3. Brief Background on Waterfilling Policy

In this section, we give a brief background on waterfilling policy which is optimal for the problem in Equation (4). In the waterfilling scheme, all optimal power levels can be obtained as:

$$P_k[n] = \left[\frac{1}{K \cdot N} \left(E + \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{1}{|h_k[n]|^2} \right) - |h_k[n]|^2 \right]^+ \quad (5)$$

where $[A]^+ = A$ if $A > 0$. Otherwise, $[A]^+ = 0$ if $A \leq 0$.

As single-channel examples, Figure 2a and Figure 2b illustrate two different waterfilling schemes with $E=50$ units and $E=25$ units, respectively. In Figure 2a, data is transmitted in all TSs whereas data is not transmitted in TS 6 in Figure 2b.

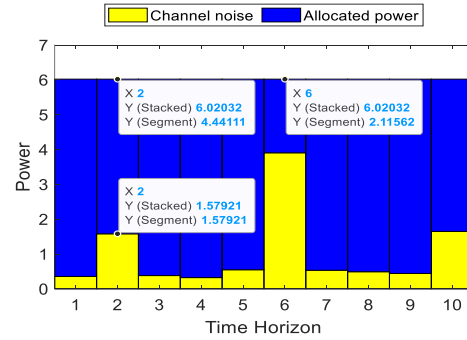


Figure 2a. Waterfilling with $E=50$ on $K=10$ fading channel (Şekil 2a. $K=10$ gölgelenen kanal üzerine $P=50$ ile Su-Doldurma)

In Figure 2a, X, Y(Segment) and Y(Staked) represent the time, the channel gain level and the allocated transmission power times channel gain, respectively. In Figure 2b, Y(Staked) equals to Y(Segment) in TS 6 when there is no transmission.

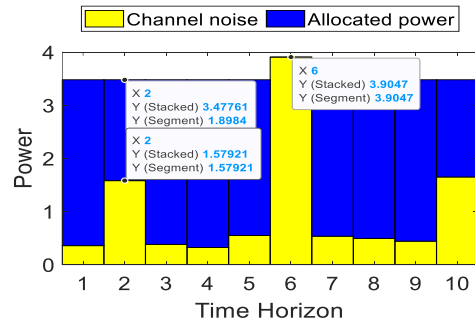


Figure 2b. Waterfilling with $E=25$ on $K=10$ fading channel (Şekil 2b. $K=10$ gölgelenen kanal üstüne $P=25$ ile Su-Doldurma)

4. Proposed Waterfilling Algorithms

In this section, we consider the problem in both offline and online manner. Firstly, an optimal solution is proposed for this problem by considering an offline waterfilling algorithm. Then, we propose a history-based online waterfilling algorithm.

4.1. Offline Waterfilling Algorithm

In this subsection, we consider the problem in the offline manner. We present the conventional offline waterfilling algorithm which is omniscient and so optimal by using bisection method for the problem as an optimal solution (Please see Figure 3). It will be used in the section of numerical results as a benchmark policy with which the online policy is compared.

Algorithm 1 Offline Waterfilling Policy

Input: $D(K, N)$ is the number of data packets to be transmitted via all K channels over a time horizon N .

$h_k[n]$ is the channel gain k in the time slot n .

Initialize: WFL_{max} , WFL_{min} and ϵ are maximum waterfilling level, minimum waterfilling level and the tolerance, respectively.

1) Let's initiate $K \times N$ Water-Filling Level Matrix as $WFL \leftarrow \left(\frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2} \right) .ones(K, N)$

2) Let's initiate $K \times N$ Channel Gain Matrix G such that $G(k, n) = \frac{N_0}{|h_k[n]|^2} \quad \forall k \in \{1, \dots, K\}, \forall n \in \{1, \dots, N\}$

3) Define $K \times N$ data rate matrix from channel capacity theorem $C(K, N) \triangleq B \cdot \log_2(1 + 10^{(WFL - G)})$ by Eq. (2)

Procedure:

Comment: The loop is terminated only if the difference between channel capacity and the number of data packets to be transmitted is very little (less than the ϵ value).

while $(|C(K, N) - D(K, N)| > \epsilon)$ do

if $C(K, N) < D(K, N)$ then

$WFL_{min} \leftarrow \frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2}$

else

$WFL_{max} \leftarrow \frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2}$

end if

$WFL \leftarrow \left(\frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2} \right) .ones(K, N)$

Comment: We calculate channel capacity value for each channel in each time slot by checking whether the difference between waterfilling level and channel gain is positive or not $C(K, N) \leftarrow B \cdot \log_2(1 + 10^{\min(WFL - G, 0)})$

endwhile

Output: Return WFL

Figure 3. Omniscient, Offline Waterfilling Algorithm (Şekil 3. Herşeyi bilen, Çevrimdışı Su Doldurma Algoritması)

4.2. History-based Online Waterfilling Algorithm

In this subsection, we suggest a history-based online waterfilling policy by using the history for the problem. Figure 4 shows three different 10-TS scenarios with 1-TS, 2-TS, 3-TS long histories.



Figure 4. In $T=10$ TS time horizon, white-color TSs show online scenarios while dark-colored ones show the histories. (Şekil 4. $T=10$ TS zaman ufkunda açık renkli zaman dilimleri çevrimiçi senaryoları gösterirken koyu renkli olanlar geçmişleri gösterir.)

The history-based online algorithm uses the history partially in order to determine a waterfilling level based on that part of history. Then, the online policy applies this history-based determined waterfilling level to transmit data over the time horizon of the problem. Thus, the online policy aims to make as efficient data transmission as the offline policy by making inference from the channel conditions in the past time slots.

Algorithm 2 History-based Online Waterfilling Policy

Input: $D(K, N)$ is the number of data packets to be transmitted via all K channels over a time horizon of N TSs.

$h_k[n]$ is the channel gain k in the time slot n .

Initialize: WFL_{max} , WFL_{min} and ϵ are maximum waterfilling level, minimum waterfilling level and the tolerance, respectively.

1) Let's initiate $K \times M$ Water-Filling Level Matrix as

$WFL \leftarrow \left(\frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2} \right) .ones(K, M)$

2) Let's initiate $K \times N$ Channel Gain Matrix G such that $G(k, n) = \frac{N_0}{|h_k[n]|^2} \quad \forall k \in \{1, \dots, K\}, \forall n \in \{1, \dots, N\}$

3) Define $K \times N$ data rate matrix from channel capacity theorem $C(K, N) \triangleq B \cdot \log_2(1 + 10^{(WFL - G)})$ by Eq. (2)

Procedure:

Comment: The loop is terminated only if the difference between channel capacity and the number of data packets to be transmitted is very little (less than the ϵ value).

while $(|C(K, M) - D(K, N)| > \epsilon)$ do

if $C(K, M) < D(K, N) * \frac{M}{N}$ then

$WFL_{min} \leftarrow \frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2}$

else

$WFL_{max} \leftarrow \frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2}$

end if

$WFL \leftarrow \left(\frac{WFL_{max} + WFL_{min}}{2} \right) .ones(K, M)$

Comment: We calculate channel capacity value for each channel in each time slot by checking whether the difference between waterfilling level and channel gain is positive or not $C(K, M) \leftarrow B \cdot \log_2(1 + 10^{\min(WFL - G, 0)})$

endwhile

Comment: For obtaining a robust algorithm, we need to consider a history of the past M time slots instead of waiting for all N time slots ($M \leq N$). Therefore, the WFL obtained from all time slots will be applied more comfortably.

Output: Return WFL

Figure 5. History-based Online Waterfilling Algorithm (Şekil 5. Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su Doldurma Algoritması)

5. Numerical Results

In this paper, we consider energy-efficient data transmission problem over multiple fading channels in a communications system [7]. In this section, the relative performance of the history-based online waterfilling policy to offline waterfilling policy is evaluated in two ways: 1) Various Time Horizons, namely, $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs. 2) Different fading channels, namely, Rayleigh fading, Nakagami fading with $m = 2$, Rician fading, Weibull fading with $k = 1.5$.

We investigate the ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy.

The history of Online Waterfilling Policy is given in terms of time slices each of which lasts 10% of time horizon. For example, for $T=1000$ TS, 4 time-slice history has a length of $4 \cdot 10\% \cdot 1000$ TSs= 400 TSs whereas 4 time-slice history has a length of $4 \cdot 10\% \cdot 10000$ TSs= 4000 TSs for $T=10000$ TSs.

5.1. Time Horizon

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for various fading channels over the time horizons of $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs.

5.1.1. Rayleigh Fading Channel

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for Rayleigh fading channels over various time horizons, namely, $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs.

Figure 6 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Rayleigh fading channel. Table 1 shows more precise results than Figure 6.

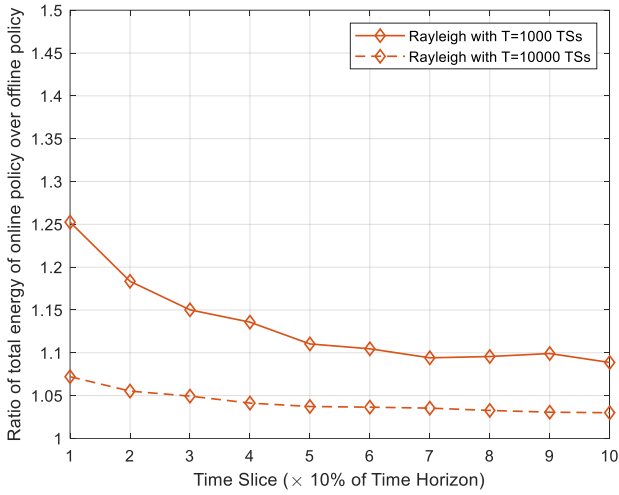


Figure 6. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to Offline Waterfilling Policy for Rayleigh Fading Channel. (Şekil 6. Rayleigh Gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'na oranı.)

From Figure 6, it can be observed that the difference between total energy consumption of history-based online waterfilling policy from offline waterfilling policy becomes nearly 3 times more in case of $T = 1000$ TS than the case of $T = 10000$ TS.

Table 1. This table presents ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Rayleigh fading channel. $C=1$ shows $T=1000$ TS case whereas $C=2$ shows $T=10000$ TS case. (Tablo 1. Bu tablo, Rayleigh gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'ninkine oranı. $C=1$, $T=1000$ TS durumunu gösterirken; $C=2$, $T=10000$ TS durumunu gösterir).

C	0.1T	0.2T	0.3T	0.4T	0.5T	0.6T	0.7T	0.8T	0.9T	1.0T
1	1.25	1.18	1.15	1.14	1.11	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09
2	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03

From Table 1, by using a history of 1 time slice, (10% of time horizon, i.e., 0.1 T), the online policy consumes 25% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 7% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

By using a history of 5 time slices, (half of time horizon, i.e., 0.5 T), the online policy consumes 11% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 4% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

Using a history of larger than 6 time slices does not make a big difference (just 1%) for neither the online and offline policies.

5.1.2. Nakagami Fading Channel

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for Nakagami fading channels with $m = 2$ over various time horizons, namely, $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs.

Figure 7 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Nakagami fading channel. Table 2 shows more precise results than Figure 7.

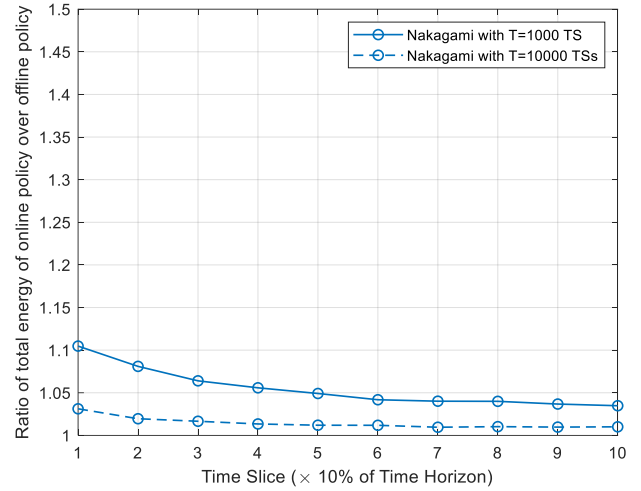


Figure 7. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to Offline Waterfilling Policy for Nakagami Fading Channel (Şekil 7. Nakagami Gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'na oranı.)

From Figure 7, it can be observed that the difference between total energy consumption of history-based online waterfilling policy from offline waterfilling policy becomes nearly 4 times more in case of $T = 1000$ TS than the case of $T = 10000$ TS.

Table 2. This table presents ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Nakagami Fading Channel. $C=1$ shows $T=1000$ TS case whereas $C=2$ shows $T=10000$ TS case. (Tablo 2. Bu tablo, Nakagami gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'ninkine oranı. $C=1$, $T=1000$ TS durumunu gösterirken; $C=2$, $T=10000$ TS durumunu gösterir).

C	0.1T	0.2T	0.3T	0.4T	0.5T	0.6T	0.7T	0.8T	0.9T	1.0T
1	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03
2	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

From Table 2, by using a history of 1 time slice, (10% of time horizon, i.e., 0.1 T), the online policy consumes 10% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 3% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

By using a history of 5 time slices, (half of time horizon, i.e., 0.5 T), the online policy consumes 5% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 1% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

Using a history of larger than 6 time slices does not make a big difference (just 1%) for neither the online and offline policies.

5.1.3. Rician Fading Channel

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for Rician fading channels with over various time horizons, namely, $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs.

Figure 8 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Rician fading channel. Table 3 shows more precise results than Figure 8.

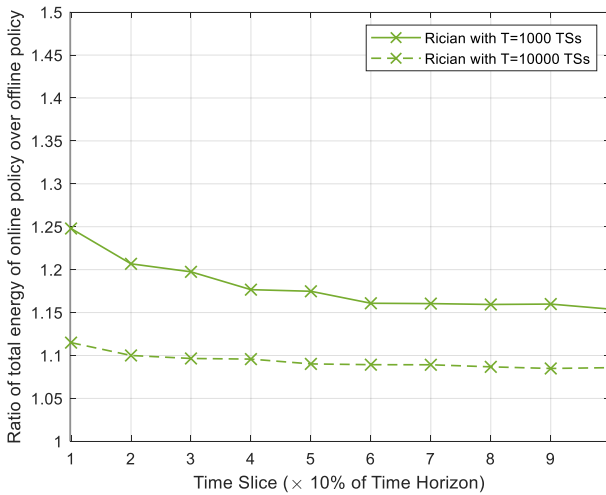


Figure 8. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to Offline Waterfilling Policy for Rician Fading Channel. (Şekil 8. Rician Gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nun toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'na oranı.)

From Figure 8, it can be observed that the difference between total energy consumption of history-based online waterfilling policy from offline waterfilling policy becomes nearly 2 times more in case of $T = 1000$ TS than the case of $T = 10000$ TS.

Table 3. This table presents ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Rician Fading Channel. $C=1$ shows $T=1000$ TS case whereas $C=2$ shows $T=10000$ TS case. (Tablo 3. Bu tablo, Rician gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nun toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'nunkine oranı. $C=1$, $T=1000$ TS durumunu gösterirken; $C=2$, $T=10000$ TS durumunu gösterir).

C	0.1T	0.2T	0.3T	0.4T	0.5T	0.6T	0.7T	0.8T	0.9T	1.0T
1	1.25	1.21	1.20	1.18	1.17	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15
2	1.12	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08

From Table 3, by using a history of 1 time slice, (10% of time horizon, i.e., 0.1 T), the online policy consumes 25% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 12% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

By using a history of 5 time slices, (half of time horizon, i.e., 0.5 T), the online policy consumes 17% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 9% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

Using a history of larger than 6 time slices does not make a big difference (just 1%) for neither the online and offline policies.

5.1.4. Weibull Fading Channel

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for Weibull fading channels with $k = 1.5$ over various time horizons, namely, $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs.

Figure 9 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Rayleigh fading channel. Table 4 shows more precise result than Figure 9.

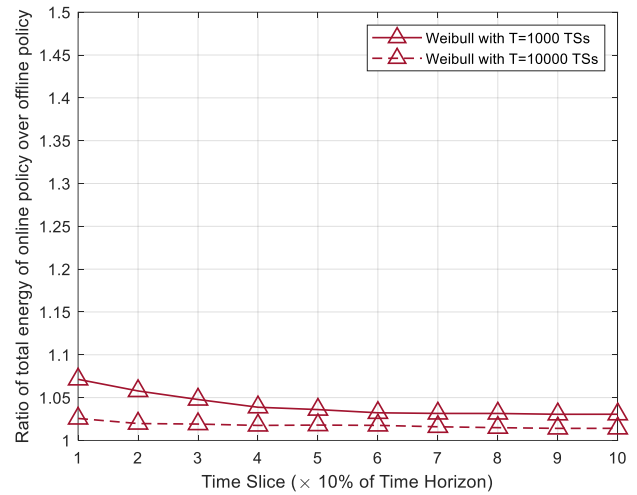


Figure 9. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to Offline Waterfilling Policy for Weibull Fading Channel. (Şekil 9. Weibull Gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nun toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'na oranı.)

From Figure 9, it can be observed that the difference between total energy consumption of history-based online waterfilling policy from offline waterfilling policy becomes nearly 2 times more in case of $T = 1000$ TS than the case of $T = 10000$ TS.

Table 4. This table presents ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for Weibull Fading Channel. $C=1$ shows $T=1000$ TS case whereas $C=2$ shows $T=10000$ TS case. (Tablo 4. Bu tablo, Weibull gölgele kanal için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nun toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'nunkine oranı. $C=1$, $T=1000$ TS durumunu gösterirken; $C=2$, $T=10000$ TS durumunu gösterir).

C	0.1T	0.2T	0.3T	0.4T	0.5T	0.6T	0.7T	0.8T	0.9T	1.0T
1	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
2	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01

From Table 4, by using a history of 1 time slice, (10% of time horizon, i.e., 0.1 T), the online policy consumes 7% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 3% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

By using a history of 5 time slices, (half of time horizon, i.e., 0.5 T), the online policy consumes 4% more energy than the offline policy in $T = 1000$ TS whereas it consumes just 2% more energy than the offline algorithm in $T = 10000$ TS.

Using a history of larger than 6 time slices does not make a big difference (just 1%) for neither the online and offline policies.

5.2. Different Fading Channels

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated over the time horizons of $T = 1000$ TSs and $T = 10000$ TSs under various fading channels, namely, Rayleigh fading, Nakagami fading with $m = 2$, Rician fading, Weibull fading with $k = 1.5$.

5.2.1. $T=1000$ TS Time Horizon

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for $T = 1000$ TSs time horizon under Rayleigh, Nakagami with $m = 2$, Rician, Weibull with $k = 1.5$ fading channels.

Figure 10 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy over the time horizons of $T = 1000$ TSs.

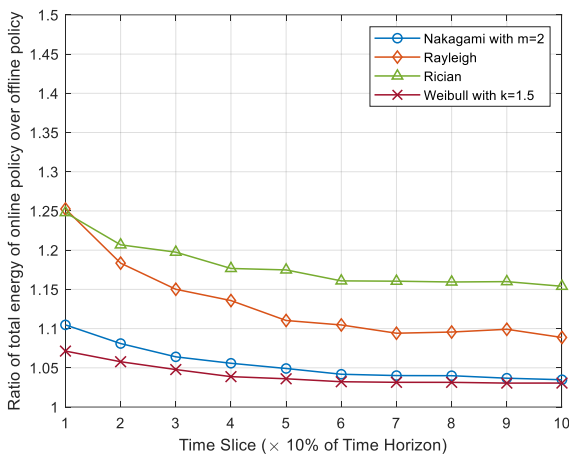


Figure 10. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for $T=1000$ TS. (Şekil 10. $T=1000$ TS için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'ninkine oranı.)

From Figure 10, it can be observed that the difference of total energy consumption of history-based online waterfilling policy from that of offline waterfilling policy becomes close to each other under Nakagami with $m=2$ and Weibull with $k=1.5$. Except 0.1-T history case, the difference is less than 0.02 (equals to 2% of total energy consumption of offline waterfilling policy). The consumed energy difference of online policy from the offline policy becomes nearly 25% less under Weibull fading than that under Nakagami fading if the history has a length less than $0.4T=400$ TSs. With a $T=1000$ -TS-length history, the difference of the online policy from the offline policy becomes equal to each other (3%) under both Nakagami with $m=2$ and Weibull with $k=1.5$.

Online Waterfilling Policy with a history of 0.1 $T=100$ TSs (10% of the time horizon) achieves the same performance (25% more energy consumption than the optimal offline policy) under Rayleigh and Rician fading channels. On the other hand, the consumed energy difference of online policy from the offline policy becomes nearly 40% less under Rayleigh fading than that under Rician fading if the history has a length greater than $0.5T=500$ TSs (half of the time horizon).

5.2.2. $T=10000$ TS Time Horizon

In this subsection, the relative performance of the online and offline policies is evaluated for $T = 10000$ TSs time horizon under Rayleigh, Nakagami with $m = 2$, Rician, Weibull with $k = 1.5$ fading channels.

Figure 11 represents the general trends of ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy over the time horizons of $T = 10000$ TSs.

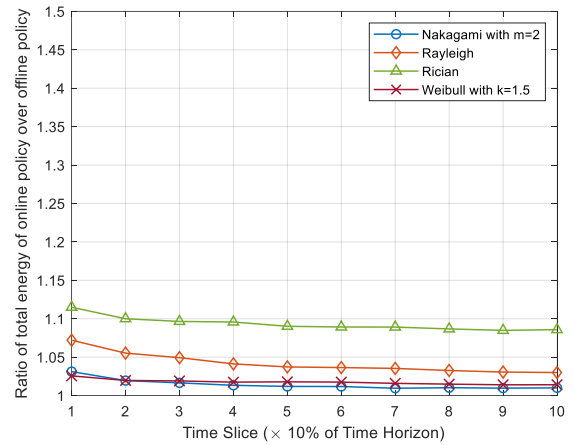


Figure 11. Ratio of total transmission energy by History-based Online Waterfilling Policy to that of Optimal Offline Waterfilling Policy for $T=10000$ TS. (Şekil 11. $T=10000$ TS için Geçmiş-temelli Çevrimiçi Su-doldurma Politikası'nın toplam iletim enerjisinin Çevrimdışı Su-doldurma Politikası'ninkine oranı.)

From Figure 11, it can be observed that the difference of total energy consumption of history-based online waterfilling policy from that of offline waterfilling policy becomes close to each other under Nakagami with $m=2$ and Weibull with $k=1.5$. The difference is less than 0.01 (equals to 1% of total energy consumption of offline waterfilling policy). The consumed energy difference of online policy from the offline policy becomes same under both Weibull fading and Nakagami fading if the history has a length less than $0.4T=4000$ TSs or greater than $0.7T=7000$ TSs. With a history longer than $0.8T=8000$ TSs, the difference of the online policy from the offline policy is subtle (1%) under Nakagami with $m=2$ and Weibull with $k=1.5$.

The consumed energy difference of the Online Waterfilling Policy from the offline policy becomes nearly 50% less under Rayleigh fading than that under Rician fading.

5.3. Further Remarks

The performance of the online waterfilling policy become close to the optimal offline policy under Weibull fading with $k=1.5$. The second best performance of the online policy is achieved under Nakagami Fading. The maximum energy difference of the online policy from the offline policy occurs under Rician fading. The performance difference mainly occurs due to the difference between stochastic distributions of the fading models.

Another remark is that as the time horizon increases, the length of history increases. Even if the ratio of history length to time horizon length is same (for example 0.1 T), the online policy achieves better performance for larger time horizons.

6. Conclusions and Future Works

In this paper, we consider a resource allocation problem over multiple fading channels. This problem is investigated in both offline and online manner. Firstly, we consider the problem over the whole multiple fading channels altogether in offline manner. We search for an optimal solution for this problem by considering an offline waterfilling algorithm. Then, we consider the problem over the whole multiple fading channels altogether in online manner. We look for an optimal solution for this problem over all fading channels. Then, we propose a history-based online waterfilling algorithm.

The numerical results demonstrate the history-based online waterfilling algorithm shows close performance to offline waterfilling algorithm especially for longer time horizons and by using larger portions of history.

In the future work, the problem can be investigated by adding different constraints such as delay, jitter, etc. These variations of the problem will require different perspectives to obtain an efficient and robust solution so different approaches should be applied for these variations of the problem.

References

- Ajitsinh. N., Jadhav and Sakib. R. Mujawar. (2017). Different power loading allocation schemes for ofdm based cognitive radio system. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 8 (1), 350-359.
- Boyd, S. and Vandenberghe, L. (2004). *Convex Optimization*. Cambridge University Press.
- Cover, T. and Thomas, J. (2006). *Elements of Information Theory*, 2nd Edition. Wiley&Sons.
- Dai, M., Zhang S., Chen, B., Lin, X., &Wang, H. (2014). A refined convergence condition for iterative waterfilling algorithm. *IEEE Communications Letters*, 18(2), 269-272.
- Elgarhy O. and Reggiani L., "Application of the Water Filling Algorithm to the Sum Rate Problem with Minimum Rate and Power Constraint," *2018 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO)*, 2018, pp. 12-16.
- Gai, Y.& Krishnamachari, B. (2012). Online Learning Algorithms for Stochastic Water-Filling. *IEEE Information Theory and Applications Workshop (ITA)*, 1-6.
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
- Goldsmith, A., &Varaiya, P. P. (1996). Capacity, mutual information, and coding for finite-state Markov channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, 42 (3), 868-886.
- Gurdasani H., Ananth, A. G., Thangadurai N. (2021). Channel Capacity Enhancement of MIMO System using Water-Filling Algorithm. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*.12 (12), 192-201.
- Kim Y.; Kang M.; Varshney L. R.; Shanbhag N. R., (2018). Generalized Water-Filling for Source-Aware Energy-Efficient SRAMs. *IEEE Transactions on Communications*, 66 (10), 4826-4841.
- Nazir, M., Sabah, A., Sarwar, S. et al. (2021). Power and Resource Allocation in Wireless Communication Network. *Wireless Pers Commun* 119, 3529-3552.
- Noor Shahida M. K, Nordin R. and Ismail. M. (2017). Improved Water-Filling Power Allocation for Energy-Efficient Massive MIMO Downlink Transmissions. *Intl Journal of Electronics& Telecommunications*, vol. 63, no. 1, 79-84.
- P. He, L. Zhao, S. Zhou, Z. Niu, (2013). Water-Filling: A Geometric Approach and its Application to Solve Generalized Radio Resource Allocation Problems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12 (7), 3637-3647.
- Qi Q, Minturn A., and Yang Y. L. (2012). An Efficient Water-Filling Algorithm for Power Allocation in OFDM-Based Cognitive Radio Systems. *2012 International Conference on Systems and Informatics*, 2069-2073.
- Qian L. P., Zhang Y. J., and Huang J. (2009). MAPEL: Achieving global optimality for a non-convex wireless power control problem," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 8, no. 3, 1553-1563.
- Qualcomm. Everything you need to know about 5G. Available at <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g> (Accessed on 3 October 2022.)
- Tse, D. & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press.
- Teletar, E. (1995). Capacity of multi-antenna Gaussian channels. AT&T Bell Labs Internal Tech. Memo.
- Xing, C., Jing, Y., Wang, S., Ma, S. & Poor, H. V. (2020). New Viewpoint and Algorithms for Water-Filling Solutions in Wireless Communications. in *IEEE Transactions on Signal Processing*, 68, 1618-1634.
- Wael C. B. A, Armi N., Miftahushudur M. T., Muliawarda D., and Sugandi G. (2017). Power Allocation in OFDM-Based Cognitive Radio Networks for Fading Channel. in *2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*.
- Wei S., Zheng Z. and Wu, C. (2021). Channel Power Allocation Optimization Based on Water-filling Algorithm in 5G. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1871 012082.
- Yang, J. and Roy, S. (1994). On joint transmitter and receiver optimization for multiple-input-multiple-output (MIMO) transmission systems. *IEEE Transactions on Communications*, 42(12), 3221-3231.
- Yu S., Daoxing G., Lu L., and Xiaopei D., (2016). A modified water-filling algorithm of power allocation. in *IEEE Information Technology, Networking, Electronic & Automation Control Conference*, 1125-1129.
- Zeng M., Nguyen N. P., Dobre O. A., Ding Z., and Poor H. V. (2019). Spectral- and Energy-Efficient Resource Allocation for Multi-Carrier Uplink NOMA Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 9293-9296.



Analysis of Aflatoxin Types in Red Pepper Flakes Samples by HPLC

Teslima Daşbaşı^{1*}

^{1*} Kayseri University, Bünyan Vocational School, Kayseri, Turkey, (ORCID: : 0000-0002-8546-612X), teslimadasbasi@kayseri.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141196)

ATIF/REFERENCE: Teslima Daşbaşı. (2022). Analysis of Aflatoxin Types in Red Pepper Flakes Samples by Hplc. *European Journal of Science and Technology*, (41), 126-131.

Abstract

Aflatoxins produced by *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus nomius* and *Penicillium* and *Rhizopus* molds are a mycotoxin derivative and are harmful to human health. In this study, the aflatoxin B1, B2, G1 and G2 types sold in Kayseri street market were determined in red flakes pepper samples by high performance liquid chromatography (HPLC). Firstly, the aflatoxin types were extracted by shaking technique. A mixture of methanol and water (80:20 v/v), at the 30 °C temperature. The chromatographic separation was conducted on ODS-2 with Fluorescence Detector, ex: 360 nm, em: 440 nm at 30 °C for 30 min. For the determination of aflatoxin B1, B2, G1 and G2, standard solutions of analytes at known concentration were prepared according to the official method AOAC 999.07. The calibration line was prepared according to the standards and the results were given according to the calibration line. The detection limit was determined as 0.216 µg L⁻¹ for B1 and G1 and 0.0648 µg L⁻¹ for B2 and G2. While the highest concentration was analyzed for AFB1 as 7.32, for AFB2 as 2.39 and for AFG1 as 1.23 µg L⁻¹, it was observed that the concentration for AFG2 remained below the quantification limit in samples. The quantification limits were 0.720 µg L⁻¹ for aflatoxins B1 and G1, and 0.216 µg L⁻¹ for B2 and G2. Recovery studies are in the range of 90-104%. The %RSD was calculated as ≤ 5% (n=11).

Keywords: Aflatoxin B1 (AFB1), Aflatoxin B2 (AFB2), Aflatoxin G1 (AFG1), Aflatoxin G2 (AFG2), Red Pepper Flakes, HPLC

Kırmızı Pul Biber Örneklerinde HPLC İle Aflatoksin Türlerinin Analizi

Öz

Aspergillus flavus, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus nomius* ve *Penicillium* ve *Rhizopus* küflerinin ürettiği aflatoksinler bir mikotoksin türevi olup insan sağlığına zararlıdır. Bu çalışmada, Kayseri semt pazarında satılan kırmızı pul biber örneklerinde aflatoksin B1, B2, G1 ve G2 türleri yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiştir. Öncelikle aflatoksin türleri 30 °C sıcaklıkta metanol ve su karışımında (80:20 v/v) çalkalama tekniği ile ekstrakte edilmiştir. Kromatografik ayırma, Floresan Dedektörü ile ODS-2 kolonu üzerinde, ex: 360 nm, em: 440 nm, 30 °C'de 30 dakika boyunca gerçekleştirildi. Aflatoksin B1, B2, G1 ve G2'nin tayini için, bilinen konsantrasyondaki analitlerin standart çözeltileri, resmi yöntem AOAC 999.07'ye göre hazırlandı. Kalibrasyon doğrusu standartlara göre hazırlanmış ve çalışma aralığına göre sonuçlar verilmiştir. Gözlenebilme sınırı B1 ve G1 için 0,216 µg L⁻¹ ve B2 ve G2 için 0,0648 µg L⁻¹ olarak belirlendi. En yüksek konsantrasyon AFB1 için 7,32, AFB2 için 2,39 ve AFG1 için 1,23 µg L⁻¹ olarak analiz edilirken, örneklerde AFG2 konsantrasyonunun gözlenebilme sınırının altında kaldığı belirlendi. Tayin sınırları, aflatoksin B1 ve G1 için 0.720 µg L⁻¹ ve B2 ve G2 için 0.216 µg L⁻¹ idi. Geri kazanım çalışmaları %90-104 aralığındadır. Çalışmanın bağlı standart sapması %RSD ≤ %5 (n=11) olarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Aflatoksin B1 (AFB1), Aflatoksin B2 (AFB2), Aflatoksin G1 (AFG1), Aflatoksin G2 (AFG2), Kırmızı Pul Biber, HPLC

* Corresponding Author: teslimadasbasi@kayseri.edu.tr

1. Introduction

It is possible for the food to be contaminated in the stages starting from the harvest period until it reaches our table. This risk is less in fruits and vegetables consumed fresh. Accumulation of aflatoxins in foods can be caused by environmental factors such as humidity, temperature and insects, on the other hand, aflatoxin accumulation may occur during plant growing, harvesting, drying, processing and storage processes. Aflatoxins produced by *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus nomius* and some *Penicillium* and *Rhizopus* species are a mycotoxin derivative. They are metabolites with toxic properties in humans and animals, can have acute hepatotoxic effects, immunosuppressive and carcinogenic effects. In addition, aflatoxins can cause developmental disorders and hereditary disorders (Moss et al., 1992).

Aflatoxins are mostly found in spices, legumes, shelled and unshelled nuts, oil seeds, dried vegetables and fruits. In addition to these products, aflatoxins can be found in meat, meat products, milk and dairy products (Goldblatt, 1969; Heperkan, 2014). In order to preserve the nutritional quality of foods for a long time, it is necessary to limit enzymatic and microbiological changes. This long time that lasts in a short time in determining the period; in the cold such as preservation, freezing, drying, preservative addition various maintenance trainings and cause deterioration Maintaining quality by minimizing the speed of reactions (Topdaş et al., 2011). Drying technique is one of the methods used to prevent enzymatic and microbiological spoilage of foods. Drying technique is important in the formation of aflatoxin. Some producers carry out drying in the field without harvesting the crop. This situation (Roberts & Patterson 1976; Romer 1973) may cause soil-borne fungal contamination and aflatoxin formation. In red pepper production, dried unopened fungal colonization of peppers a suitable environment for aflatoxin formation (Demircioğlu & Filazi 2010). Techniques such as natural convection drying, microwave and hot air drying methods are used in the drying process (Yıldız & İzli 2020). However, this technique may not be sufficient in terms of food safety. Analysis of aflatoxins is important in terms of food safety of many foods such as nuts, legumes, spices and dried fruits and vegetables that we consume dry. Aflatoxins are generally divided into six main compounds, namely B1, B2, G1, G2, M1 and M2. The dihydro derivative of aflatoxin B1 is B2, and the dihydro derivative of aflatoxin G1 is G2. Apart from these four aflatoxins, aflatoxins M1 and M2 were isolated from the milk and urine of lactating mammals fed with aflatoxin feed. Plant-based foods contain the most aflatoxin B1, B2, G1 and G2 types (CAST 2003; Oner et al., 2022; Sevdin et al., 2021). It has been determined that aflatoxin M1 and M2 species are found in directly consumed animal products such as meat, milk and eggs (Desjardins et al., 2003; Magan & Olsen 2004). Aflatoxin-containing products are of great importance not only in terms of health but also in economic terms. Turkey is one of the important countries exporting nuts, legumes, spices, fruits and vegetables. The amount of aflatoxin in these products should not exceed the desired limits. Otherwise, the

rejection of the products causes economic damage. The Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF 2022), which belongs to the member states of the European Union community, sends notifications to the commission in case any risk that threatens human and animal health is detected. RASFF has given our country a limit refund for aflatoxin in 2018, with 14.56 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for aflatoxin B1 type and 21.44 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for total aflatoxin in peanut kernels, as it exceeded the upper limit. The upper limit accepted by RASFF is 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for aflatoxin B1 type (RASFF 2022; FAO 1987a; FAO 1987b). Routine analysis of aflatoxin derivatives in foods is very important for both human health and national economy. Aflatoxins are present in trace amounts in real samples. Therefore, many analysis methods have been developed to obtain results with high sensitivity and precision. In the determination of aflatoxins, thin layer chromatography (Turner et al., 2009), gas chromatography (Trucksess 1984), liquid chromatography (Zhao et al., 2017), high performance liquid chromatography (Hamed et al., 2017), enzyme bound many analysis methods such as immunosorbent analysis (Li et al., 2016) and biosensor (Pagkali et al., 2018) have been used.

In this study, the extraction of aflatoxin types B1, B2, G1 and G2 in red pepper flakes products sold in Kayseri street markets was done by shaking technique. Then, the amount of aflatoxin species was determined by HPLC device. The AOAC Official Method 999.07 was used for aflatoxin analysis (AOAC 2007). Three parameters were studied from each sample.

2. Material and Method

2.1. Chemical Materials and Standard Solutions

All chemicals used are of analytical grade and supplied by Merck, Darmstadt, Germany. The aflatoxin standards used were obtained from Sigma Aldrich, Steinheim, Germany, in analytical purity suitable for HPLC equipment. The solutions in the experiment were prepared with deionized water.

2.1.1. Instruments and General Procedure

Samples were taken from 20 different Kayseri street markets, they are homestead production. All samples were preserved in their original packaging at 4°C until analysis date. The samples were pulverized with a hand blender (Arzum Ar1025 Smart Max hand blender) and homogenization of the samples was achieved. 50 g of the red pepper flakes sample was taken into 500 mL flask. 5 g of NaCl and 200 mL of methanol/water (8+2, v/v) mixture were added on samples and were added to it and placed in a shaker at room temperature (n=3), shaken at 100 rpm for 30 minutes. Samples were filtered through Whatman filter paper blue ribbon. It was taken from the extraction solution by autosampler and injected into the high performance liquid chromatography column. Agilent 1260 series HPLC device was used for the determination of aflatoxin types. The fluorescence detector was operated at excitation wavelength of 360 nm and emission wavelength of 420 nm. The run time and the retention times were 30 min. Table 1 shows the chromatographic conditions.

Table 1. The chromatographic conditions

Instrument	Agilent 1260 series HPLC
Mobile Phase	Water: acetonitrile: methanol (600 mL + 200 mL + 200 mL) 120 (mg/L mobile Phase) KBr + 100 ($\mu\text{L/L}$ mobil faz) %65 HNO_3
Detector	Floresans Dedector, ex: 360 nm, em: 440 nm
Column	ODS-2 (4.6 mm x 25 cm x 5 μm)
Flow rate	1 mL min ⁻¹
Derivatization	with bromine produced by post-column electrochemical cell
Column Temperature	30 °C
Injection Volume	100 μL

Table 2. The concentration of standard solutions of aflatoxin B1, B2, G1 and G2

Injection	Quantities obtained for injections of 100 μL ($\mu\text{g L}^{-1}$) Official method AOAC 999.07			
	B1	B2	G1	G2
1. Standard	0.720	0.216	0.720	0.216
2. Standard	2.160	0.648	2.160	0.648
3. Standard	3.600	1.080	3.600	1.080
4. Standard	5.040	1.512	5.040	1.512
5. Standard	6.480	1.944	6.480	1.944

2.1.2. Experimental

For the determination of aflatoxin B1, B2, G1 and G2, standard solutions of analytes at known concentration were prepared according to the official method AOAC 999.07 (Table 2). The calibration line was prepared according to the standards and the results were given according to the calibration line. The detection limits (LOD) of device were determined as 0.216 $\mu\text{g L}^{-1}$ for B1 and G1 and 0.0648 $\mu\text{g L}^{-1}$ for B2 and G2. In Figure 1 shown The chromatogram from a standard mixture of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 respectively.

Standard solutions of known concentrations were given to the HPLC device. The retention times of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 were determined. Concentrations of analytes in real samples were calculated according to these retention times. The retention times were determined as 22.108 for aflatoxin B1, 18.154 for B2, 14,464 for G1, and 12,733 min for G2, respectively.

2.1.3. Calculation of accuracy of the method

Additional samples studies were carried out to determine the accuracy of the applied method. In order to calculate the accuracy of the method, the model samples were prepared at the known concentrations of aflatoxins. Samples were analyzed by the applied method. Recovery studies were carried out by adding sample 1 and sample 3. Aflatoxins were determined by HPLC. It was found that recovery is in the range of 85 - 93%. The working ranges were set in 0.720-6.480 $\mu\text{g L}^{-1}$ for aflatoxin B1 and G1 and in 0.216-1.944 $\mu\text{g L}^{-1}$ for aflatoxin B2 nad G2. The detection limits (DL) of device were determined as 0.216 $\mu\text{g L}^{-1}$ for B1 and G1 and 0.0648 $\mu\text{g L}^{-1}$ for B2 and G2. The results of the additional samples studies are shown in Table 3.

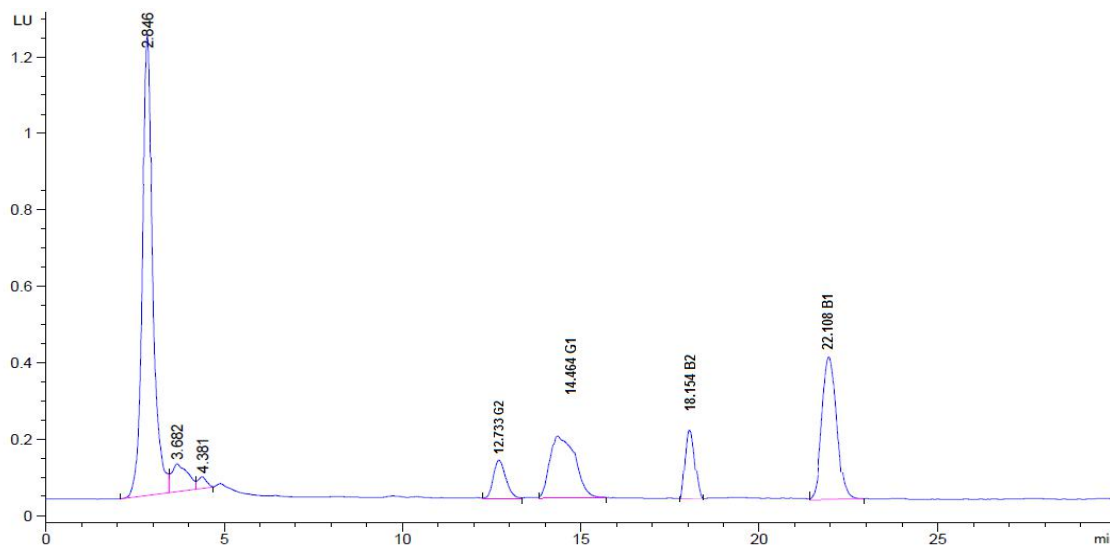


Figure 1. The chromatogram from a standard mixture of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 respectively.

Table 3. The additional samples studies (n=3)

Red pepper flakes samples ($\mu\text{g L}^{-1}$)	B1	B2	G1	G2
Samples 1	1.2416 ± 0.2^a	0.2649 ± 0.03	$-^b$	-
Added	1	1	1	1
Found	2.2238 ± 0.3	1.2740 ± 0.1	0.93 ± 0.1	1.02 ± 0.2
Recovery %	99	101	93	102
Samples 3	2.1410 ± 0.2	1.3908 ± 0.1	-	-
Added	1	1	1	1
Found	3.2842 ± 0.4	2.2716 ± 0.1	0.90 ± 0.1	98 ± 0.2
Recovery %	104	95	90	98

^a Average \pm standard deviation; ^b Below detection limit.

3. Results and Discussion

The official method AOAC 999.07 was applied to red flakes pepper samples purchased from 20 different Kayseri street market. As shown in Table 4, while the minimum value of the aflatoxin B1 amount was found as $1.242 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the sample 1 and the maximum value of its was found as $7.320 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the sample 5. The amount of aflatoxin B2 was calculated in the range $0.265 - 0.321 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the samples. In addition that, the amount of aflatoxin G1 $1.228 \mu\text{g kg}^{-1}$ in sample 2, $1.124 \mu\text{g kg}^{-1}$ in sample 3, $0.980 \mu\text{g kg}^{-1}$ in sample 4, $1.937 \mu\text{g kg}^{-1}$ in sample 8. As in Table 4, the highest G1 concentration is seen in sample 8. The aflatoxin G2 was not observed in any of the samples. No aflatoxin residue was found in 12 red flakes pepper samples.

Demircioğlu and Filazi (Demircioğlu & Filazi 2010), aflatoxin analysis was performed on pepper varieties grown in various regions of Turkey. Aflatoxin analyzes in red peppers were

measured semi-quantitatively by Thin Layer Chromatography. Demircioğlu and Filazi found no mycotoxin residues in 7 types of red pepper, fine pepper, isot and chili pepper, while silk pepper, leaf pepper, sweet and hot ground pepper were not found. Approximately 28.6%, 57%, 28.6% and 57% of aflatoxin residues were found, respectively. They found the amount of aflatoxin B1 in leaf pepper as 3.5, B2 as 12.5 and G1 as 8 ppb. Kanbur et al. (Kandur et al., 2006), presented to consumption in Kayseri. They determined that AF B1 was detected in the range of 1.48-70.05 ppb in all red pepper samples by ELISA method, and only 3 of them were not in compliance with the Turkish Food Codex Regulation. Kanbur et al. results were lower than the results obtained from this study. Ardic et al. (Ardic et al. 2008) analyzed aflatoxin and aflatoxin B1 by ELISA method on 75 red pepper powder samples sold in the city of Urfa. Aflatoxin B1 was found in the range of 0.11–24.7 ppb in the samples. They determined that it was above the legal limit used in the European Union and

Table 4. Amounts of aflatoxin types ($\mu\text{g kg}^{-1}$) in the real samples taken from Kayseri street markets ($n = 3$).

Red pepper flakes samples, ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	B1	B2	G1	G2	Total ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
1	1.2416 \pm 0.2 ^a	0.2649 \pm 0.03	- ^b	-	1.5065
2	4.2564 \pm 0.6	2.1804 \pm 0.2	1.2284 \pm 0.01	-	7.6652
3	2.1410 \pm 0.2	1.3908 \pm 0.1	-	-	3.5318
4	5.2064 \pm 0.4	2.3903 \pm 0.1	1.1242 \pm 0.01	-	8.7209
5	7.3200 \pm 0.5	2.1898 \pm 0.3	0.9803 \pm 0.02	-	10.4901
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	0.820 \pm 0.02	-	-	-	0.820
10	3.0508 \pm 0.1	0.3212 \pm 0.01	-	-	3.372

Turkey in 11 samples. Aydın (Aydın et al., 2007) and his colleagues carried out Aflatoxin B1 analysis by ELISA method on 100 red pepper samples collected from markets in Istanbul. In 18 samples, acceptable contamination levels were determined to be above the maximum tolerable limit (5 ppb) according to the Turkish Food Codex and the European Commission.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, aflatoxin analysis was performed and the results were evaluated, considering the importance of the contamination values of red flakes pepper, one of the most popular spices in the daily diet of Turkish people, in terms of public health, food safety and quality. While the highest concentration was analyzed for AFB1 as 7.320, for AFB2 as 2.390 and for AFG1 as 1.937 $\mu\text{g L}^{-1}$, it was observed that the concentration for AFG2 remained below the quantification limit in samples. The quantification limits were 0.720 $\mu\text{g L}^{-1}$ for aflatoxins B1 and G1, and 0.216 $\mu\text{g L}^{-1}$ for B2 and G2. Accordingly, we see that the amount of aflatoxin B1 in samples 4 and 5 exceeds the limit specified in the Turkish Food Codex Regulation. It is below the maximum limit in other examples. When we look at the total amount of aflatoxin, we see that only exceeds the maximum limit value in sample 5.

References

- Ardic, M., Karakaya, Y., & Atasever, M. (2008). Durmaz, H., Determination of aflatoxin B1 levels in deep-red ground pepper (isot) using immunoaffinity column combined with ELISA, *Food and Chemical Toxicology* 46 (2008) 1596–1599. doi:10.1016/j.fct.2007.12.025
- AOAC (2007) AOAC (999.07). Official methods of analysis, Association of official analytical chemists. 18th edition, Washington D C.
- Aydın, A., Emin Erkan, M., Baokaya, R., & Ciftcioglu G., Determination of Aflatoxin B1 levels in powdered red pepper, *Food Control* 18 (2007) 1015–1018. doi:10.1016/j.foodcont.2006.03.013
- CAST, (2003). *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal and Human Systems*, Task Force Report No. 139. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa, USA.
- Demircioğlu, S., & Filazi, A. (2010). Türkiye’de Üretilen Kırmızıbiberlerde Aflatoksin Kalıntılarının Araştırılması. *Veteriner Hekimler Dergisi*, 81(2), 63–66.
- Desjardins, A., Maragos, C., Norred, W., Pestka, J., Philips, T., Vardon, P., Whitaker, T., Wood, G., & Egmond, H. (2003). *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal and Human Systems* Council. USA: Iowa, 199p.

- FAO, (1987a). Sayfa 15. Current Limits and regulations on Mycotoxins. Joint FAO/WHO/UNEP Second International Conference on Mycotoxins. Bangkok, Thailand, 28 September - 3 October.
- FAO, (1987b). Sayfa 27. Distribution of Mycotoxins-an Analysis of Worldwide Commodities Data, Including Data from FAO/WHO/UNEP Food Contamination Monitoring Programme. Joint FAO/WHO/UNEP Second International Conference on Mycotoxins Bangkok, Thailand 28 September - 3 October.
- Goldblatt, L. A. (1969). Aflatoxin Scientific Background, Control and Implications. New York: London, 472p.
- Hamed, M.A., Moreno-Gonzalez, D., García-Campana, A.M., & Gamiz-Gracia, L. (2017). Determination of Aflatoxins in Yogurt by Dispersive Liquid-Liquid Microextraction and HPLC with Photo-Induced Fluorescence Detection. Food Analytical Methods, (10), 516–521. DOI 10.1007/s12161-016-0611-6
- Heperkan, D. (2014). Gıdalarda Mikotoksinler (1.Baskı). İzmir, Sidas Yayınları, 29–42.
- Kanbur, M., Liman B. C., Eraslan, G., & Altınordu, Ş. (2006). Kayseri’de Tüketime Sunulan Kırmızı Biberlerde Aflatoksin B1’in Enzim İmmunoassay (EIA) ile Kantitatif Analizi. Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University, (3), 21–24.
- Li, Q., Lv, S., Lu, M., Lin, Z., & Dianping Tang, D. (2016). Potentiometric competitive immunoassay for determination of aflatoxin B1 in food by using antibody-labeled gold nanoparticles. Microchimica Acta, 183 (10), 1–8. DOI: 10.1007/s00604-016-1929-x
- Magan, N., & Olsen, M. (2004). Mycotoxins in Food: Detection and Control. New York: Woodhead Publishing Ltd, 471p.
- Moss, M. O. (1992). Secondary Metabolism and Food Intoxication-Moulds. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement, (73), 80–88. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1992.tb03627.x>
- Oner, L., Yılmaz, D. E., Demirci, H., Ozbek, T. & Celik, S. (2022). Detection of Aflatoxins in Tomato and Pepper Pastes Sold in Market Places of Istanbul, Turkey. European Journal of Science and Technology, (35), 221-226. DOI: 10.31590/ejosat.1074060
- Pagkali, V., Petrou, P.S., Makarona, E., Peters, J., Haasnoot, W., Jobst, G., Moser, I., Gajos, K., Budkowski, A., Economou, A., Misiakos, K., Raptis, I., & Kakabakos, S.E. (2018). Simultaneous determination of aflatoxin B1, fumonisin B1 and deoxynivalenol in beer samples with a label-free monolithically integrated optoelectronic biosensor. Journal of Hazardous Materials, (359), 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.080>
- RASFF, European Commission RASFF Portal, Notification details-2018.3783. <file:///C:/Users/tesli/Desktop/aflatoksin%20proje/RASFF%20Portal.html>. Last Access Date: 04 February 2022.
- Roberts, B.A., & Patterson, D.S.P. (1976). Mycotoxins: Detection of Twelve Mycotoxins in Mixed Animal Feedstuffs. Using a Novel Membrane Procedure. Journal - Association of Official Analytical Chemists. (58), 1178–1181.
- Romer, T.R. (1973). Determination of Aflatoxins in Mixed Feeds. Journal - Association of Official Analytical Chemists, (56), 1111–1115. <https://doi-org.eres.qnl.qa/10.1093/jaoac/56.5.1111>
- Sevdin, S., Çelik, E., Çömçe A.N., Batar, N. & Özdemir, A.A. (2021). A systematic meta-analysis of aflatoxin B1 presence in red pepper. European Journal of Science and Technology, (32), 1162-1167. DOI: 10.31590/ejosat.1045487
- Topdaş, E. F., Başlar, M., & Ertugay, M.F. (2011). Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases işleminin etkisi. Akademik Gıda, 9(5), 6–10.
- Trucksess, M., Brumley, W., & Nesheim, S. (1984). Rapid quantitation and confirmation of aflatoxins in corn and peanut butter, using a disposable silica gel column, thin layer chromatography, and gas chromatography/mass spectrometry. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 67(5), 973–975.
- Turner, N.W., Subrahmanyam, S., & Piletsky, S. A. (2009). Analytical methods for determination of mycotoxins. Analytica Chimica Acta, (632), 168–180. doi: 10.1016/j.aca.2008.11.010
- Yıldız, G., & İzli, G. (2020). Gıdaların Kurutulmasında Mikrodalga Ve Sıcak Hava Yöntemleri. İksad Yayınevi, Ankara, Türkiye, 128s.
- Zhao, Y., Huang, J., Ma, L., & Wang, F. (2017). Development and validation of a simple and fast method for simultaneous determination of aflatoxin B1 and sterigmatocystin in grains. Food Chemistry, (221), 11–17. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.036



Tersanelerdeki İş Kazası Nedenlerinin Önem Düzeylerine Göre Belirlenmesi

Murat Yorulmaz¹, Mehmet Arif Öztürk^{2*}

¹Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5736-9146), murat.yorulmaz@kocaeli.edu.tr

^{2*}Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0410-1752), marifozturk@hotmail.com
(İlk Geliş Tarihi 06 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 18 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141718)

ATIF/REFERENCE: Yorulmaz M. & Öztürk, M.A. (2022). Tersanelerdeki İş Kazası Nedenlerinin Önem Düzeylerine Göre Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 132-143.

Öz

Dünya yüzeyinin yaklaşık %75'i denizlerle kaplı olduğu ve ekonomik olduğu için uluslararası ticarete konu olan yüklerin, büyük çoğunluğu denizyolu ile taşınmaktadır. Bu durum taşıma aracı olan gemilerin yapımı, bakımı ve onarımını ve dolayısıyla tersanelerin önemini arttırmaktadır. Tersanelerin, deniz ulaştırma sisteminin devamlılığını sağlaması, üretimi ve istihdamı sağlaması, döviz getirisi ve savunma ihtiyacını karşılanması açısından önemli katkıları bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak tersaneler, birçok iş kolunu bünyesinde barındırdığı için iş kazalarının sıklıkla gerçekleştiği endüstri alanlarıdır. Bu kapsamda çalışmada, tersanelerde yaşanan iş kazası nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatür taraması yapılarak kazaya neden olan dört ana kriter; "kişisel faktörler, malzeme/ekipman kaynaklı faktörler, çevresel faktörler, yönetsel faktörler" ve bunlara bağlı 19 alt kriterler ile kazaların önlenmesi için "organizasyon, çalışma ortamının uygunluğunun sağlanması, eğitim ile insan-makine uyumu" gibi dört alternatif belirlenmiştir. Ana kriterler ve alt kriterlerin birbirleri ile kıyaslanması amacıyla 1-9 karşılaştırma değerleri kullanılarak anket hazırlanmış ve tersanede uzman olarak çalışan kişilerin değerlendirmesine göre kaza nedenlerinin önem düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Analizler, anket değerlendirmelerine bağlı olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi ile işlem yapan Super Decisions v2.1 programı kullanılarak yapılmıştır. Ana kriterlerin kendi arasındaki değerlendirilmesinde en önemli kaza nedeni olarak "kişisel faktörler" diğerlerine göre ön plana çıkmıştır. Kişisel faktör kriterinin alt kriterleri içinden en önemli kaza nedeni olarak "psikolojik/zihinsel sorunlar" diğerlerine göre ön plana çıkmıştır. Ayrıca kazaların önlenmesi için belirlenen alternatiflerden "organizasyon" alınacak önlemler arasında en önemlisi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tersaneler, İş Kazaları, İş Güvenliği, Kaza Nedenleri, AHP.

Determination of the Causes of Occupational Accidents in Shipyards According to their Significance Levels

Abstract*

Since approximately 75% of the world's surface is covered with seas and it is economical, the majority of the cargoes subject to international trade are transported by sea. This situation increases the importance of the construction, maintenance and repair of ships, which are transportation vehicles, and therefore the importance of shipyards. Shipyards have important contributions in terms of ensuring the continuity of the maritime transportation system, providing production, employment, foreign exchange income and meeting the defense needs. In addition to these, shipyards are industrial areas where occupational accidents occur frequently, as they contain many business lines. In this context, it is aimed to determine the causes of occupational accidents in shipyards according to their importance levels. The four main criteria that caused the accident by literature review; Alternatives such as "personal factors, material/equipment-related factors, environmental factors, administrative factors" and 19 sub-criteria related to these, such as "organization, ensuring the suitability of the working environment, training and human-machine harmony" have been determined for the prevention of accidents. In order to compare the main criteria and sub-criteria with each other, a questionnaire was prepared using the comparison values of 1-9 and the importance level of the causes of the accident was tried to be determined according to the evaluation of the experts working in the shipyard. The analyzes were made using the Super Decisions v2.1 program, which operates with the AHP method, one of the multi-criteria decision-making methods, depending on the survey evaluations. In the evaluation among the main criteria, "personal factors" came to the forefront as the most important cause of accident. Among the sub-criteria of the personal factor criterion, "psychological/mental problems" came to the fore as the most important cause of accident. In addition, among the alternatives determined for the prevention of accidents, "organization" has resulted as the most important of the measures to be taken.

Keywords: Shipyards, Occupational Accidents, Occupational Safety, Causes of the Accident, AHP.

* Sorumlu Yazar: marifozturk@hotmail.com

1. Giriş

Dünya genelinde küreselleşmenin hız kazanması bununla birlikte tüketimin hızlı bir şekilde artması ve beraberinde üretim ve ulaştırma sektörünün hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır. Bu durum deniz taşımacılığının önemini arttıran bir etki yaratmıştır. Özellikle ekonomik olarak gelişmekte olan bazı ülkelerin gelişme hızlarındaki artış bu dönemdeki ticaret hacmini de hızlandırmıştır. Dünya ticaret hacminin büyük kısmını oluşturan deniz taşımacılığı da bu hareketlilikten olumlu etkilenerek ivme kazanmıştır (Zorba, 2009).

Dünya yüzeyinin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ü denizlerle kaplı olduğu için uluslararası ticarete yüklerin büyük çoğunluğu deniz yolu ile taşınmaktadır. Bu durum taşıma aracı olan geminin yapımı, bakımı ve onarımını ve dolayısıyla tersanelerin önemini arttırmaktadır.

Tersanelerin yeni teknolojilerin taşınması, üretimi, istihdam sağlaması, döviz getirisi ve savunma ihtiyacının karşılanması açısından önemli katkıları bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak birçok iş kolunu bünyesinde barındırdığı için bu sektörlerin de hareket kazanmasını sağlamaktadır (Daştan ve Erol, 2011).

Tersanelerde yeni gemi yapımı, bakım onarım faaliyetleri, istihdam sağlanması, döviz girdisi sağlanması, diğer sanayi kollarının gelişmesi vb. durumlarda ülkemizin ekonomisine katkı sağlayan bir iş koludur. Ayrıca dışa bağımlılığın da azalmasını sağlamaktadır.

Tersaneler değişik sanayi ürünlerinin birleştirildiği çok tehlikeli sınıfta yer alan bir imalat sanayi iş koludur. Çalışmaların kapsamında çelik işleri, elektrik işleri, boya işleri, makine imalat sanayi işleri, kaynak işleri vb. birçok iş kolu bulunmaktadır (Yıldız, 2008).

Tersanelerde birkaç iş kolunun birlikte faaliyet göstermesi, çalışan sayısının fazla olması ve buna bağlı olarak da hareketliliğin çok fazla olması beraberinde iş kazası riskini de getirebilmektedir. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak iş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmalarının dikkatlice yürütülmesi ve iş kazalarının önüne geçilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, tersanede iş kazası nedenleri konusunda çalışma yapılarak kaza nedenlerinden en önemli olanı bulunmaya ve iş kazalarının önlenmesinde etkili olacak önlemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tercih edilmiştir. AHP yöntemi değişik sektörlerde farklı konularda karar verme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Tersanelerle ilgili yapılan bazı çalışmalar; Näsänen ve Saari (1987), çalışmada tersanede olumlu geri bildirimlerin kazalar üzerindeki etkiler incelemiştir. Barlas (2012), çalışmada Türkiye'deki tersanelerde 2000-2010 yılları arasında meydana gelen ölümlü iş kazalarının nedenleri ve insidans oranları araştırılmıştır. Barlas ve Çelebi (2014) gemi inşa sektöründe iş kazaları çalışmasında tersanede meydana gelen iş kazalarının nedenlerini incelemişlerdir. Yılmaz, Yılmaz ve Celebi (2015), çalışmada Tuzla Bölgesinde bir tersanede 2011-2013 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının sonuçları incelemiştir. Çivi ve Barlas (2017), gemi inşaatı sanayinde iş kazalarının analizi çalışmasında, tersanelerde meydana gelen iş kazalarını ve nedenlerini incelemiştir. Barlas ve İzci (2018), çalışmada Türkiye'de tersane işçileri arasında ölümlü iş kazalarına ilişkin bireysel ve işyeri faktörlerini incelemiştir. Çolak (2019),

çalışmasında tersanelerde meydana gelen atmosfer patlamalarının nedenlerini incelemiştir.

Dolayısıyla tersanelerde yaşanan iş kazaları ve nedenleri ile ilgili çalışmalar yapılmış olmasına rağmen araştırmada ele alınan problem hiyerarşisi kapsamında AHP yöntemi kullanılarak iş kazalarının nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada tersanelerdeki iş kazası nedenlerinin farklı bir bakış açısı ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır ve bu yönüyle çalışmanın literatüre katkı yapması beklenmektedir.

2. Tersane İşletmeleri ve Faaliyetleri

Tersaneler geminin yapımı, bakımı ve onarımı işlerinin yapıldığı yerlerdir. Bu çalışmalar sırasında; yüksekte çalışma, kaynak işleri, boya işleri, kapalı alan çalışmaları, elektrik işleri vb. iş kolları birbirini takiben veya eşzamanlı olarak faaliyet göstermektedir.

Tersaneler, gemilerin inşa edildiği ve bünyesinde bu işi yapmak amacıyla gerekli olan teknik çalışma alanları, ekipmanları ve teknik ekibi bulunan sahalardır (Tansoy, 2017).

Tersanelerde yapılan gemi inşa, bakım ve onarım faaliyetleri gemi sanayi kapsamındadır. Gemi inşa sürecinde çok çeşitli işlemler ve çalışmalar yapılmaktadır. Bu işlemler ve çalışmalar kimya sanayi, makine sanayi, demir çelik vb. birçok sanayi kolunu bir araya getirmekte ve bu sektörlerde hareketlilik sağlamaktadır (Tezdoğan ve Taylan, 2009). Tersane işletmeleri; imalat, boya, elektrik elektronik, demir ve çelik vb. birçok sanayi dalının bir araya gelerek imalathane ve bu iş için kurulmuş olan alanlarda belli bir ürünün elde edildiği sanayi alanıdır (Menteşe, İnce ve Özcan, 2017:53-78).

Gemi inşa ve tamiri işleri birçok prosten oluşmaktadır. Bunlar; yüzey temizleme, boya, yağ giderme, metal işleri, kaynak işlemleri vb. olarak sıralanabilir. İnşa ve tamir sırasında makine yağları, boya ve çözücüler, asit temizleyiciler, solvent vb. çeşitli kimyasallarda kullanılır. Boya, kaynak ve raspa işlemleri en çok uygulanan işlemlerdir (Çelebi ve Akanlar, 2008:262-269).

Ülkemizde tersaneciliğin Osmanlı İmparatorluğu zamanında Gelibolu'da ilk tersanenin kurulmasıyla başlayıp gelişerek günümüze geldiği söylenebilir. Osmanlı'nın çöküş döneminde kullanılmaz duruma getirilen tersaneler Türkiye Cumhuriyeti kurulduktan sonra ilk etapta askeri amaçla kullanılmak için faal hale getirilmiştir. Özel sektörün de bu alanda yatırım yapmaya başlamış ve tersanecilik sektörü ivme kazanmıştır (İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, 2015).

Tersanede; geminin yapımı, bakımı ve onarımı işlerinde ve buna ilişkin süreçlerde birçok ekipman, donanım ve cihaz kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; kreyn vinç, mobil vinç, ceraskal, forklift, römork, torna tezgâhı, şerit testere tezgâhı, taşlama tezgâhı, zımpara taşı, spiral taşlama, matkap tezgâhı, matkap, hidrolik pres, boru bükme makinası, kompresör, oksijen-LPG kesme, çeşitli kaynak makineleri, CNC kesme makinesi, jeneratör vb. şeklinde sıralanabilir.

Tersanelerde yapılan işin niteliğine göre çeşitli sarf malzeme ve kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunlar; çelik, kaynak teli, kaynak tozu, çeşitli boya ve çözücüler, oksijen ve LPG, ahşap, kontrplak, deniz tutkalı, epoksi ve polyester reçine, cam elyafı, aseton vb. maddeler şeklindedir (Akyıldız ve Barlas, 2015: 11-12). Farklı üretim ve onarım faaliyetlerinin

yürütüldüğü ve çalışan sayısının fazla olduğu tersanelerde, iş kazalarının gerçekleşme olasılığının fazla olması tersane organizasyonu ve yönetimi açısından iş sağlığı ve yönetimi uygulamalarının önemini göstermektedir.

3. Tersanelerdeki İş Kazaları

Tersaneler birçok iş kolunun birlikte çalışması, personel istihdamının fazla olması, bu personelin aynı alan içerisinde farklı faaliyetleri birlikte yürütmeye çalışması açısından iş kazası olasılığını da arttırmaktadır. Farklı eğitim seviyelerinde birçok çalışanın bulunması da ayrıca iletişim sorunlarına bağlı olarak beraberinde iş kazalarını getirebilmektedir.

İş kazalarının temelini insan ve çalışma ortamı oluşturmaktadır. Çalışanların çalışma alanlarıyla ilgili iş güvenliği farkındalığının oluşmamış olmasına çalışma alanındaki uygunsuz durumlarla birleştiğinde ortaya istenmeyen sonuçlar çıkmaktadır. Önleyici tedbirler alınabilmesi için kazaların kök nedeninin bulunması ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir (İzci, 2015).

Ülkemizde tersaneler, hemen hemen her eğitim düzeyinde istihdamın sağlandığı ve ülke ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayan bir sanayi alanıdır. Dünya ticaretindeki hacim artışı gemi ihtiyacının da artmasına neden olmuştur. Türkiye’de de gemi inşaatı sektörü bu ihtiyaca karşılık verebilmek için gelişme göstermiştir. Buna paralel olarak istihdam artışı ve buna bağlı olarak da iş kazası sayılarında artış meydana gelmiştir. Kaza araştırmalarından her ne kadar kazalar önlenemez sonucu çıkarılsa da aslında sıfır kaza beklentisi gerçekleşmez. Alınan bütün önlemlere rağmen mutlaka beklenmedik bir nedene bağlı olarak beklenmedik bir zamanda kaza meydana gelir. Kazaya neden olan beklenmedik durum konusunda önlem alınarak benzer kazaların tekrar yaşanması engellenmeye çalışılır. İş kazası meydana gelmesinde; sosyolojik, psikolojik ve fizyolojik nedenler etkilidir. Kişisel faktörlere yetersiz fiziksel güç, çevresel faktörlere yüksek gürültü, yönetsel faktörlere uygunsuz iş emirleri örnek kaza nedeni olarak gösterilebilir. Kazaların temel nedenleri bulunup önleyici tedbirler alınması ve kaza nedenlerinin ortadan kaldırılması sağlanmalıdır (Çivi ve Barlas, 2017).

İş kazalarının genel olarak iki temel nedeni bulunmaktadır. Güvensiz davranışlar olarak; tecrübesizlik, çalışanın eğitim düzeyi vb. sayılabilir. Güvensiz koşullar olarak; işe uygun makine kullanılmaması, tasarım kusurları vb. sayılabilir (Menteşe, İnce ve Özcan, 2017).

Tersaneler; elektrik, makine, kaynak vb. farklı operasyonların yürütüldüğü ve buna bağlı olarak da tehlike ve risklerin çok fazla ve çeşitli olduğu ağır bir sanayi koludur. Tersanelerde meydana gelen kazalar genellikle; yüksekten düşme, çarpma, sıkışma, elektrik çarpması, yanma, zehirlenme, boğulma şeklindedir. Kazaların önlenmesi için ilk etapta yapılan işlerin kategorilere ayrılması ve her biri için tehlike ve risklerin belirlenmesi ve sonrasında da önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir (Tayan, 2008).

Tersanelerde iş kazalarının temel nedenleri; insan, makine/donanım, çevre ve yönetim olarak sayılabilir. 4M (Man, Machine, Media, Management) olarak da belirtilebilir. Kaza önlemleri ise 4E (Education, Engineering, Environment, Enforcement) olarak belirtilebilir. (Chiba, Aonuma ve Kusugami, 2005) Burada insana bağlı nedenler; psikolojik, fiziksel vb. nedenlerdir. Makine donanım kaynaklı nedenler;

hatalı makine yerleşimi, eksik koruyucular vb. olarak sıralanabilir. Ortam/çevre kaynaklı nedenler; uygun olmayan çalışma alanı, uygun olmayan metod vb. olarak sıralanabilir. Yönetim kaynaklı nedenler; yetersiz organizasyon, eksik talimatlar vb. olarak sıralanabilir. Tersanelerde kazaların daha çok yüksekten düşme, elektrik çarpması, zehirlenme, ezilme, patlama vb. şeklinde meydana geldiği söylenebilir. Alınması gereken önlemlerde; elektrik ile ilgili kontrollerin yetkili kişilere yaptırılması, zemin kaynaklı kusurların giderilmesi, patlama tehlikesi olan çalışmalar ve alanlara yönelik özel önlemler alınması, yüksekte çalışma için özel önlemler alınması, işin ve çalışmanın özelliğine uygun kişisel koruyucuların temin edilmesi ve kullanılması, kimyasalların kullanımı ve depolanmasıyla ilgili gerekli özel önlemlerin alınması, altyapı eksikleri varsa tespiti ve giderilmesi vb. şeklinde sıralanabilir (Chiba, vd., 2005; Tansoy, 2017).

Dolayısıyla iş kazalarına neden olan bir veya birden fazla durum/davranış bulunmaktadır. Kaza nedenlerinin tek tek ele alınması ve bunun yanında birbirine etkisi olabilecek durumların da birlikte değerlendirilmesi, kazaya neden olan asıl durum/davranışın yani kök nedeninin bulunması ve uygun önlemler belirlenmesi, belirlenen önlemlerin aktif olarak uygulanması ile bu nedenlerin bertaraf edilmesi sağlanmalıdır.

4. Yöntem

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Bu çalışmada, tersanelerdeki iş kazalarının nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP ilk olarak Myers ve Alpert (1968) tarafından ortaya atılmış ve sonra Saaty tarafından geliştirilmiş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir (Yaralıoğlu, 2001).

AHP nitel veya nicel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesine ve hem objektif hem de sübjektif görüşlerin değerlendirilmesine imkân verir (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

AHP kullanılarak yapılmış çalışmalardan; Adıgüzel (2009), personel seçimini AHP yöntemi kullanarak; “yaratıcılık düzeyi, mülakat performansı, bilgide donanımlılık, yeteneklilik ve kişilik” kriterlerini ana kriterler olarak belirlemiştir. En önemli kriter olarak da %50 oranla “yaratıcılık düzeyi” ön plana çıkarken en az öneme sahip kriterin %3’ le “mülakat performansı” olduğu tespit edilmiştir. Kırdaglı (2011), tersanelerde verimliliği etkileyen parametreleri bulanık AHP yöntemiyle belirlediği çalışmasında; “zaman, maliyet, kalite” faktörleri ana kriter olarak seçilmiştir. Ana kriterlerden “kalite” diğerlerine göre daha etkin kriter ve “maliyet” en az etkin olarak ortaya çıkmıştır. Lee ve Chang (2012), AHP yöntemi kullanarak gemi tiplerine göre tehlikelerin ciddiyetinin ölçülmesi ve İSG’ye yapılan yatırımı incelediği çalışmasında, tersanelerde en fazla üretilen gemi türünün, gemi türlerine göre risklerin belirlenerek İSG şartlarının yerine getirilmesi için gerekli olan bütçenin tespit edilmesi ve risklerin azaltılmasında bütçenin etkin olarak kullanılması değerlendirilmiştir. Uzun (2015), gemi inşaatı sürecinde ana makine ve jeneratör seçimi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE uygulaması çalışmasında; “teknik özellikler, sözleşmeye bağlı kriterler, marka güvenilirliği, işletme masrafları, bakım masrafları” faktörleri ana kriter olarak seçilmiştir. Ana kriterlerden “teknik özellikler” diğerlerine göre daha etkin kriter, “bakım masrafları” ise en az etkin kriter olarak belirlenmiştir. Özbek ve Erol (2018), AHP ve SWARA yöntemleri ile yem

sektöründe İSG kriterlerinin ağırlıklandırılması çalışmasında; “iş ekipmanlarının periyodik kontrolü, patlamadan korunma, silo ekipmanları güvenliği, acil durum eylem planı, risk analizi, ortam ölçümü, elektrik tesisatı/topraklama ölçümü, makine ve teçhizat kullanımı, kişisel koruyucu donanım kullanımı, İSG eğitimleri, işe giriş sağlık raporu” faktörleri ana kriter olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda en önemli kriter olarak “risk analizi” kriteri olduğu en az öneme sahip olan kriterin de “ortam ölçümü” olduğu ortaya çıkmıştır. Özcan (2019), inşaat sektöründe iş kazalarına neden olan faktörlerin ÇKKV yöntemleriyle değerlendirilmesi konusunda yaptığı çalışmada; “yönetimsel kaynaklı nedenler, ekipman ve malzemeden kaynaklı nedenler ve çalışanlardan kaynaklı nedenler” kriterlerini dikkate almıştır. Ana kriterlerden “ekipman ve malzemeden kaynaklı nedenler” en önemli etken olarak belirlenmiştir. “Yönetimsel Kaynaklı Nedenler” en düşük etken olarak belirlenmiştir. Yorulmaz ve Aksu (2020), liman işletmelerinde İSG uygulama performans boyutlarının AHP ile değerlendirilmesi: Kocaeli Liman Bölgesi örneği çalışmasında; “İSG konusunda yönetsel önlem ve tedbirler, çalışanların İSG kriterlerine göre çalışması, çalışanların İSG konusunda farkındalık ve bilinç düzeyleri, İSG eğitim uygulamaları ve İSG konusunda yönetim ve çalışanlar arasındaki iş birliği ve iletişim” kriterleri dikkate alınmıştır. Kriterlerinden “Çalışanların İSG Konusunda Farkındalık ve Bilinç Düzeyleri” kriteri %41,24 önem düzeyi ile en önemli kriter olduğu tespit edilmiştir. “İSG Eğitim Uygulamaları” kriteri de %8,6 ile en az öneme sahip kriter olarak tespit edilmiştir. Caner ve Aydın (2021), çalışmada; Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kriterleri, Raster Hesaplama (RC) ve AHP ile tersaneler için uygun alanların bulunmasını amaçlamıştır. Yorulmaz, Taş ve İnanlı (2022), limanlardaki iş kazalarında insan kaynaklı hata nedenlerinin AHP yöntemiyle değerlendirilmesi: Kocaeli Liman Bölgesinde bir uygulama

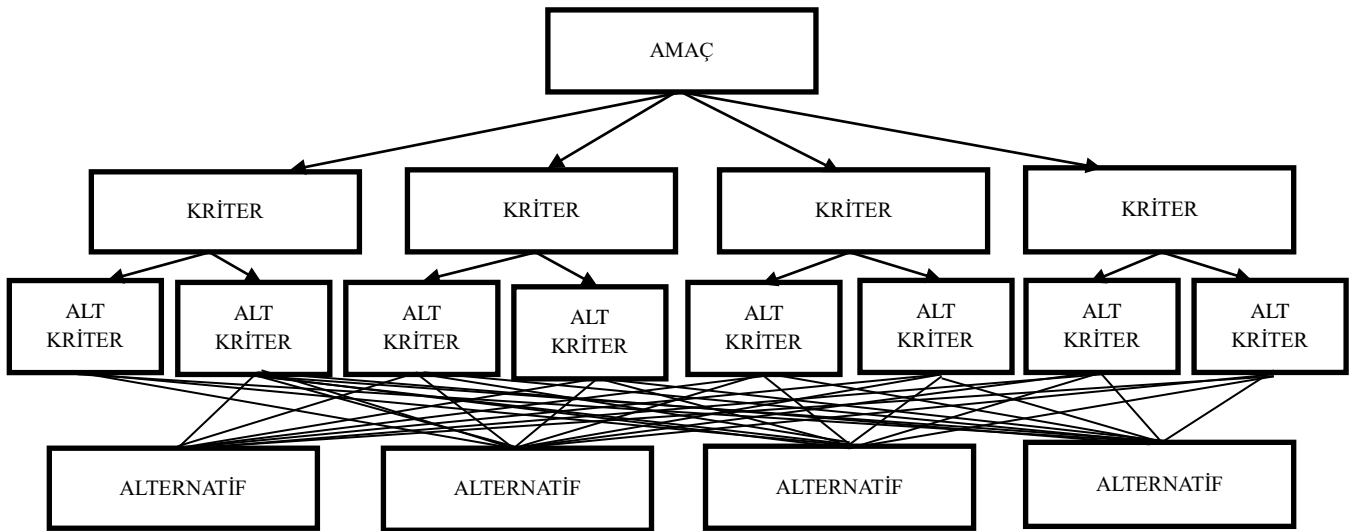
çalışmasında, “eğitim eksikliği, bilgisizlik, dikkat dağınıklığı, mesleki tükenmişlik, yorgunluk, iletişim ve koordinasyon eksikliği, emniyetsiz çalışma eğilimi, emniyet kültürüne sahip olmama, psikolojik nedenler” kriterleri dikkate alınmıştır. Kriterlerden “bilgisizlik” kriteri %28 ile önem düzeyi ile en önemli kriter olduğu tespit edilmiştir. “psikolojik nedenler” %2 ile en az öneme sahip kriter olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, tersanelerde kazaya neden olan faktörler ana kriter ve ana kriterleri etkileyen durum ve davranışlar da alt kriter olarak belirlenmiştir. Kaza nedenlerini ortadan kaldırmak için önlemler belirlenerek alternatifler oluşturulmuştur. İş kazası nedenlerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ana kriterler, alt kriterler ve alt kriterlerin alternatiflerle ikili olarak kıyaslanacak şekilde anket oluşturulmuştur. Ankette, İstanbul Tuzla tersaneler bölgesinde faaliyet gösteren tersanelerdeki iş güvenliği uzmanlarının görüşleri Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu’nun E-10017888-200-242551 sayılı onayı ile alınmıştır. Anketi iş güvenliği uzmanı olarak çalışan 6 kişi değerlendirmiştir. Anket; 26-40 yaş aralığında, lisans/lisansüstü mezunu, 6-15 yıl arası iş güvenliği uzmanlığı deneyimi olan A/B Sınıfı iş güvenliği uzmanları tarafından değerlendirilmiştir.

4.2. AHP Aşamaları

a. Probleme Ait Hiyerarşik Bir Yapı Oluşturulması: İlk olarak problemin çözümüne yönelik amaç belirlenir. Bu amaca ulaşmak için kriter ve alternatifler belirlenerek amaç hiyerarşisi oluşturulur. Uzman görüşleri veya literatür araştırmasına göre bu kriterlerin ağırlıkları belirlenir. Kriterler ve alt kriterler hiyerarşik olarak düzenlenir (Caner Akın, Eren, Oral ve Heperkan, 2020).

Tablo 1. AHP Hiyerarşi Modeli (Table 1. AHP Hierarchy Model) (Çoban, 2012; Yorulmaz ve Yanık, 2021).



Tablo 1 incelendiğinde oluşturulan hiyerarşinin ilk kısmına amacın yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada amaç; tersanelerdeki iş kazalarının nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesidir. İkinci kısımda amaca ulaşmada yardımcı olacak

kriterler, kriterlere etki eden alt kriterler ve son olarak da alternatifler bulunur (Çoban, 2012; Yorulmaz ve Yanık, 2021).

b. İkili Karşılaştırma Matrisinin Elde Edilmesi: Hiyerarşi oluşturulduktan sonra kriterler ve alt kriterler kendi aralarında önem değerlendirilmesi yapılarak karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada birbirlerine göre önem dereceleri belirlenmeye çalışılır (Caner, Eren, Oral ve Heperkan, 2020).

İkili karşılaştırmada kullanılan değerlendirme ölçeği aşağıdaki şekildedir.

Tablo 2. Karşılaştırmada kullanılan Önem Dereceleri (1-9 Önem Skalası) (Table 2. Significance Levels (1-9 Significance Scale) used in the comparison) (Saaty, 1980; Özbek ve Erol, 2018).

Önem Derecesi	Sınıflama Problemleri	Sıralama Problemleri
1	Eşit Önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasına düşen değerler

c. Matrisin normalleştirilmesi: Matrisin her sütun elemanının aynı sütunun toplam değerine bölünmesiyle yapılan işlemdir (Ediz, Yıldızbaşı ve Baytemur, 2017).

d. Kriter ağırlıklarının hesaplanması: Normalleştirme sonrasında her satır değeri toplanarak matris boyutuna bölünerek bulunur.

e. Tutarlılığın hesaplanması: Değerlendirmeyi yapanın değerlendirmesinin tutarlılığı tespit etmek için tutarlılık değeri hesaplanır. Değerlendirmenin tutarlı olduğunu bu değer 0.1'den küçük olmasıyla anlarız. Aksi durumda değerlendirme tekrar gözden geçirilmesi gerekir (Özdemir, 2020).

Tablo 3. Tutarlılık İndeks Değerleri (Rassal İndeks) (Table 3. Consistency Index Values (Random Index)) (Akbal ve Akbal, 2020).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

f. Nihai öncelik değerine göre alternatiflerin seçilmesi: Değerlendirmeler sonucunda ikili karşılaştırma sonuçlarına ulaşılır. Bu sonuçlara göre de alternatifler arasında en uygun olanı belirlenir. Her alternatif puanlanarak öncelik göstergesi bulunur (Tüminçin, 2016).

5. Bulgular

İş kazalarına neden olan kriterler literatür taraması yapılarak bulunmuştur. “Kişisel faktörler” ana kriteri ve buna bağlı “yetersiz fiziksel güç, yetersiz motivasyon, psikolojik/ zihinsel

sorunlar” alt kriterleri ve yönetsel faktörlerin alt kriterleri olan “uygun olmayan çalışma yöntemleri” için (Barlas ve Çelebi, 2014) çalışmasından faydalanılmıştır. Kişisel faktörler ana kriterinin alt kriteri olan “mesleki eğitim eksikliği ve kurallara aykırı hareket” ve yönetsel faktörlerin alt kriteri olan “nitelsiz personel seçimi” (İzci, 2015)’den; “Yönetsel faktörler, ekipman/malzeme kaynaklı faktörler” ana kriterleri ve “uygun olmayan malzeme kullanımı, tecrübe eksikliği” alt kriterleri, Özcan (2019) çalışmasından alınmıştır. Kriterlerin birbirlerine göre önem değerlerinin belirlenmesi için 1-9 karşılaştırma değerleri kullanılarak anket hazırlanmış ve tersanede uzman olarak çalışan kişilerin değerlendirmesine göre kaza nedenlerinin önem düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalar anket değerlendirmelerine bağlı olarak AHP yöntemi ile işlem yapan Super Decisions v2.1 programına anket verileri girilerek yapılmıştır.

Çalışma kapsamında tersanelerde kaza nedeni olarak “kişisel faktörler, malzeme/ekipman kaynaklı faktörler, çevresel faktörler, yönetsel faktörler” olmak üzere 4 adet ana kriter belirlenmiştir.

Kişisel faktörler ana kriterinin alt kriterleri; “mesleki eğitim eksikliği, yetersiz fiziksel güç, yetersiz motivasyon, psikolojik/ zihinsel/

zihinsel sorunlar, kurallara aykırı hareket, tecrübe eksikliği” olarak belirlenmiştir.

Malzeme/ekipman kaynaklı faktörler ana kriterinin alt kriterleri; “uygun olmayan malzeme kullanımı, iş ekipmanı bakımlarının yapılmaması, standart dışı iş ekipmanı, standart dışı kişisel koruyucu ekipman, iş ekipmanı periyodik kontrolünün yapılmaması” olarak belirlenmiştir.

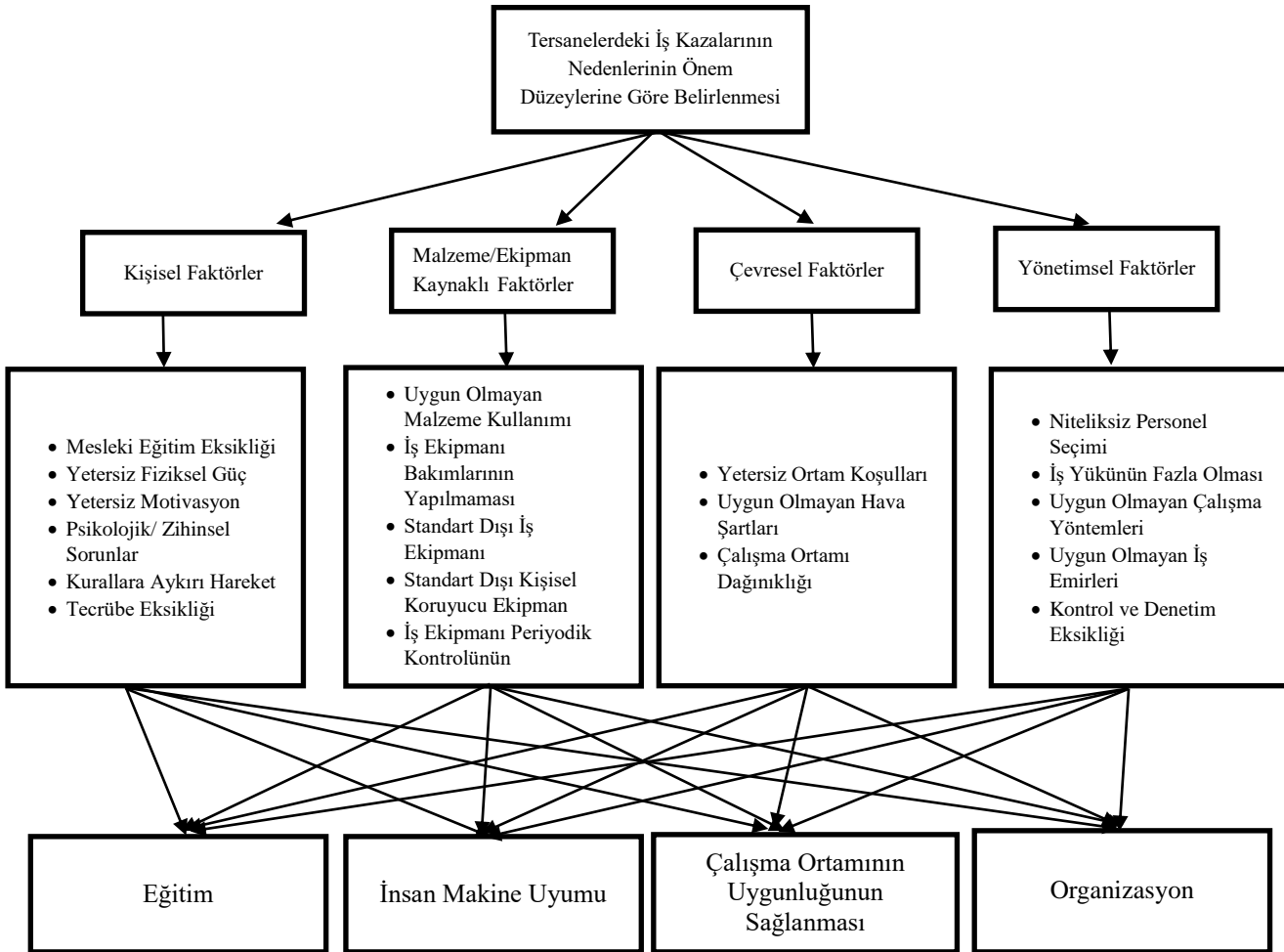
Çevresel faktörler ana kriterinin alt kriterleri; yetersiz ortam koşulları, uygun olmayan hava şartları, çalışma ortamı dağınıklığı olarak belirlenmiştir.

Yönetsel faktörler ana kriterinin alt kriterleri; nitelsiz personel seçimi, iş yükünün fazla olması, uygun olmayan çalışma yöntemleri, uygun olmayan iş emirleri, kontrol ve denetim eksikliği olarak belirlenmiştir.

Alt kriterlerin altında eğitim, insan makine uyumu, çalışma ortamının uygunluğunun sağlanması ve organizasyon alternatifleri için değerlendirme yapılmıştır.

Ana kriterler ve alt kriterler (Barlas ve Çelebi, 2014; İzci, 2015; Özcan, 2019) çalışmalarından faydalanılarak benzer ve farklı olanlar değerlendirilerek belirlenmiştir. Bu kapsamdaki AHP problem hiyerarşisi Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. AHP Problem Hiyerarşisi (Table 4. AHP Problem Hierarchy)



Kaynak: (Barlas ve Çelebi, 2014; İzci, 2015; Özcan, 2019)

Tablo 4 incelendiğinde, hiyerarşik yapının ilk aşaması olan amacın, tersanelerdeki iş kazalarının nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi olduğu görülmektedir. Sonraki kısımda kazaya neden olan kriterler, alt kriterler ve son e-ISSN: 2148-2683

düzelelerine göre belirlenmesi olduğu görülmektedir. Sonraki kısımda kazaya neden olan kriterler, alt kriterler ve son

bölümünde de kazaların önlenmesi için belirlenmiş olan alternatifler yer almaktadır. Ana kriterlerin, alt kriterlerin ve

alternatiflerin Super Decisions v2.1 programı kullanılarak yapılan ikili karşılaştırmaları tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 5. Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırması (Table 5. Pairwise Comparison of Key Criteria)

Normal	Hybrid
Kişisel F~	0.66067
Malzeme/E~	0.08923
Yönetimsel F~	0.19978
Çevresel ~	0.05032

Uzman görüşlerine göre ortaya çıkan ikili karşılaştırma sonucuna göre ana kriterlerden kişisel faktörlerin en önemli faktör olduğu sonucu çıkmıştır. Karşılaştırma sonucundan

çevresel faktörlerin de en az öneme sahip olduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 6. Ana Kriterlerin Ağırlık Oranları ve Tutarlılık Oranı (Table 6. Weight Ratios and Consistency Ratio of Main Criteria)

Inconsistency: 0.09765	
Kişisel F~	0.66067
Malzeme/E~	0.08923
Yönetimsel~	0.19978
Çevresel ~	0.05032

Tablo 6 incelendiğinde tutarlılık oranının 0.09765 olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Kişisel Faktörler Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırması (Table 7. Pairwise Comparison of Personal Factors Sub-Criteria)

Normal	Hybrid
Kurallara~	0.22591
Mesleki E~	0.03623
Psikoloji~	0.48333
Tecrübe E~	0.09998
Yetersiz ~	0.08240
Yetersiz ~	0.07214

Kişisel faktörlerin ikili karşılaştırma sonucuna göre alt kriterlerden psikolojik/ zihinsel sorunlar en önemli faktör olarak

ortaya çıkmıştır. Karşılaştırma sonucundan mesleki eğitim eksikliği de en az öneme sahip olduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 8. Kişisel Faktörlerin Ağırlık Oranları ve Tutarlılık Oranı (Table 8. Weight Ratios and Consistency Ratio of Personal Factors)

Inconsistency: 0.07916	
Kurallara~	0.22591
Mesleki E~	0.03623
Psikoloji~	0.48333
Tecrübe E~	0.09998
Yırsz Fiz~	0.08240
Yırsz Mot~	0.07214

Tablo 8 incelendiğinde tutarlılık oranının 0.07916 olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Malzeme/Ekipman Kaynaklı Faktörler Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırması (Table 9. Pairwise Comparison of Material/Equipment-Related Factors Sub-Criteria)

Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid																
Choose Node	Malzeme/Ekipma~	Comparisons wrt "Malzeme/Ekipman Kaynaklı Faktörler" node in "Malzeme/Ekipman Kaynaklı Faktörler" cluster					Inconsistency: 0.08144																	
Cluster: Ana Kriterler		1. İş Ekipmanı Bak~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	İş Ekipmanı Per~	0.52354	
Choose Cluster	Malzeme/Ekipma~	2. İş Ekipmanı Bak~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Standart Dışı İ-	0.13156	
Restore		3. İş Ekipmanı Bak~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Standart Dışı K-	0.04119	
		4. İş Ekipmanı Bak~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uygun Olmayan M-	0.04119	
		5. İş Ekipmanı Per~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Standart Dışı İ-	0.26252	
		6. İş Ekipmanı Per~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Standart Dışı K-		
		7. İş Ekipmanı Per~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uygun Olmayan M-		
		8. Standart Dışı İ-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Standart Dışı K-	
		9. Standart Dışı İ-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uygun Olmayan M-		
		10. Standart Dışı K-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uygun Olmayan M-		

Malzeme/Ekipman Kaynaklı Faktörlerin ikili karşılaştırma sonucuna göre alt kriterlerden iş ekipmanı bakımlarının yapılmaması en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır. Karşılaştırma sonucundan standart dışı iş ekipmanı ve standart

dışı kişisel koruyucu ekipman da eşit derece de olarak en az öneme sahip olduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 10. Malzeme/Ekipman Kaynaklı Faktörlerin Ağırlık Oranları ve Tutarlılık Oranı (Table 10. Weight Ratios and Consistency Ratio of Material/Equipment-Related Factors)

	Inconsistency: 0.08144	
İş Ek. Ba~	0.52354	
İş Ek. Pe~	0.13156	
Standart ~	0.04119	
Standart ~	0.04119	
Uygun Olm~	0.26252	

Tablo 10 incelendiğinde tutarlılık oranının 0.08144 olduğu görülmektedir.

Tablo 11. Çevresel Faktörler Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırması (Table 11. Pairwise Comparison of Environmental Factors Sub-Criteria)

Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid															
Choose Node	Çevresel Faktö~	Comparisons wrt "Çevresel Faktörler" node in "Çevresel Faktörler" cluster					Inconsistency: 0.07721																
Cluster: Ana Kriterler		Yetersiz Ortam Koşulları is moderately more important than Uygun Olmayan Hava Şartları					Uygun Olm~	0.06579															
Choose Cluster	Çevresel Faktö~	1. Uygun Olmayan H-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yetersiz Ortam ~	0.14881
Restore		2. Uygun Olmayan H-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Çalışma Ortamı ~	0.78539
		3. Yetersiz Ortam ~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Çalışma Ortamı ~	

Çevresel Faktörlerin ikili karşılaştırma sonucuna göre alt kriterlerden çalışma ortamı dağınıklığı en önemli faktör olarak

ortaya çıkmıştır. Karşılaştırma sonucundan uygun olmayan hava şartlarının da en az öneme sahip olduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 12. Çevresel Faktörlerin Ağırlık Oranları ve Tutarlılık Oranı (Table 12. Weight Ratios and Consistency Ratio of Environmental Factors)

	Inconsistency: 0.07721	
Uygun Olm~	0.06579	
Yetersiz ~	0.14881	
Çalışma O~	0.78539	

Tablo 12'ye bakıldığında tutarlılık oranının 0.07721 olduğu görülmektedir.

Tablo 13. Yönetimsel Faktörler Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırması (Table 13. Pairwise Comparison of Managerial Factors Sub-Criteria)

Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid	
Choose Node		Comparisons wrt "Yönetimsel Faktörler" node in "Yönetimsel Faktörler" cluster						Inconsistency: 0.07262	
Yönetimsel Fak-		Kontrol ve Denetim Eksikliği is strongly more important than İş Yükünün Fazla Olması						İş Yükünü~ 0.15944	
Cluster: Ana Kriterler		1. İş Yükünün Fazl-						Kontrol v~ 0.34211	
Choose Cluster		2. İş Yükünün Fazl-						Niteliksi~ 0.03069	
Yönetimsel Fak-		3. İş Yükünün Fazl-						Uygun Olm~ 0.23388	
Restore		4. İş Yükünün Fazl-						Uygun Olm~ 0.23388	
		5. Kontrol ve Dene-							
		6. Kontrol ve Dene-							
		7. Kontrol ve Dene-							
		8. Niteliksiz Pers-							
		9. Niteliksiz Pers-							
		10. Uygun Olmayan İ-							

Yönetimsel Faktörlerin ikili karşılaştırma sonucuna göre alt kriterlerden kontrol ve denetim eksikliği en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır. Karşılaştırma sonucundan niteliksiz personel seçimi de en az öneme sahip olduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 14. Yönetimsel Faktörlerin Ağırlık Oranları ve Tutarlılık Oranı (Table 14. Weight Ratios and Consistency Ratio of Administrative Factors)

Inconsistency: 0.07262		
İş Yükünü~		0.15944
Kontrol v~		0.34211
Niteliksi~		0.03069
Uygun Olm~		0.23388
Uygun Olm~		0.23388

Tablo 14 incelendiğinde tutarlılık oranının 0.07262 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kritik değer olan 0.10'dan küçük olması nedeniyle de faktörlerin tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 15. Alt Kriterler İçin Alternatiflerin İkili Karşılaştırması (Table 15. Pairwise Comparison of Alternatives for Sub-Criteria)

		Eğitim	İnsan Makine Uyumu	Çalışma Ortamının Uygunluğunun Sağlanması	Organizasyon
Kişisel Faktörler	Mesleki Eğitim Eksikliği	0.19982	0.45725	0.25237	0.09056
	Yetersiz Fiziksel Güç	0.10176	0.05316	0.29658	0.5485
	Yetersiz Motivasyon	0.19031	0.29993	0.17781	0.33195
	Psikolojik/ Zihinsel Sorunlar	0.07364	0.12926	0.24761	0.54949
	Kurallara Aykırı Hareket	0.62233	0.06031	0.11545	0.2019
	Tecrübe Eksikliği	0.10176	0.05316	0.29658	0.5485

Malzeme/ Ekipman Kaynaklı Faktörler	Uygun Olmayan Malzeme Kullanımı	0.04732	0.56829	0.08752	0.29686
	İş Ekipmanı Bakımlarının Yapılmaması	0.03988	0.1267	0.26742	0.56601
	Standart Dışı İş Ekipmanı	0.04236	0.022646	0.10207	0.6291
	Standart Dışı Kişisel Koruyucu Ekipman	0.09152	0.57407	0.05233	0.28208
	İş Ekipmanı Periyodik Kontrolünün Yapılmaması	0.04443	0.13073	0.27371	0.55112
Çevresel Faktörler	Yetersiz Ortam Koşulları	0.10315	0.05899	0.64708	0.19077
	Uygun Olmayan Hava Şartları	0.06369	0.06369	0.49932	0.37331
	Çalışma Ortamı Dağınıklığı	0.08513	0.04824	0.43332	0.43332
Yönetimsel Faktörler	Niteliksiz Personel Seçimi	0.15652	0.35331	0.08409	0.40608
	İş Yükünün Fazla Olması	0.26708	0.17618	0.18415	0.37258
	Uygun Olmayan Çalışma Yöntemleri	0.2077	0.08274	0.04089	0.66867
	Uygun Olmayan İş Emirleri	0.13542	0.09848	0.07675	0.68935
	Kontrol ve Denetim Eksikliği	0.17503	0.17503	0.2407	0.40923

Belirlenmiş olan alternatiflerin alt kriterlere göre ikili karşılaştırma sonucu Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 16. Alternatiflerin Ağırlık Oranı (Table 16. Weight Ratio of Alternatives)

Eğitim	0.18628	0.062094
İnsan Makine Uyumu	0.16099	0.053662
Organizasyon	0.43639	0.145465
Çalışma Ortamının Uygunluğunun Sağlanması	0.21634	0.072113

Tablo 16 incelendiğinde alternatifler içinde en yüksek oran 0.43639 ile organizasyon çıkmıştır. Diğer alternatiflerde sırasıyla; çalışma ortamının uygunluğunun sağlanması 0.21634,

6. Sonuç ve Değerlendirme

Uluslararası ticarete taşımacılığın büyük bir kısmı deniz taşımacılığı ile yapılması nedeniyle tersanelerin ticaret hacminde yerleri oldukça önemli ve kritiktir. Tersaneler, uluslararası ticaret hacminde büyük yer tutmalarına paralel olarak; üretim, tamir-bakım-onarım faaliyetlerinin yapıldığı ve istihdamın çok fazla olduğu, çok hareketli çalışma alanlarıdır. Tersanelerde yürütülen faaliyetler doğrultusunda çok fazla ve riskli iş kolları birlikte çalışmaktadır. Bu durumda beraberinde çeşitli nedenlere bağlı olarak iş kazasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada belirli iş kazası nedenlerinden en önemlisi bulunmaya çalışılmıştır.

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi tercih edilmiştir. İlk olarak “Tersanelerdeki İş Kazalarının Nedenlerinin Önem Düzeylerine Göre Belirlenmesi” olarak amaç belirlenmiştir. Sonrasında; “kişisel faktörler, malzeme/ekipman kaynaklı faktörler, çevresel faktörler, yönetsel faktörler” olmak üzere 4 adet ana kriter ve bunların 19 alt kriteri belirlenmiştir. Alternatif olarak da “eğitim, insan makine uyumu, çalışma ortamının uygunluğunun sağlanması ve organizasyon” belirlenmiştir.

Ana kriterler, alt kriterler ve alt kriterlerin alternatiflerle ikili olarak kıyaslanacak şekilde anket oluşturulmuştur. Tuzla Bölgesi tersanelerinde görev yapan 6 iş güvenliği uzmanının anket değerlendirmeleri AHP yöntemi ile işlem yapan Super Decisions v2.1 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kriter ağırlığı en yüksek olarak “kişisel faktörler” ve alt kriter olarak da “psikolojik/ zihinsel sorunlar” tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda, kaza nedenlerinin, özellikle de psikolojik / zihinsel olarak çalışanların dikkatlerinin dağılmasına neden olabilecek nedenlerin (iş tatminsizliği, ücretle ilgili durumlar, vb.) belirlenmesi ve ortadan kaldırılması gerekmektedir. Kriterler ağırlıklarına göre “yönetsel faktörler, malzeme/ekipman kaynaklı faktörler ve çevresel faktörler” şeklinde sıralanmaktadır. Yönetim kararları çalışmaları doğrudan etkileyen sonuçlar ortaya çıkaracağı için ağırlık olarak diğerlerine göre ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla karar aşamasında ortaya konulan doğru yaklaşım ve alınan objektif kararlar sürecin kazasız ilerlemesini sağlayacaktır.

Alternatiflerin karşılaştırılmasında ağırlıklarına göre en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla “organizasyon, çalışma ortamının uygunluğunun sağlanması, eğitim ve insan makine uyumu” şeklindedir. İş kazasını önlemek için yapılması gerekenleri belirtmesi açısından alternatifler önemlidir. En yüksek ağırlığa sahip organizasyon, diğerlerinin de uygulanmasına olanak sağlayacağı için bütün çalışmaları ve çalışanları kapsayacak şekilde yerine getirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada AHP yöntemi kullanılarak “tersanelerdeki iş kazalarının nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi” ve en uygun alternatifin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgulara benzer olarak; İşler (2016) tarafından çalışmanın sonuçları da tersanelerdeki kazaların %56,9’u güvensiz hareket nedeniyle meydana geldiği tespit edilmiştir. Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) (2008) meclis araştırma komisyonu tarafından tersanelerde alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, kaza nedeni

eğitim 0.18628 ve insan makine uyumu 0.16099 şeklinde sıralanmıştır.

olarak tehlikeli durumlar (fiziksel nedenler) ve tehlikeli davranışlar (kişisel nedenler) olarak iki etken değerlendirilmiştir. Araştırmada incelenen kazaların %17,1’inin sadece tehlikeli hareketlerden meydana geldiği, %6’sının sadece tehlikeli durumlardan meydana geldiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, yaşanan iş kazalarının en önemli nedeninin kişisel faktörler olduğu ve bununda temel nedeninin çalışanın psikolojik/zihinsel sorunları olduğu söylenebilir. Çalışanların fikirlerinin alınması, sorunlarının dinlenmesi ve sorunlarının çözümüne katkı sağlanması yönünde çalışmalar yapılmalıdır. Çalışmalar yöneticiler tarafından çalışanların fiziksel olduğu kadar zihinsel ve psikolojik olarak da işlerine yoğunlaşmalarını sağlayacak şekilde organize edilmelidir. Tersaneler çok tehlikeli iş kollarını bünyesinde barındırdığı için yaşanan bir kazanın ölümle sonuçlanma olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle sürekli denetimler yapılarak tespit edilen uygunsuzluklar kaza yaşanmadan giderilmelidir. Bu çalışmanın kısıtı, tersanelerdeki iş kaza nedenlerinin ve alternatiflerinin amaç hiyerarşisinde belirtildiği şekilde ele alınmış olmasıdır. Dolayısıyla farklı faktörlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi ile farklı sonuçlara ulaşılabilir. Buna göre ileriki çalışmalarda tersanelerdeki iş kazalarının nedenleri olarak farklı ana-alt kriterler ve alternatiflerin ele alınması araştırmacılara önerilmektedir.

Kaynakça

- Adıgüzel, O. (2009). Personel seçiminin Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemiyle gerçekleştirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24, 243-253.
- Akbal, H., & Akbal, H. İ. (2020). Covid-19 pandemi sürecinde uzaktan eğitim ile ilgili yaşanan sorunların öğrenci bakış açısına göre AHP yöntemi ile incelenmesi. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(22), 533-546.
- Akyıldız, H., & Barlas, B. (2015). Tersanelerde iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk analizi yöntemleri (Rapor No. DEN 2015/02), 11-12. İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü.
- Barlas, B. (2012). Shipyard fatalities in Turkey. *Safety Science*, 50(5), 1247-1252.
- Barlas, B., & Çelebi, U. B. (2014). Gemi inşa sektöründe iş kazaları. *Gemi Mühendisleri Odası Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 202, 28-39.
- Barlas, B., & Izci F.B. (2018). Individual and workplace factors related to fatal occupational accidents among shipyard workers in Turkey. *Safety Science*, 101, 173-179.
- Caner, Akin, G., Eren, Ö., Oral, H. V., & Heperkan, H. A. (2020). Yeni bir risk değerlendirme yöntemi ile tersane işletmelerinin sınıflandırılması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 232-254.
- Caner, H. I., & Aydın, C. C. (2021). Shipyard site selection by raster calculation method and AHP in GIS environment, İskenderun, Turkey. *Marine Policy*, 127, 104439.
- Chiba, T., Aonuma, S., & Kusugami, T. (2005). Research on method of human error analysis using 4M4E. *JR East Technical Review*, 5, 59-65.
- Çelebi, U.B., Akanlar F.T., & Vardar N. (2008). Tersane üretim proseslerinin işçi sağlığı üzerine etkileri, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojileri Teknik Kongresi, İstanbul, Türkiye,

- 262-270.
http://www.gmo.org.tr/documents/file/gidtk08_cilt2.pdf
- Çivi, G., & Barlas, B. (2017). Gemi inşaatı sanayinde iş kazalarının analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi 1. İş Sağlığı ve Güvenliği Çalıştayı. İTÜ Vakfı Yayınları, 59-72.
- Çolak F. (2019). Tersanelerde meydana gelen atmosfer patlamalarının teorik ve uygulamalı olarak incelenmesi ve patlamadan korunma önlemlerinin alınması (Yayın No. 545176) [Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Kütahya].
- Daştan, A., & Erol S. (2011). Türk gemi inşa sanayi işletmelerinde muhasebe bilgi sistemi: özellikli muhasebe işlemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13(1), 59-80.
- Ediz, A., Yıldızbaşı, A. & Baytemur E. (2017). İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi performans göstergelerinin AHP ile değerlendirilmesi. The Journal of Academic Social Science Studies, 62, 275-294.
- İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. (2015). Gemi inşa işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği risk esaslı programlı teftişi (2015/ISG/TERSANE) sonuç raporu. Türkiye Cumhuriyeti Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. https://www.csgeb.gov.tr/medias/6070/2016_85_gemisektoer_ue.pdf
- İşler, S.B. (2016). Tersanelerde yaşanan iş kazalarının incelenmesi: iş sağlığı ve güvenliği bağlamında risk analizi (Yayın No. 443814) [Yüksek Lisans Tezi, Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].
- İzci, F. B. (2015). Gemi inşaatı sanayinde iş kazaları ve analizi (Yayın No. 421129) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].
- Kırdağlı, M. (2011), Tersanelerde verimliliği etkileyen parametrelerin Bulanık AHP yöntemi ile analizi (Yatın No. 315384) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].
- Lee, J. B. & Chang, S. R. (2012), Measurement of seventy of hazard and investment in occupational safety & health according to ship types using analytic hierarchy process. Journal of the Korean Society of Safety, 27(1), 105-110.
- Menteşe, G., İnce, E. & Özcan, B. (2017). Gemi inşaatı sanayinde iş sağlığı ve güvenliği bilincinin incelenmesi. Mühendis ve Makine 58(688), 53-78.
- Näsänen, M. & Saari, J. (1987). The effect of positive feedback on housekeeping and accident at a shipyard. Journal of Occupational Accidents, 8(4), 237-250.
- Ömürbek, N., Şimşek, A. (2014). AHP ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 12(22), 306-327.
- Özbek, A. ve Erol E. (2018). AHS ve SWARA yöntemleri ile yem sektöründe iş sağlığı ve güvenliği kriterlerinin ağırlıklandırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20(2), 51-66.
- Özcan, S. G. (2019). İnşaat sektöründe iş kazalarına neden olan faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi. (Yayın No. 597369) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara].
- Özdemir, Y. (2020). İnovasyon odaklı girişimlerin desteklediği teknoparkların kuruluş yeri seçiminde etkili olan değişkenlerin AHP ile önem katsayılarının belirlenmesi. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi, 4(1), 74-83.
- Tansoy R.T. (2017). Tersanelerde iş kazalarının önlenmesinde alınması gereken tedbirler ve risk analizi (Yayın No. 474064) [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli].
- Tayan, M. (2008). Tersanelerde meydana gelen iş kazaları ve iş güvenliği. Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojileri Teknik Kongresi, İstanbul, Türkiye, 270-282. http://www.gmo.org.tr/documents/file/gidtk08_cilt2.pdf
- TBMM, (2008). Gemi inşa sanayisindeki iş güvenliği ve çalışma şartları sorunlarının araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan Meclis Araştırması Komisyonu raporu, (Dönem:23, Yasama yılı:2, Temmuz 2008), 160
- Tezdoğan, T., & Taylan, M. (2009). Tersanelerdeki iş kazalarının istatistikî olarak incelenmesi, GMO Journal of Ship and Marine Technology, 180, 10-16.
- Tüminçin, F. (2016). AHP ile bir karar destek sistemi oluşturulması: Bir üretim işletmesinde uygulama (Yayın No. 443093) [Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bartın].
- Uzun, S. (2015). Gemi inşa sürecinde ana makine ve jeneratör seçimi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE uygulaması (Yayın No. 385863) [Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli].
- Yaralıoğlu, K. (2001). Performans değerlendirmede AHP. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16(1), 129-142.
- Yıldız, A. (2008). Türkiye’de tersanelerin tarihi ve gemi inşa sanayisinin gelişimi. Mühendis ve Makina, 49(578), 23-47.
- Yılmaz, A. I., Yılmaz, F., & Celebi, U. B. (2015). Analysis of shipyard accidents in Turkey. British Journal of Applied Science & Technology, 5(5), 472.
- Yorulmaz, M., & Aksu A. (2020). Liman işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulama performans boyutlarının AHP ile değerlendirilmesi: Kocaeli Liman Bölgesi. İşletme Bilimi Dergisi, 9(1), 1-24.
- Yorulmaz, M., Taş, A., & İnanlı, H. (2022). Limanlardaki İş Kazalarında İnsan Kaynaklı Hata Nedenlerinin AHP Yöntemiyle Değerlendirilmesi: Kocaeli Liman Bölgesinde Bir Uygulama. Academic Social Resources Journal, 7(34), 193-202.
- Yorulmaz, M., & Yanık, D. A. (2021). Gemi kaptanlarının yönetici kriterlerinin belirlenmesi. Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, 2021:7(2), 53-66.
- Zorba, Y. (2009). Uluslararası deniz ticaretinde tehlikeli yüklerle ilişkin güvenlik yönetimi: uluslararası denizde tehlikeli yük taşımacılığı standartları (IMDG CODE) ve Türkiye uygulamaları (Yayın No. 231396) [Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir].



Efficacy of Phosphine Fumigation under Cold Temperature against *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) on Carnation

Sait Ertürk^{1*}, Mustafa Alkan²

^{1*} Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9961-3955), saiterturk@gmail.com

² Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7125-2270), alkan0101@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 26 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1144387)

ATIF/REFERENCE: Ertürk, S., Alkan, M. (2022). Efficacy of Phosphine Fumigation under Cold Temperature against *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) on Carnation. *European Journal of Science and Technology*, (41), 144-149.

Abstract

Many pests cause serious economic losses in the carnation cultivation areas in Türkiye. Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) is harmful on carnation by feeding on both leaves and flowers and is listed as a quarantine pest in some exporting countries. Due to invasions of western flower thrips some chemical control measures are traditionally used as a phytosanitary measure for control of western flower thrips on cut carnation, however, traditional insecticides do not provide its satisfactory control. Phosphine has been investigated as an alternative to traditional insecticides for pest control on cut flowers. In this study the toxic effect of the phosphine gas on egg, larva, pupa, and adult stages of western flower thrips were determined by using the QuickPHlo-R[®] aluminium phosphide formulation (77.5%) and QuickPHlo-R[®] quick phosphine generator in a cold storage facility in the Korkuteli district of Antalya province in Türkiye in 2018. The doses of 1.1, 2.2 and 3.3 g m⁻³ of QuickPHlo-R[®] granules were used for 48 hours exposure time under low temperature conditions (6 °C). Adult stage of the *F. occidentalis* at 1.1 g m⁻³ has the lowest mortality rate with 75.71% while the highest toxic effect of phosphine gas was observed at 3.3 g m⁻³ for 48 h exposure time with a 100% mortality rate of all biological stages of *F. occidentalis*. It is concluded that QuickPHlo-R[®] fumigation technology against the western flower thrips under low temperature conditions could be used easily, especially to meet quarantine conditions of the exporter country of the cut flower.

Keywords: *Frankliniella occidentalis*, Carnation, Cold temperature, Phosphine, Phytosanitary.

Düşük Sıcaklık Altında Fosfin Fümigasyonunun Karanfil Üzerinde Bulunan *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae)'e Karşı Etkinliği

Öz

Türkiye'de karanfil ekim alanlarında birçok zararlı, ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Batı çiçek thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) hem yaprak hem de çiçeklerle beslenerek karanfil üzerinde zararlı olup bazı ihracat yapan ülkelerde karantina zararlısı olarak listelenmektedir. Batı çiçek thripslerinin istilası nedeniyle, bazı kimyasal kontrol önlemleri geleneksel olarak kesme karanfil üzerindeki batı çiçek thripslerinin kontrolü için bir bitki sağlığı önlemi olarak kullanılmaktadır, ancak geleneksel böcek öldürücüler tatmin edici kontrolünü sağlamamaktadır. Fosfin, kesme çiçeklerde haşere kontrolü için geleneksel insektisitlere alternatif olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada batı çiçek thripslerinin yumurta, larva, pupa ve ergin

* Sorumlu Yazar: saiterturk@gmail.com

dönemleri üzerine fosfin gazının toksik etkisi QuickPHlo-R® alüminyum fosfit formülasyonu (%77.5) ve QuickPHlo-R® hızlı fosfin üretici kullanılarak belirlenmiştir. 2018 yılında Antalya ili Korkuteli ilçesindeki soğuk hava deposu tesisinde 1.1, 2.2 ve 3.3 g m⁻³ dozlarında QuickPHlo-R® granülleri düşük sıcaklık koşullarında (6 °C) 48 saat maruziyet süresi boyunca kullanılmıştır. *Frankliniella occidentalis*'in 1.1 g m⁻³'teki ergin aşaması, %75.71 ile en düşük ölüm oranına sahipken, fosfin gazının en yüksek toksik etkisi, 48 saatlik maruz kalma süresi boyunca 3.3 g m⁻³'te tüm dönemlerinde ölüm oranları %100 olarak gözlenmiştir. *Frankliniella occidentalis*'in biyolojik evreleri için düşük sıcaklık koşullarında batı çiçek thripslerine karşı QuickPHlo-R® fümigasyon teknolojisinin özellikle kesme çiçeğin ihracatçısı ülkenin karantina koşullarını karşılamak için kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitki sağlığı, Düşük Sıcaklık, Fosfin, *Frankliniella occidentalis*, Karanfil.

1. Introduction

There are many pests that cause serious economic losses in the carnation cultivation in Türkiye. Thrips are an important problem for carnation flowers during growing season and after harvest. One of the major thrips pests of carnation is western flower thrips [*Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae)] which is harmful on carnation by feeding on both leaves and flowers. As a result of this damage, the plant can dry completely. Cut flowers are one of the major revenue-generating products in the global market (Teixeira da Silva, 2003). The importation of plants and plant parts, including cut flowers, poses a biosecurity risk to plant industries, the environment, and the economy of the importer country. Besides that, ornamental plants, due to their positive effects on people due to their aesthetic properties, provide a livelihood for hundreds of thousands of people in our country as well as all over the world. The concept of cut flower refers to the fresh, dried, dyed or bleached state of flowers, buds, leaves, and leaves that are often used in bouquets, baskets, wreaths, and arrangements (Teixeira da Silva, 2003).

Frankliniella occidentalis is not only harmful by feeding on plant tissue but also damages it by carrying plant viruses such as impatiens necrotic spot virus and tomato spotted wilt virus (Allen and Broadbent, 1986; Daughtrey et al., 1997). Due to invasions of western flower thrips on exported products, carnations are rejected from time to time, this is especially true for countries with very strict quarantine regulations (Seaton and Joyce, 2010). On the other hand, western flower thrips is a serious quarantine pest organism and listed in EPPO A2 list of pests recommended for regulation as quarantine pests (Anonymous, 2020a). On this basis, exporters and producers of the cut flowers must get some precautions for control of this pest at least before the shipment. For control of this insect at the postharvest stage there are some chemical control measures that can be taken in the cut flower without lowering the quality criteria. To control the thrips population among carnation flowers, producers regularly spray insecticides, which is ineffective as all thrips are not completely killed (Bumroongsook and Kilaso, 2018). Therefore, thrips need to be eliminated after harvest in accordance with the standard of export of agricultural materials to foreign countries.

Fumigation has been the main method of post-harvest protection either to disinfest cut flowers and agricultural products, or to protect them from insect infestation to meet export requirements. As a postharvest insect control agent, phosphine (PH₃) is usually used as an alternative to methyl bromide. Methyl bromide depletes the ozone layer and allows increased ultraviolet radiation to reach the earth's surface. Therefore, methyl bromide is a Class I ozone-depleting substance defined by the Montreal Protocol. In Türkiye, methyl bromide has been banned since 2008 (Ertürk et al., 2018). Metal phosphide such as aluminium or

magnesium phosphide has been the primary choice of commercial fumigators since the 1930s. Phosphine is usually generated from metal phosphide and contains ammonia, which is generated from carbamate concurrently with phosphine to prevent generating phosphine too fast. Nevertheless, ammonia is phytotoxic. Recent advances in phosphine technology have resulted in the ability to place phosphine gas formulation a mixture of 2% phosphine and 98% (w/w) carbon dioxide in compressed cylinders (ECO2FUME®) for safe and rapid fumigation. The ECO2FUME® has been tested and used on a variety of fresh fruits and vegetables for postharvest insect control at low temperatures in many countries. The ECO2FUME® is also registered ready to use phosphine gas formulation for cut flowers against *F. occidentalis* in Türkiye (Anonymous, 2020b). Moreover, the QuickPHlo - R aluminium phosphide formulation and the QuickPHlo phosphine generator series are developed to generate rapid and continuous phosphine gas on-site during the fumigation. There is a lack of published data on toxicity of low temperature phosphine fumigation to the life stages of western flower thrips. In this study, it was evaluated that toxic effect of the phosphine gas on eggs, larvae, pupae and adults of western flower thrips. QuickPHlo-R® aluminium phosphide formulation that has an active ingredient content of 77.5% aluminium phosphide was used, by using the QuickPHlo-R® quick phosphine generator. This study was carried out to create an alternative to ECO2FUME® formulation which is unique in its field.

2. Material and Method

2.1. Insect Culture

Western flower thrips collected from the greenhouses in the provinces of Antalya and Muğla in Türkiye. The insect was reared under 25±1°C, 65±5% relative humidity (r.h.) and long day (16:8 h L:D) photoperiod conditions at the Entomology Laboratory of the Biology Department of the Faculty of Science, Muğla Sıtkı Koçman University. For this purpose, the insects were transferred ventilated glass jars (1 L, 18 cm height x 10 cm diameter). Each of the jar lids was drilled with a 9 cm hole and covered with thrips-proof cloth. For feeding of adult insects, the bean [*Phaseolus vulgaris* (L.) (Fabaceae)] pods and an amount of vermiculite were introduced in the jars. Cattail, *Typha* sp. (Typhaceae), pollens were added as additional food source for adults. Vermiculite was used as a suitable pupation site. First instar larvae emerged in a few days and started feeding with bean pods and pollens. The bean pods were changed every second day with fresh bean pods. Dry pods were removed when needed. Mature second instar larvae turned into pupae into vermiculite media and adults emerged in a few days (Ertürk et al., 2018).

2.2. Fumigation Procedure

To perform the fumigation experiments a small scale QuickPHlo-R® rapid phosphine generator from United

Phosphorus Ltd (Mumbai, India) was used. The generator liberates the phosphine gas from the aluminium phosphine granules (QuickPHlo-R). The QuickPHlo-R® rapid phosphine generator has a stainless-steel reaction chamber where the reaction takes place. The rapid generator has a deactivation system and scrubber for eliminating the residue of aluminium phosphide formulation. Thus, the generator greatly reduces to safe levels for the disposal of the active ingredients. The generator has inlet and outlet connections pipes and the blower fan to provide gas circulation to the fumigation unit. Thus, the phosphine gas produced in the generator was transmitted to the fumigation chamber by the circulating airflow (Figure 1).

QuickPHlo-R® aluminium phosphide (77.5%), in the form of granules from a sealed foil pouch, was added to the reaction chamber and then the reaction chamber was hermetically sealed with gasket and clamp. The water container of the QuickPHlo-R® phosphine generator was filled with water. The QuickPHlo-R® aluminium phosphide granules, which encounter water in the container, started to release phosphine gas. The phosphine gas level in the fumigation chamber was monitored periodically using the portable gas analyzer, Dräger X-AM® 5000 (Drägerwerk AG & Co., Lübeck, Germany), during the fumigation process. The fumigation process was started by operating the phosphine generator and phosphine gas formed for 1.5 hours was delivered to the fumigation unit by circulating airflow method. After the production of phosphine gas from the granules was completed, the generator was turned off, and the connections were removed and the fumigation units were kept closed for 48 hours. At the end of the two days, fumigation chambers were opened and allowed at least 3 hours of ventilation and fumigation were terminated in this way. The experiments were carried out at an average temperature of 6 °C.

The trials were set up in specially prepared one cubic meter gas-tight polyethylene tanks. The tanks were used as a fumigation

chambers. Carnations were placed in fumigation chambers in 50 x 17 x 35 cm plastic crates with at least 20 cut carnations inside. Larvae, pupae and adults of the *F. occidentalis* were put in the 100 ml plastic sample containers. Since the western flower thrips lay their eggs in the plant tissue, the French bean pods were used for oviposition sites at least two days. In this way, the effect of fumigant on hatching was evaluated. The containers specially prepared for insects were covered with 80 mesh screen printing silk. Thus, an environment that did not allow insects to escape and provides ventilation was created. Plastic crates with carnations were placed on top of each other and left inside the fumigation chamber. These plastic sample containers were distributed among carnations in the plastic crates. Fumigation chambers were sealed with very impermeable film (VIF) (Plastika Kritis, ORGASUN®) using insulating tape. For the efficacy evaluation, each fumigation chambers were exposed different PH₃ concentration. In the experiment 1.1, 2.2 and 3.3 g m⁻³ QuickPHlo-R® granules were used. 2.2 g QuickPHlo-R® granules liberates approximately 1 g PH₃ gas which is equates 716 ppm. For the positive control ECO2FUME® cylindered gas formulation with 70 g m⁻³ was used. After the fumigation process was completed, life stages of the test insects were transferred to a climate chamber and kept at 25±1°C, % 60±5 r.h. and 16:8 h L:D photoperiod. Before being scored for mortality of adults, larva and pupa mortalities were assessed after 2 d. and the toxic effect of the PH₃ on the egg stages of *F. occidentalis* was determined after incubation for 7 d.

2.2. Statistical analyses

This experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Variance analysis was applied to the mortality percentage according to corrected Abbott's formula by using IBM SPSS Statistics Version 20 Software (Erper et al., 2022). The differences between the treatments were analyzed by means of Duncan's multiple range test (P< 0.05).

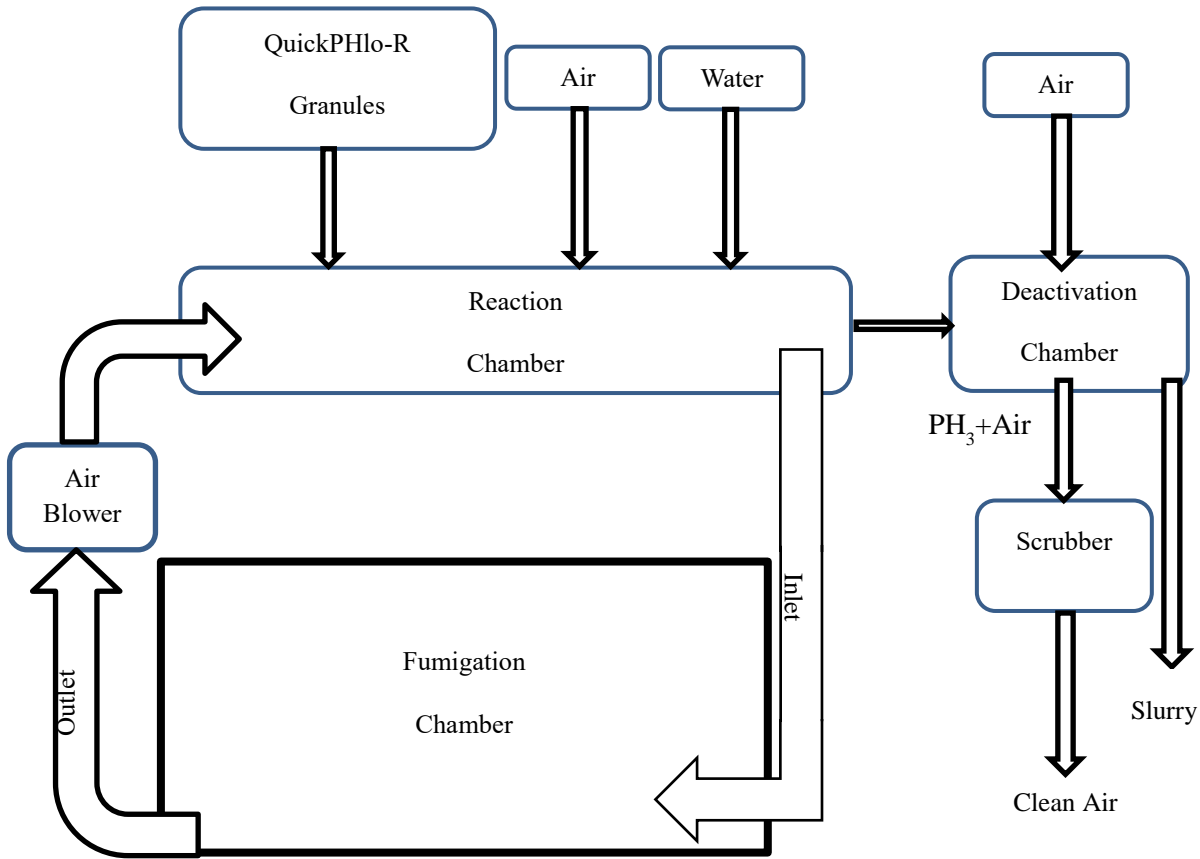


Figure 1. Block diagram of phosphine gas generation from the QuickPHlo-R® rapid phosphine generator (Şekil 1. QuickPHlo-R® hızlı fosfin üreticinden fosfin gazı üretiminin blok şeması)

3. Results and Discussion

The mortality of adults, larvae, pupae and hatching rates of the eggs exposed to different PH_3 fumigation regimes were given (Figure 2-5). Adult stage of the *F. occidentalis* at dose of 1.1 g m^{-3} had the lowest mortality rate with 75.71%. The highest toxic effect of phosphine gas was observed at the dose of 3.3 g m^{-3} with 100% mortality rate, similar to positive control group. The dose of 2.2 g m^{-3} was resulted in 87.17% mortality. Except the positive control group, all phosphine treatments has a different statistical group ($F= 505,134$; $df= 3$; $P < 0.05$) (Figure 2).

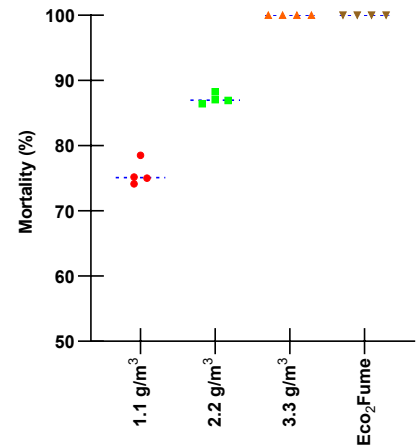


Figure 2. Toxic effect of the different dosage of PH_3 on the adults of *Frankliniella occidentalis* after 48 hours fumigation period in the carnation

(Şekil 2. Karanfilede 48 saatlik fümigasyon periyodundan sonra *Frankliniella occidentalis*'in erginlerinde PH_3 'ün farklı dozlarının toksik etkisi)

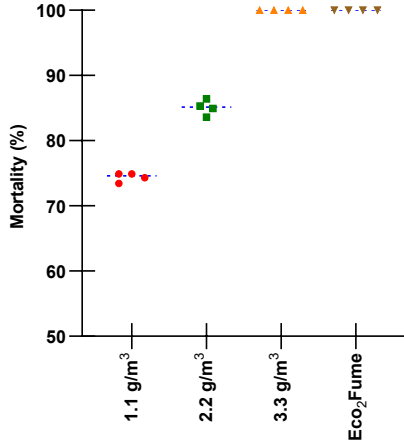


Figure 3. Toxic effect of the different dosage of PH₃ on the larvae of *Frankliniella occidentalis* after 48 hours fumigation period in the carnation

(Şekil 3. Farklı dozlarda PH₃'ün karanfilde 48 saatlik fümigasyon periyodundan sonra *Frankliniella occidentalis* larvaları üzerindeki toksik etkisi)

Several publications reported that western flower thrips adults were very susceptible to PH₃ fumigation (Karunaratne et al., 1997; Ertürk et al., 2018). Besides, Karunaratne et al., (1997) revealed that *Heliethrips haemorrhoidalis* (Thysanoptera: Thripidae) were completely killed after phosphine fumigation at the dose of 300 µl L⁻¹ for 18 h of exposure time at 24 °C. Similarly, Emekci et al., (2014) found that 1000 ppm ECO2FUME® for 24-h exposure time was resulted in 100% mortality of *F. occidentalis* adults at 4 °C. To eliminate the negative effect of low temperature on the mortality of *F. occidentalis* adults, the short exposure time of fumigation for 48 h, which resulted in 100% adult mortality was performed. In the case of the larval stage insect mortalities varied between 74.39-100.00% (Figure 3).

The lowest larval mortality observed at the lowest dose of 1.1 g m⁻³. The highest mortality rate was 85.06% at the dose of 2.2 g m⁻³, which did not achieve complete mortality of the larvae. Phosphine fumigation at the dose of 3.3 g m⁻³ gave 100% mortality of the larvae. Tunç et al., (2004) reported that for 99% mortality of the larvae of *F. occidentalis* was achieved at 80 µl acetone L⁻¹ air for 34.3 h exposure time. It can be said that insecticides with fumigant action have been most toxic to the thrips, because of especially those that hide inside crevices within the plant. Lethal effects of phosphine gas fumigation against *F. occidentalis* egg and pupa stages were different (Figure 4-5).

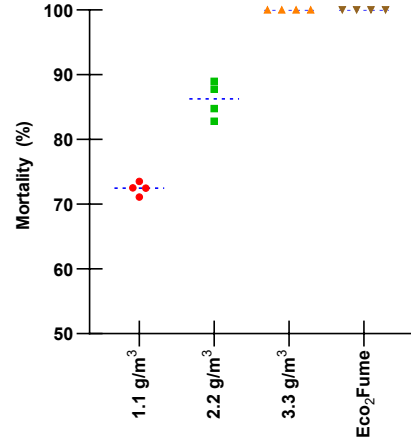


Figure 4. Toxic effect of the different dosage of PH₃ on the eggs of *Frankliniella occidentalis* after 48 hours fumigation period in the carnation

(Şekil 4. Farklı dozlarda PH₃'ün karanfilde 48 saatlik fümigasyon periyodundan sonra *Frankliniella occidentalis* yumurtaları üzerindeki toksik etkisi)

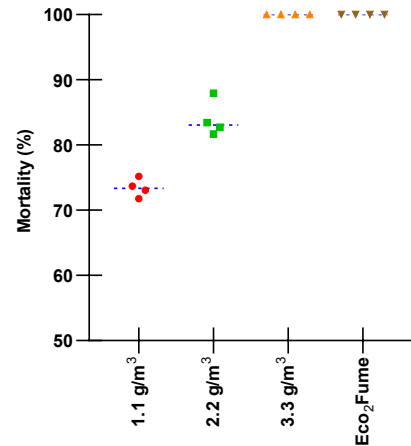


Figure 5. Toxic effect of the different dosage of PH₃ on the pupae of *Frankliniella occidentalis* after 48 hours fumigation period in the carnation

(Şekil 5. Farklı dozlarda PH₃'ün karanfilde 48 saatlik fümigasyon periyodundan sonra *Frankliniella occidentalis* pupaları üzerindeki toksik etkisi)

At the dose of 1.1 g m⁻³ egg and pupae, the mortality was 72.40% and 73.41%, respectively. The mortality rates of *F. occidentalis* eggs and pupae were determined for 86.08% and 83.94% at the dose of 2.2 g m⁻³, respectively. Exposure of phosphine gas at the highest dose of 3.3 g m⁻³ resulted in 100% mortality for both pupae and eggs of *F. occidentalis*. It is known that embryonic stage such as eggs and postembryonic stages such as pupae of the insect species are more tolerant to phosphine than the adults and larval stages (Hole et al., 1976).

In a previous study, the order of tolerance to phosphine fumigation for biological stages of Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) ranged eggs > pupae > 5 weeks old larvae > 2 weeks old larvae (Storey, 1973). It is also important that the western flower thrips insert their eggs in the plant tissue; therefore, it is difficult to kill with the conventional insecticide. Because of its specific gravity of 1.21, similar in density to air,

phosphine has a good penetration ability to all kinds of commodities and structures.

4. Conclusions and Recommendations

The phosphine generator QuickPHlo-R[®] generates pure phosphine gas from aluminium phosphide granules without ammonia, which is not a detrimental effect on cut flowers or fresh commodities. Also, when compared to conventional aluminium or magnesium phosphide formulations, QuickPHlo-R[®] technology has some advantages, such as more user-friendly because of less gas releasing time, independent from environmental conditions, gas circulation with forced air to the entire structure, not applied directly to the treated commodity and on-site application.

Present study indicated that QuickPHlo-R[®] fumigation against the western flower thrips could be used, especially to meet quarantine conditions of the exporter country of the cut flower. Also, it is an advantage that the QuickPHlo-R[®] can operate independently from the ambient temperature, which is thought to provide convenience to the fumigator. Further research on the thrips is needed to determine the efficacy of the PH₃ toxicity in shorter exposure periods, different dosage and temperature conditions, which has not a negative effect on the quality criteria of cut carnation.

References

Allen, W. R., Broadbent, A. B. 1986. Transmission of Tomato Spotted Wilt Virus in Ontario Glasshouses by *Frankliniella occidentalis*. Canadian Journal of Plant Pathology, 8(1): 33-38.

Anonymous, 2020a. Online Database of The European Plant Protection Organisation, (Web page: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2list) (Date accessed: 13.01.2020).

Anonymous, 2020b. Online Database of Plant Protection Products, Ministry of Agriculture and Forestry of Türkiye. (Web page: <https://bku.tarim.gov.tr/Bitki/Details/283>) (Date accessed: 14.01.2020)

Bumroongsook, S., Kilaso, M. 2018. Modified atmosphere for thrips disinfection on cut lotus flowers. Applied Ecology and Environmental Research, 16(4): 5237-5247.

Daughtrey, M. L., Jones, R. K., Moyer, J. W., Daub, M. E. & Baker, J. R. 1997. Tospoviruses strike the greenhouse industry: INSV has become a major pathogen on flower crops. Plant Disease, 81(11): 1220-1230.

Erper, I., Ak, K., Turkkkan, M., Yildirim, E., Alkan, M., Ozer, G. 2022. Potential of Turkish *Beauveria bassiana* isolates for the management of the polyphagous planthopper, *Orosanga japonica* Melichar 1898 (Hemiptera: Ricaniidae). Egypt J Biol Pest Control 32, 104. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00604-9>

Ertürk, S., Şen, F., Alkan, M. & Ölçülü, M. 2018. Effect of different phosphine gas concentrations against *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) on tomato and green pepper fruit, and determination of fruit quality after application under low-temperature storage conditions. Turkish Journal of Entomology, 42(2): 85-92.

Hole, B. D., Bell, C. H. & Mills, K. A., Goodship, G. 1976. The toxicity of phosphine to all developmental stages of thirteen species of stored product beetles. Journal of Stored Products Research, 12(4): 235-244.

Karunaratne, C., Moore, G. A., Jones, R. B. & Ryan, R. F. 1997. Phosphine and its effect on some common insects in cut flowers. Postharvest Biology and Technology, 10(3): 255-262.

Emekci, M., Ferizli, A. G., Goztas, R., Taner, A. & Garnier, J. P. 2014. ECO2FUME[®] fumigation protocols for effective quarantine and pre-shipment treatment of export cut flowers in Türkiye, 952-957. Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored Product Protection (24-28 November 2014 Chiang Mai, Thailand), 1124 pp.

Seaton, K., Joyce, D. 2010. Postharvest insect disinfestation treatments for cut flowers and foliage. DAFWA, Note: 319 (Web page: www.agric.wa.gov.au) (Date accessed: 23.01.2020).

Storey, C. L. 1973. Relative Toxicity of Chloropicrin, Phosphine, EDC-CCI₄, and CCI₄-CS₂ to Various Life Stages of the Indian Meal Moth, (No. 6). US Department of Agriculture.

Teixeira da Silva, 2003 J.A. 2003. The cut flower: Postharvest considerations. J. Biol. Sci. 3, 406-442.

Tunç, I., Ünlü, M. & Dağlı, F. 2004. Bioactivity of acetone vapours against greenhouse pests, *Tetranychus cinnabarinus*, *Aphis gossypii* and *Frankliniella occidentalis*/Bioaktivität von Aceton-Dämpfen auf Gewächshauschädlinge, *Tetranychus cinnabarinus*, *Aphis gossypii* und *Frankliniella occidentalis*. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection, 111(3): 225-230.



A Study on Circassian Exile Monument and Memorial Park in Göksun-Türkiye

Candan Kus Sahin^{1*}, Esra Bayazıt Solak²

¹Suleyman Demirel University, Faculty of Architecture, Dept. of Landscape Architecture, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0413-2380), candansahin@sdu.edu.tr

²Institute of Natural and Applied Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8390-0212), mim.esrabayazit@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 2 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1152911)

ATIF/REFERENCE: Kus Sahin, C., Bayazıt Solak, E. (2022). A Study on Circassian Exile Memorial Park in Göksun-Türkiye, *European Journal of Science and Technology*, (41), 150-155.

Abstract

Memorial parks are the places where religion, philosophy and arts are important for visitors, explains identity of the places. However, successfully design memorial parks are ones that are lively and well-used by people. Human benefits and enjoyment are basic requirements in creating successful places in open spaces. These special fields are often empty of people or if used, have significant conflicts between different user groups. Circassians celebrate the day when the Circassian deportation was launched 21 May every year, as mourning commemorating the Circassian genocide.

This study is to evaluate Circassian exile memorial park opened at 5 June 2021 in Fındık neighborhood of Göksun district of Kahramanmaraş Province in Türkiye. The assessment was made with theoretical and methodological principles, in particular, to make memorial park evaluations. It is considered as a sequence of activities that make up the concept design. In study field, constructed monument and memorial park, which take shape according to Circassian exile, dynamics of the historical process in which they were realized. It is typically reflecting the identity of event and time in a symbolic language, are the visual expression to visitors of the knowledge and memory between the past and the future. The site found to be guided to interest focal points and areas by successions of used design materials, completed by color and shapes of elements.

Keywords: Circassian exile, Open space, Memorial park, Göksun, SWOT analysis.

Göksun-Türkiye’de Bulunan Çerkes Sürgün Anıtı ve Anı Parkı Üzerine Bir İnceleme

Öz

Anı parkları; din, felsefe ve sanatın kullanıcılar için önemli olduğu, şehirlerin kimliğini açıklayan yerlerdir. Başarılı bir şekilde planlanmış anı parkları, insanlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Açık alanların başarılı bir şekilde planlanması ve sürdürülmesinde insan kullanımı temel bir gereksinimdir. Bu özel alanlar kullanılmıyorsa boştur, kullanılması durumunda ise farklı kullanıcı grupları arasında önemli etkileri vardır. Çerkesler, her yıl 21 Mayıs’da, Çerkes soykırımını anmak için programlar düzenlemektedirler.

Bu çalışma, Türkiye'nin Kahramanmaraş ili Göksun ilçesi Fındık mahallesi'nde bulunan ve 5 Haziran 2021 tarihinde açılan Çerkes Sürgün Anıtı ve Anı Parkı'nın analiz edilmesi üzerinedir. Anı parkı üzerine yapılan değerlendirmeler, teorik ve metodolojik esaslara göre yapılmıştır. Çalışma alanında, tarihsel sürecin dinamiklerine uygun olarak Çerkes sürgününe göre şekillenmiş bir anıt ve anı parkı inşa edilmiştir. Anı parkının, tipik olarak geçmişte meydana gelmiş tarihsel olay ve zamanı sembolik bir dille yansıttığı, ziyaretçilere geçmiş ve gelecek arasındaki bilgi ve hafızanın görsel ifadesini sağladığı anlaşılmıştır. Alana yerleştirilmiş objelerin odak noktası özelliğine sahip olduğu, renk ve şekiller yardımıyla hatırlatıcı, öğretici özellikte olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çerkes sürgünü, Açık alan, Anı parkı, Göksun, SWOT analizi.

1. Introduction

According to the definition of the International Council of Museums and Monuments (ICOMOS), the term of *monument* is; 'It is any kind of immovable property that is recognized for its archaeological, historical, aesthetic or ethnographic importance and is therefore deemed worthy of protection' (URL-1). However, it is a single- or groups of symbolic buildings with historical, artistic or archaeological significance which built to commemorate an important event or a great identity by future generations throughout history (Ahmad, 2006).

The open space and park design practices have already investigated by many research groups (Carr *et al.*, 1992; Cooper Marcus and Wischemann 1987; Francis, 2003; İnan, 2011). The assessment of many memorial parks or monuments were also reported from a number of former studies. In particular, the aesthetic characteristics of parks and the subjective perceptions were proposed. A number of researchers has already reported that the more activities allowed in an urban design place, the more preferred by the users (Atalay, 2018; Behbahani *et al.*, 2013; Carr *et al.*, 1992; Cooper Marcus and Wischemann 1987; Demir *et al.*, 2016; Francis, 2003; İnan, 2011). However, there are several conditions limit human benefits and enjoyment in open spaces probably due to the fact that is an over emphasis on art and aesthetics. Because public spaces are generally perceived through an eye of sense, the human perception is a complex process (Dascălu, 2011).

However, works on memorial parks have a holistic structure that enables the transmission of cultural accumulations, physically represent social values or traumatic pain. These places also present some feelings and associations during transfer the past to the future while it's a remembering experience. In that sense, these places are mechanisms, create permanent official memory, which determines what a society will remember (Atalay, 2018; Behbahani *et al.*, 2013; Cho, 2012; Demir *et al.*, 2016; Kwon *et al.*, 2014; Şengünalp, 2020).

For a proper memorial park design, the city's natural structure, geographical features, traditions, cultural value and economic structure should be well-defined while such multifaceted analyses and design, taking account (Cho, 2012; Kwon *et al.*, 2014). However, these specially designed fields play an important role in shaping the image of the city and are an integral part of the structure and cultural life. Memorial parks and monuments designed during the historical process also provide educational lessons for the past, emphasize unity and integrity, and give an indirect message without ever directly pointing to an event (Behbahani *et al.*, 2013; Kwon *et al.*, 2014). These places play an important role in the formation of the socio-cultural continuity of ethnic, professional groups and non-governmental organizations, local people and visitors. Moreover, numerous studies have found that addressing user needs is a prerequisite to making well functioned open spaces (Francis, 2001 and 2003; İnan, 2011; Oleksiichenko *et al.*, 2018).

Circassians were experienced one of the greatest tragedies in human history in the 19th century. The independence struggle of the Circassians against the Tsarists Russia lasted for nearly 300 years, which ended with the defeats of the Circassians in 1864. Due to Russian inhumane policies (e.g., occupation, oppression and assimilation), most of the Circassians lost their lives while 1.000.000 to 1.500.000 of them (80 to 97%) were exiled from

their homeland to various parts of the world mainly into Anatolia and middle east. During that exile and migrate, Circassians faced difficulties on the roads, struggled with hunger, drowned in the sea, and died of epidemic diseases (Adın and Kaya, 2021; Çatalkılıç, 2021; Bulat and Bulat 2016; Doğanay, 2015; Şahin, 2016; Oral, 2017;).

In this case study, a newly built a Circassian exile monument and Memorial park in Göksun district of Kahramanmaraş province were examined. A comprehensive observation was also made within the scope of memorial park design and urban furniture practices after one year in service.

2. Material and Method

The district of Göksun's population is approximately 52.000 which is located in the north of the Kahramanmaraş province while it is elevated of approximately 1350 meters above sea level. Its location in the transition zone between hot and mild Mediterranean to cold and dry central Anatolian region. Therefore, both climate characteristics can be seen in Göksun and its near vicinity (URL-2).

The Circassian memorial park was dedicated for designing a type of special memorial garden, in Fındık neighborhood of Göksun district of Kahramanmaraş province in Türkiye, are the objects of our research. In particular, it dedicated to monument and to exile themes. The specially designed 10.300 m² of Circassian memorial park was officially opened at 5 June 2021 (URL-3). However, we reviewed and evaluated park in August 2021 and July 2022, respectively.

Since the memorial sites deals with some concepts, subjective method could be utilized which landscape quality derives from the eyes of the beholder. In this regard objective evaluation was made by subjectivity. However, evaluation is formed in review comprised two stages. Firstly, the Circassian culture and memorial park were reviewed within the literature database using keywords such as; circassian exile, memorial park design and landscape object assessment values of tangible characters evaluated objectively. During site visits, the locations and near environments were carefully analyzed. Secondly, potential external and internal conditions were defined. Then, all factors that may affects on the park functions with using urban furniture elements were carefully analyzed. It was suggested that SWOT analysis is a useful method for landscape character assessments at parks (Gkoltsiou and Paraskevopoulou 2021). In this sense, a SWOT analysis, is a technique for assessing Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats aspects together, was conducted on Circassian Exile Monument and Memorial Park.

Site selection is very important in the design of memorial parks. For this reason, attention should be paid especially to the location of the place where commemorate ceremony took place, natural-historical and cultural values. It is known that the Circassians, who settled in the area after the Circassian genocide by the Russian Empire in 1864, had a significant population in the Göksun district. Figures 1 and 2 show the general location and aerial view of study area, respectively. The park is surrounded by three kinds of areas: forests and orchards, a dam lake, and an intercity road. Such diversity and terrain allowed us to carefully evaluate in relation to infrastructures of different fields. It has established that the memorial parks usually designed in the form of V, square, oval or rectangular depends on size and topography of field. In these formats; it defines the walking axes, the

boundaries and the relationship between the spaces (Francis, 2001 and 2003; Oleksiichenko *et al.*, 2018). The Circassian Exile Monument and Memorial Park, which end with a dam pond from the side of an intercity road, are appeared to in the form of a triangle. Figure 3 show landscape plan, presently lawn areas and planted trees are shown in various level of greens, and natural pine-cedrus stands is white. The boundaries of the study site are shown with green line while pink for pond mouth.

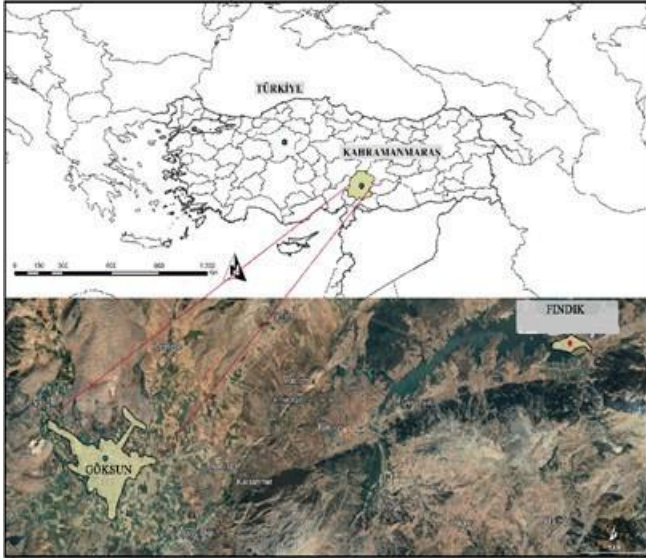


Figure 1. The location of Goksun-Kahramanmaraş



Figure 2. General aerial view of the Circassian Exile Monument and the Memorial Park (URL-3)

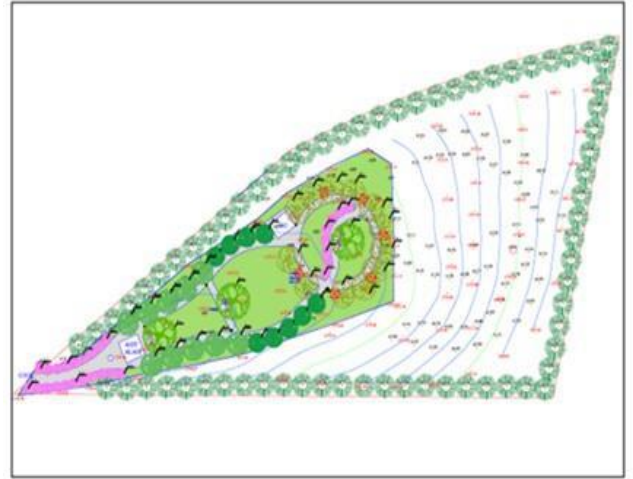


Figure 3. Landscape plan of Circassian Exile Monument and Memorial Park.

3. Results and Discussion

During site visits, the biological landscape systems of soil, surface topography, and natural vegetation were studied along with the patterns of drainage ways, utilities and orchards. Figure 4 show some pictures of the Circassian exile monument just south side entrance of memorial park. Certain objects can be evoking thoughts and feelings, and provoke action, influence the appearance of places. The park looks typically deals with a design issue of social and civic importance. However, planning efforts for that park are a benefit of creative physical design. The monument is clearly representing drown in the sea (at black sea) due to ships underway sank during Circassian exile. It looks like one of the aims of built a monument is to keep alive the memory of Circassians. It is clearly understandable; this monument is inspired from the war more than the other arts. Moreover, it exposes a sadness with a sensitivity. In this regard, a special attention had been paid to harmonize with the meaning and theme (Circassian exile), to adopt a creative and simple understanding in design with a well symbolic meaning.

Monuments could be built by various type of materials that change the place they are placed in, give meaning to it, and save it from the functionality and mediocrity of the past. But in order for that monument to fulfill these functions, they must be in strong enough to be made at correct positions with their surroundings, both socially and physically. Memorial parks are places that encourage thinking, comfort and arouse peace, together with the reminder of the bad event and disaster. Therefore, symbols and icons found in memorial parks are designs that have spirituality. With these design elements, which are shaped according to the cultural and traditional characteristics of the people, visitors connect with those who lost their lives in a spiritual sense and experience immortality. Memorial park can also be evaluated within the scope of sadness tourism which visits to areas where wars and genocides took place. It is suggested that those type of open spaces could also be planned to symbolize mass graves or martyrdom from natural disasters or wars which built in memory of them (Çelik, 2017; Kendle, 2008; Kılıç and Akyurt, 2011).



Figure 4. Circassian exile monument from south of entrance of memorial park.

The monument was found to be made with a special hard plastic on the marble basement that appears to durable to harsh weather conditions. It is clearly visible, the park is designed with a fiction that main focal point focuses, was built with the unity of the memorandum. The monument has also contained twelve stars made from hard plastics that represent the historical Circassian provinces: the Abzakh, the Beslency, the Bzhedugh, the Hatuqway, the Kabardians, the Mamkhegh, the Natukhaj, the Shassugh, the chemirgov, the Ubykh, the Yegeruqway, and the Zhaney.

It is very common to use easily molding and prefabricated materials (e.g., marble, concrete and plastic) for difficult curved or angular shapes, lines look straight, and the corners neat. It appears to selected hard plastic materials have certain strength characteristics which is important to resistance properties for aging, temperature variations, corrosion and wear. But it might be suggestive to consider some natural materials (e.g., stone, wood, ceramics and metals) alone and/or combination with other man-made plastic components.

Figure 5 show some basic built environment practices in field. Approximately 700 m² sidewalks and paths were constructed in field while cobble stones were mainly used as flooring material. However, concrete curbs were placed between soil/lawn and paths. It is seen that it guides people well enough and contributes to the memorial identity, and creates interesting areas by providing opportunities for the visitors in terms of recreation and tourism.

In landscaping practices, natural features, as well as infrastructure such as roads, bridges, fields and orchards can create an identity. These systems define the public realm, and delineating rooms in the landscape. In rural areas, like this park, there are variety of rooms, formed by its rolling hills, stands, built structures and infrastructure systems. The resulting composition is a mixture of urban and rural rooms. Although cobble stones were selected mainly for paving, it may be suggestive to use retired railroad ties with gravel, might also be considered to raise the path and create a historical appearance.



Figure 5. The plating practices on Circassian exile park.

A number of plant materials which have found to be suitable in that climate were planted in the park. These were; plane (*Platanoides orientalis*), Japanese pagoda tree (*Sophora japonica*), crape myrtle (*Lagerstroemia indica*), chinaberry tree (*Melia azedarach*) and black locust (*Robinia pseudouacacia*). But it is important to note that numerous trees, flowers and shrubs had planted and not well feature as expected during these evaluations. The plants appear to well suited in region and will established well appearance when fully grown in the future.

Memorial parks were built for the purpose of respect after the important memorable events in ancient times for keep the memories of events and ensure their continuity. Many studies on parks have shown that providing for human needs is a prerequisite for successful open spaces (Francis, 2001 and 2003). Figure 6 show some urban furniture and landscape elements in the field. Some roofed picnic tables, benches, and garbage bins were seen to be in park. Additionally, a two roomed concrete toilet building was also constructed for visitors. Although design and planning can make a difference in both the natural and built environments while inspired design can make a significant improvement. Some basic needs and requirements were found to be established in the park which considerations as comfort and relaxation of visitors.

Space composition is also considering in the design of memorial parks. Formal and utilitarian semiotics are important to create a successful composition in these spaces. The semantic approach creates the value, that is, the concept of the design. When evaluated in this context, it is seen that memorial parks carry the value of commemorating the event, give an identity and help it to be a symbolic object for the city.



Figure 6. Some urban furniture and landscape elements.

Within the scope of the study, the physical properties of memorial park were review after one year in service. Figure 7 show some pictures from Circassian Exile Memorial Park after one year in service. It aimed to reveal the planting practices and environmental effects on utilized urban furniture objects. It sought to much of the plants were adopted to park environment while the lawn establishments were unsuccessful. There are wild herbs covered throughout park. It was probably due to insufficient maintenance on the area. However, a gate with wire mesh fence established, appears to confused visitors and not appropriate to park environment. Moreover, except furniture made from wood-plastic composites, other urban furniture objects (benches and trash bins) appear to become erode which wooden benches looked pale appearance and metal trash bins was deeply rust.



Figure 7. General feature of Circassian exile park.

SWOT analysis is a tool that can help to analyze assessment, perception and management of certain design areas (Gkoltsiou and Paraskevopoulou 2021). In this regard, a SWOT analysis was conducted, in order to get evaluation of current status with measuring overall performance of park. Table 3 show SWOT analysis of Circassian exile memorial park.

Table 3. SWOT analysis of Circassian Memorial park.

Strength	Weak
<ul style="list-style-type: none"> It is located one of the oldest settlements in the region, The natural flora of the area is rich and greenery structure, The location of park in neighborhood where the Circassian population is dense, It has a positive attitude of the public towards the area, It can encourage Circassian cultural activities. 	<ul style="list-style-type: none"> It is far from the Göksun city center (approx. 20 km), The maintenance system of park is inadequate, The number and quality of urban furniture (lighting, directional signs, signage) used throughout the area is insufficient.
Opportunity	Threat
<ul style="list-style-type: none"> The statue used in the park have potential to be one of the landmarks of the region, Relatively close to the university campus (approx. 8.0 km), It is located on the main transportation way of the neighborhoods. It could be a sightseeing place for travelers and contributed to tourism. It could be marketing/sales opportunity for local products. 	<ul style="list-style-type: none"> Administratively, the manage of park is difficult due to location, It has located in a rural area and the implementation of the zoning plans is difficult, It has located very cold region and difficult to reach especially at winter season. Problems that may occur in the planting some herbal material.

4. Conclusions and Recommendations

War and exile play important role in history, and they have many influences on culture of a nations. However, memorial parks and monuments are impressive and remarkable places in cities with concept designs. Those impresses all visitors with its physical features such as; materials, structure, color, and dimensions. In this context, the landscape design studies of Göksun Circassian Exile monument and Memorial Park were examined.

The park assessment is an important topic and has studied by many researchers. However, there are some way to evaluation of those objects such as; subjective, physical, psycho-emotional. Göksun Circassian Exile monument and Memorial Park was built as a special place, efforts to reveal cultural heritage to promote tourism activities which Circassians has very rich cultural assets. So, this park could become an important cultural center.

It has seen that the study area was constructed for sadness tourism with a systematic approach and sensitivity. It has found clearly emphasized and support the subject, to be leave a mark, to have structural, and functional contributions for visitors. However, some recommendations could be made in terms of landscape architecture discipline.

- The Circassian exile monument is very special characteristic forms of the Circassian's identity. The park could serve as socio-cultural centers in order to encourage cultural activities

(memorandum of Circassian Exile) while neighborhood culture could be improved.

- The established monument is appeared to bear a concept and to display the Circassians exile together. This will provide a landmark and significant contribution to tourism.
- Visitors may be travelled to park area either with their own-and/or local public transportation vehicles. However, it is important to reserve proper area (parking lot) for vehicles.
- Another important issue is supplying necessary information to visitors. The park should be organized with information boards in terms of Circassian Exile.
- In a memorial park site, like Göksun Circassian Exile Memorial Park, visitors could have different expectations. The identity of park should be organized to express the traditional Circassians lifestyle.
- Visitors must access park area by foot. The sidewalks and paths should be well organized and made user-friendly for all users; easily recognized route plans should be posted at suitable places.
- Park and near vicinity are very unique for Circassian settlements. Information boards should be erected along roadsides.
- In the park area, depending on tourist or visitor origin, a range of languages should be used on information boards and signs.
- Increasing number of foreign visitors may offer marketing opportunities for local products. This can be seen as an opportunity for Goksun and near vicinity.

References

- Ahmad, Y. (2006). The scope and definitions of heritage: from tangible to intangible. *Int. J. Herit. Stud.*, 12(3), 292-300.
- Atalay, N. (2018). According to war & death concept memory's places: the peninsula of Gelibolu, park of Tharga jiu, Vietnam veterans memorial, (Turkish, Abstract in English), *Idil*, 7(52), 1499-1505.
- Aydın, N., Kaya, H. (2021). Circassian migrations from the Caucasus to the Ottoman empire, (Turkish, Abstract in English), *J. Atatürk & History of Turkish Rep.*, 9: 223-254.
- Çatalkılıç, D. (2021). Symbolic formation of the collective identity of uzunyayla Circassian: 21 May 1864 (Turkish, Abstract in English), *Pamukkale Uni. J. Soc. Sci. Inst.*, (47): 61-73.
- Behbahani, I.H., Pouya, S., Pouya, S., Demir, S. (2013). Memorial garden design with the use of symbolic receptions of the plants. Proceedings, *Int. Conf. on Civil Eng. Arch. and Urban Sust. Dev.*, 18-19 December 2013, Tabriz, Iran, pp. 18-19.
- Bulat, M., Bulat S. (2016). An essay on Sarıkamış martyrdom of arm made with soldiers monument in memory of sculpture, (Turkish, Abstract in English), *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4 (22): 1-16.
- Carr, S., Francis, M., Rivlin, N., Stone, A. (1992). *Public Space*. Cambridge University Pres, NY, 420p.
- Cho, H. (2012). Hiroshima peace memorial park and the making of Japanese postwar architecture. *J. Arch. Edu.*, 66(1), 72-83.
- Cooper-Marcus, C., Wischemann, T. (1987). Outdoor spaces for living and learning, *Landscape Architecture*, 78: 54-61.
- Dascălu, D. M. (2011). Landscape effects of urban furniture textures. *Bulletin UASVM Horticulture*, 68(1), 324-331.
- Demir, S., Pouya, S., Demirel, Ö. (2016). Analysis of some memorial gardens in terms of landscape design principles, (Turkish, Abstract in English), *Süleyman Demirel University J. Arch. Sci. & Appl.*, 1(1), 12-25.
- Doğanay, G. (2015). Collective identity built on memories: exile of 21 May 1864 and Circassians in Turkey, *Turkish Studies*, Int. Per. Lang., Lit. and History of Turkish or Turkic, 10(10): 361-380.
- Francis, M. (2001). A case study method for landscape architecture. *Landscape journal*, 20(1), 15-29.
- Francis, M. (2003). Urban Open Space: Designing for User Needs. *Land and Community Design Case Study Series*. Island Press, Washington, D.C.
- Gkoltsiou, A., Paraskevopoulou, A. (2021). Landscape character assessment, perception surveys of stakeholders and SWOT analysis: A holistic approach to historical public park management. *J. Out. Rec. & Tourism*, 35, 100418.
- İnan, Z. (2011). Design of urban open spaces for user needs. *Artvin Coruh University J. Forestry Fac.*, 9(1), 12-23.
- Kwon, J. W., Park, C. Y. (2014). A study on the landscape plan to the Cheongdo Saemaoul movement memorial park. *J. Korean Society of Rural Planning*, 20(3), 179-189.
- Oleksiichenko, N., Gatalaska, N., Mavko, M. (2018). Theoretical and methodological principles of memorial parks three-dimensional composition and ideological lines expressing means complex assessment. *Sci. J. Landscape Architecture and Art*, 12(12), 22-32.
- Oral, B. (2017). Zonguldak ve Karabük kentlerindeki anıt heykellerde işçi temsili, *ERDEM İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi (Turkish)*, 73: 111-148.
- Şengünel, C. (2020). Transformation of sculpture into a political image: Example of the Arburg monument, (Turkish, Abstract in English), *Int. J. Cult. & Social Studies*, 6(2): 816-826.
- Şahin, C. (2016). Circassian migrations and Circassians' quest to acquire homeland in Anatolia: The case of Sakarya-Maksudiye village, *J. Human & Social Sci. Res.*, 5 (8): 2782-2816.
- URL-1. Heritage Conservation Terminology, http://ip51.icomos.org/~fleblanc/documents/terminology/doc_terminology_e.html, Accessed: 11.04.2022.
- URL-2. Göksun Belediyesi, <https://www.goksun.bel.tr/sayfa.asp?id=56>, Accessed: 11.04.2022.
- URL-3. Maraştanhaber, <https://www.marastanhaber.com.tr/kahramanmarastan-surgun-aniti-ve-meydan-aciliyor-54547h.htm>, Accessed: 11.04.2022.



Learning Optimized Patterns of Software Vulnerabilities with the Clock-Work Memory Mechanism

Canan Batur Şahin^{1*}

^{1*} Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID:0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

(First received 9 August 2022 and in final form 18 September 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1159875)

ATIF/REFERENCE: Şahin, B. C. (2022). Learning Optimized Patterns of Software Vulnerabilities with the Clock-Work Memory Mechanism. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 156-165.

Abstract

It is possible to better provide the security of the codebase and keep testing efforts at a minimum level by detecting vulnerable codes early in the course of software development. We assume that nature-inspired metaheuristic optimization algorithms can obtain “optimized patterns” from vulnerabilities created in an artificial manner. This study aims to use nature-inspired optimization algorithms combining heterogeneous data sources with the objective of learning optimized representations of vulnerable source codes. The chosen vulnerability-relevant data sources are cross-domain, involving historical vulnerability data from variable software projects and data from the Software Assurance Reference Database (SARD) comprising vulnerability examples. The main purpose of this paper is to outline the state-of-the-art and to analyze and discuss open challenges with regard to the most relevant areas in the field of bio-inspired optimization based on the representation of software vulnerability. Empirical research has demonstrated that the optimized representations produced by the suggested nature-inspired optimization algorithms are feasible and efficient and can be transferred for real-world vulnerability detection.

Keywords: Feature Selection, Nature-inspired Algorithm, Optimization, Representation learning, Software Vulnerability.

Saat-Hafıza Mekanizması ile Yazılım Güvenlik Açıklarının Optimize Edilmiş Örüntülerini Öğrenme

Öz

Yazılım geliştirme sürecinin başlarında hassas kodları belirleyerek kod tabanının güvenliğini daha iyi sağlamak ve test çabalarını minimum düzeyde tutmak mümkündür. Doğa esinli üstsezgisel optimizasyon algoritmalarının yapay bir şekilde meydana getirilen güvenlik açıklarından “optimize edilmiş örüntüler” elde edebileceğini düşünüyoruz. Bu çalışma, heterojen veri kaynaklarını hassas kaynak kodlarının optimize edilmiş gösterimlerini öğrenme hedefiyle birleştiren doğa-esinli optimizasyon algoritmalarını kullanmayı amaçlamaktadır. Seçilen güvenlik açığı ile ilgili veri kaynakları alanlar arası kaynaklar olup, farklı yazılım projelerine ait geçmiş güvenlik açığı verilerini içeren Yazılım Güvencesi Referans Veritabanı'nın (YGRV) sağladığı verileri kapsar. Bu makalenin temel amacı, son teknolojinin ana hatlarını çizmek ve yazılım güvenlik açığının gösterimine dayalı biyo-esinli optimizasyon alanındaki en ilgili alanlara yönelik mevcut zorlukları analiz etmek ve tartışmaktır. Ampirik araştırmalar, önerilen doğa esinli optimizasyon algoritmaları tarafından üretilen optimize edilmiş gösterimlerin uygulanabilir ve etkin olduğunu ve gerçek dünyadaki güvenlik açığı tespiti için kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Öznitelik Seçimi, Doğa-Esinli Algoritmalar, Optimizasyon, Gösterim Öğrenimi, Yazılım Güvenlik Açığı.

* Corresponding Author: canan.batur@gmail.com

1. Introduction

Software vulnerabilities make up security risks for software systems with increasing importance, utilized to attack and damage systems [17]. Managing security in cyberspace must be inspired by systems with advanced complexity. In the process of evolution, natural propensities in complex systems (e.g., plants and animals), enabling survival by adaptation, have been developed by nature.

Algorithms inspired by nature represent population-based metaheuristics inspired by various natural phenomena. Over a very long time, nature has evolved to bring about intelligent behavioral properties and biological phenomena, in which self-learning, adaptability, efficiency, and robustness allow biological agents to undertake complex tasks. Generally, it is possible to categorize nature-inspired algorithms as swarm intelligence and evolutionary algorithms. Natural swarms, e.g., ant colonies, flocks of birds, and schools of fish, are simulated by swarm intelligence algorithms. Cuckoo Search (CS), Multi-Verse Optimizer (MVO), Grey Wolf Optimizer (GWO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Moth-flame optimization (MFO), Firefly Algorithm (FFA), Bat Algorithm (BAT), etc. can be listed among the current swarm intelligence algorithms. The majority of the swarm intelligence algorithms obtain the best solution as a result of information exchange between individuals in the swarm.

A number of evolution and natural selection-related concepts in the Darwinian theory have inspired evolutionary-based algorithms. Evolution Strategy (ES), Genetic Programming (GP), and Genetic Algorithm (GA) are among the mentioned algorithms. The algorithms in question employ various strategies for evolving and find good solutions for challenging problems on the basis of evolutionary operators, such as crossover, elitism, and mutation.

As problems become more complex, novel optimization techniques are needed more over the last few decades. This paper presents a simple but powerful modification to the standard Recurrent Neural Network (RNN) architecture, the Clock-work RNN (CW-RNN) with nature-inspired algorithms. Clock-work memory, with the hidden layer divided into modules, makes computations only at its prescribed clock rate. Here, the long-term dependent optimized patterns are captured for each metaheuristic algorithm, with various sections (modules) of the RNN hidden layer operating at various clock periods.

In the current work, we further research the representation learning capability of clever algorithms by learning vulnerable patterns from vulnerability-relevant data sources. It is hypothesized that the source for learning optimized vulnerable code patterns must not be restricted to the historical vulnerability data source that involves real-world software projects. Furthermore, it is necessary that a vulnerability-relevant data source that involves artificial vulnerability samples is utilized as a vulnerability knowledge base.

Our research framework investigates the representation learning capability of clever algorithms based on clock-work memory in order to automatically extract high-level optimized representations, indicating vulnerable patterns from vulnerable-relevant data sources.

The algorithms are compared for the collective extraction of beneficial information from real-world vulnerability data as well as from synthetic data sets to enhance the performance in detecting vulnerabilities. Each algorithm is trained by a historical vulnerability data source, which can be utilized as a feature extractor for producing optimized features that involve the vulnerable information learned from the vulnerability data source. First, meta-heuristic algorithms are fed by means of the vulnerability-relevant data sources above. Afterward, the trained meta-heuristic algorithms are utilized as feature extractors using the long-dependence mechanism of clock-work recurrent neural networks.

The data are fed to every trained meta-heuristic algorithm based on clock-work memory to acquire an optimized subset of vulnerability representations as features. Second, the learned optimized representations are combined as features by concatenating the representations. Three meta-heuristic algorithms were utilized versus to its standard algorithms to predict vulnerabilities using optimized patterns as features.

The current work makes the following main contributions:

- □ The current work represents the first model, in which the long-term dependency is addressed by the Clock-work Recurrent Neural Network for software vulnerability detection problems using nature-inspired metaheuristic optimization algorithms.
- □□ In the study, the first deep learning-based vulnerability detection system was created with metaheuristic optimization algorithms, aiming to predict vulnerabilities with the aim of learning optimized software features.
- □ A novel hybrid framework is proposed, improving the detection capability of bio-inspired population-based heuristic approaches based on a clock-work memory for learning optimized patterns to extract the optimized features for detecting software vulnerable codes.
- □ Our framework's design is validated by conducting experiments, and it is shown that the usage of clock-work memory as optimized-feature representations and a separated classifier with the objective of training on the extracted features enhances the performance in detecting vulnerabilities.

The remaining part of the current work has the following organization. An explanation of the Material and methods is contained in Part 2. Part 3 describes the Proposed Model. Part 4 contains the Results and Discussion. Part 6 summarizes the conclusion and future research.

2. Material and Methods

The current part contains the background of the most frequently employed techniques in the literature.

2.1. Nature-Inspired Algorithms

In this part, the bio-inspired metaheuristic algorithms used are given as follows.

2.1.1. Moth-Flame Optimization (MFO)

In MFO, the natural behavior of the actual moth is mimicked. In accordance with the said theory, moths represent

solutions, and their spatial positions represent problem parameters. The best-acquired position (optimal position) by moths is kept in flames. The calculation of the primary MFO algorithm is performed as shown below:

$$MFO = (I, P, T) \quad (1)$$

where I refers to the function utilized for initializing a random moth population and their fitness values; P denotes the primary function moving moths around the search space; T represents the termination function returning true in case of satisfying the termination criterion; on the contrary, it returns false. In the main function P, the flames are updated the position of moths through the following equation:

$$M_i = D_i * e_{bt} * \cos(2\pi t) + F_j \quad (2)$$

Where M_i refers to moth i , and F_j denotes flame j^{th} , D_i refers to the distance between moth i and flame j , b represents a constant that defines the logarithmic spiral's shape, and t refers to a random number in $[-1, 1]$. The computation of D_i is made in the following way.

$$D_i = |F_j - X_i| \quad (3)$$

where D_i denotes the distance between moth i and flame j , F_j refers to flame j , and M_i refers to moth i .

The number of flames is computed based on Eq. 4:

$$\text{Flame number} = \text{round}(N - l * \frac{N-1}{T}) \quad (4)$$

Where N refers to the highest number of flames, l denotes the current flame number, and T refers to the highest number of iterations.

2.1.3. Particle Swarm Optimization (PSO)

Eberhart and Kennedy presented the PSO algorithm in 1995 [33]. In PSO, the solution to every optimization problem is a bird's position in the search space, named a "particle," whereas the problem's optimal solution refers to the corn field's position.

A brief summary of the main steps of the PSO algorithm is shown below:

Step 1: Initialize the parameters, including the particle swarm, position $X_i(t)$, and kinematic velocity $v_i(t)$ of particle i .

Step 2: Assess the fitness of the particle by means of the deployed fitness function.

Step 3: Update the optimal position and the velocity of all particles by utilizing equations (12) and (13).

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + \varphi_1 [p_{best} - x_i(t)] + \varphi_2 [g_{best} - x_i(t)] \quad (12)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (13)$$

The terms p_{bestid} represent the optimal positions of individual particles, while g_{bestid} refers to the swarm's optimal positions. ω denotes the inertia factor controlling the impact of the front velocity on the current velocity. t represents the current state of the swarm and particle.

φ_1 and φ_2 refer to social parameters.

Step 4: Repeat steps 2 and 3 until meeting the terminating conditions.

2.1.5. Firefly Algorithm (FFA)

In the said algorithm, the interaction of fireflies by means of their flashing lights is mimicked. The algorithm accepts that all fireflies are unisex, referring to the possibility of any firefly being attracted by any other firefly. There is a direct proportion between a firefly's attractiveness and its brightness, depending on the objective function. A brighter firefly will attract another firefly. Moreover, there is a decrease in brightness with distance according to the inverse-square law, as shown in Eq. (14):

$$I < \frac{1}{r^2} \quad (14)$$

In case of the light passing through a medium with a light absorption coefficient γ , it is possible to express the light intensity at a distance of r from the source, as displayed in Eq. (15):

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (15)$$

where I_0 represents the light intensity at the source. Likewise, it is possible to express the brightness, β , as shown in Eq. (16):

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (16)$$

A generalized brightness function for $\omega \geq 1$ is presented in Eq. (17). Actually, it is possible to use any monotonically decreasing function.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^\omega} \quad (17)$$

Concerning the brightest firefly, it will do a local search by moving in a random way in its neighborhood. Therefore, in case of two fireflies, if firefly j has higher brightness compared to firefly i , then firefly i will move in the direction of firefly j by utilizing the updating formula in Eq. (18):

$$x_i := x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^2} (x_j - x_i) + \alpha(\epsilon() - 0.5) \quad (18)$$

where β_0 represents the attractiveness of x_j at $r = 0$, and $\beta_0 = 1$ for implementation, γ refers to an algorithm parameter determining the degree at which the updating process depends on the distance between the two fireflies, α denotes an algorithm parameter for the random movement's step length, and $\epsilon()$ represents a random vector from a uniform distribution with values in the range of 0 and 1.

The said updates of the fireflies' position continue with iteration until meeting a termination criterion.

3. The Proposed Method

Bio-inspired computing is an active area due to its nature, solving numerous real-world problems.

3.1. Problem Formulation and Representation

It was accepted that every data was expressed as $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, where n represents the data sample's length, and training data have a corresponding target value of vulnerable or not

vulnerable, which is defined in software vulnerability models. Every candidate solution is expressed with a length n , in which n refers to the total number of features.

3.2. Fitness function

The fitness function is employed with the objective of showing the quality of each candidate optimized pattern. The fitness of a candidate solution of each nature-inspired algorithm is proportional to the classification error rate of the model.

It is possible to consider the optimized pattern with the minimum values of fitness for vulnerabilities as the most representative example of a vulnerability population. The algorithms' fitness function was calculated in line with the classifier equation's error rate.

3.2. Methodology

The objective of the current work is to enhance the effectiveness of meta-heuristic algorithms with the Clock-work memory mechanism for predicting software vulnerabilities. The optimized software patterns that are the most appropriate for vulnerability prediction in software systems were obtained. To date, no strategy or idea has been adopted on the Clock-Work memory mechanism-based metaheuristic algorithms for vulnerability detection problems. Reasoning about processes at multiple time scales is facilitated by Clock-Work RNN (CW-RNN) models, making calculations only at the prescribed clock rate. Neurons of various modules are connected on the basis of the modules' clock periods [23].

In the CW-RNN, the speed of the clocks is the same all the time, but sometimes they run at a slower speed and sometimes at a faster one. At every CW-RNN time step t , only the outputs of module i satisfying $(t \text{ MOD } T_i) = 0$ are active. It is arbitrary to choose the set of periods $\{T_1, \dots, T_g\}$. In the present work, the exponential series of periods is utilized; the i^{th} module has a clock period of $T_i = 2^{i-1}$. In the proposed framework, each metaheuristic algorithm's metadynamics uses the clock-work memory mechanism as a logging function for the optimized best candidate patterns. For each heuristic algorithm, the information is aggregated from generations using a clock-work memory logged mechanism based on time scales.

In this paper, Max_iter , lb , ub , dim and $SearchAgents_no$, $Vmax$, $PopSize$, $wMax$, $wMin$, $c1$, $c2$, $number\ of\ fireflies$, WEP_Max , and WEP_Min parameters for metaheuristic algorithms are set to the values 1000, -150, +150, 25, 30, 10, 100, 0.9, 0.2, 3, 3, 100, 1 and 0.2 respectively. CW-RNN separates the hidden recurrent units into 10 g modules, each runs their own computation at specific, hidden layer units as 32, 64 and 128 rates.

The explanation of the general experimental methodology is presented in Algorithm 1, designed based on the each baseline metaheuristic algorithms.

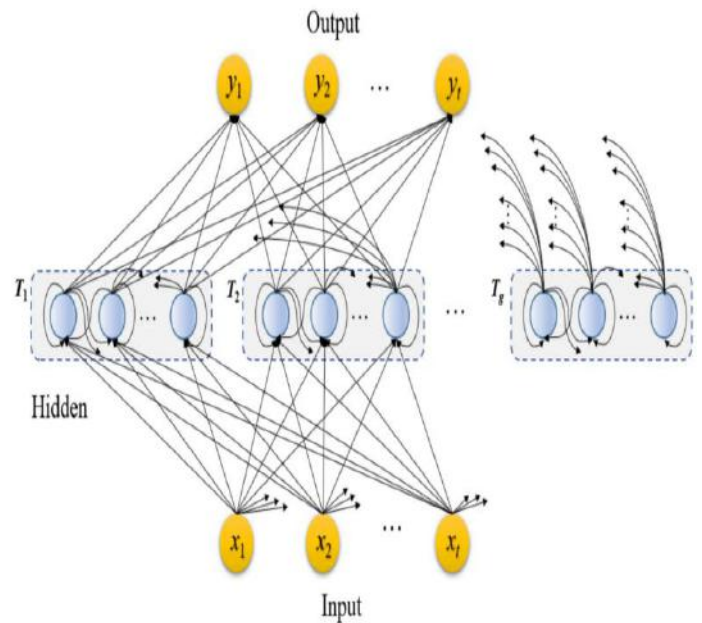


Figure 1: Architecture of the Clock-Work Recurrent Neural Network [4]

4. Results and Discussion

The algorithms' experimental performances in detecting vulnerabilities are described in the present part in order to indicate the efficiency of the compared algorithms.

4.1. Data Collection

The data source includes vulnerable and non-vulnerable functions from the 6 open-source projects, such as LibTIFF, Pidgin, FFmpeg, LibPNG, Asterisk, and VLC media player. The vulnerability labels were acquired from the National Vulnerability Database (NVD) [13] and the Common Vulnerability and Exposures (CVE) [14] websites. The algorithms are designed for the collective extraction of beneficial information from real-world vulnerability data sets in order to enhance vulnerability detection performance. The Word2vec [1] model is used in the embedding layer of the Clock-Work Recurrent Neural network for converting input sequence to meaningful embeddings.

Algorithm 1. Pseudo-code of the proposed Clock-Work Memory Mechanism

Input : Set of vectors of vulnerable code : $X = [X_1, X_2, \dots, X_N]$

Output : Set of optimized best patterns: $S_{best} = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$;

BEGIN

Step 1: {Initialize Metaheuristic Algorithms' parameters}

Step 2: [1,2,...N] Initialize the solutions' positions randomly.

Step 3: Calculate the fitness of each search agent

Step 4: For each iteration, do:

Step 4.1: [Train Clock-Work Network]

Step 4.1.1: For each search agent do:

Step 4.1.2: update the position of each current search agent

Step 4.1.3: Hidden dimensions are updated in groups at time period clock rates.

Step 4.1.4: create the clock-work memory based on time scales {T1, . . . ,Tg} for each optimized search agents (candidate solutions)

Step 4.1.5: Calculate the fitness of each search agents

Step 4.1.6: END For

Step 4.1.7: [END Train Clock-Work Network]

Step 5: END For

Step 6: Add List optimized best search agents stored in clock-work memory

Step 7: END For

Step 8: END

4.2. Results

In Tables 2-7, we compared the performances of the standard and improved heuristic algorithms for detecting vulnerabilities based on the LibTIFF, FFmpeg, Pidgin, LibPNG, Asterisk, and VLC media Player datasets. The results demonstrate that the Asterisk dataset displayed the best performance with a 0.010543 error rate for hidden layer unit 128 and Test F5, based on CW-MFO algorithm, compared to the other vulnerability datasets. Nevertheless, according to the results, worst error rate performance was found in the FFmpeg dataset with 0.0828 error rate for hidden layer units 32 and Test F1 based on CW-PSO algorithm. In point of other datasets, it was observed that the improved algorithm achieved the highest performance results in the Asteriks, LibPNG, VLC media player, LibTIFF, FFmpeg and Pidgin data sets, respectively.

The statistical performance of the improved CW-PSO model outperformed worst results than the other improved algorithms for all datasets. It was observed that the CW-MFO and CW-FFA models generally gave close results than CW-PSO algorithm. In Table 7, there is generally observation about dramatic change for improved algorithms especially for CW-MFO algorithm based on Test F5.

All experimental results show the low-hidden layers process, retain and output the high error rate results, whereas the high-hidden layers focus on the local, high frequency information having the low error-rate performances, generally. Also, improved heuristic algorithms gave better results than the standard heuristic algorithms.

Table 1. Dataset

Data source	Data source/Collection	#of functions used/Collected	
		Vulnerable	Non-Vulnerable
Real-world Open Sources	FFmpeg	213	5701
	LibTIFF	96	731
	LibPNG	43	577
	Pidgin	29	8,050
	VLC Media Player	42	3,636
	Asteriks	56	14,648

Table 2. Error Rate of compared Algorithms for FFpmeg Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.067895	0.05219	0.0878	0.0828	0.05435	0.0519
	64	0.055744	0.04534	0.074677	0.07105	0.05096	0.04813
	128	0.051643	0.041250	0.068755	0.065856	0.043535	0.040631
Test F2	32	0.05896	0.046725	0.0733456	0.070673	0.048954	0.045455
	64	0.05357	0.045909	0.072245	0.069109	0.04563	0.043768
	128	0.051346	0.044105	0.06775	0.06496	0.04085	0.03912
Test F3	32	0.063245	0.05593	0.072467	0.06714	0.053563	0.050874
	64	0.0608543	0.05334	0.069483	0.065003	0.05134	0.049392
	128	0.058643	0.051325	0.06643	0.066585	0.049753	0.047466
Test F4	32	0.063134	0.053368	0.064837	0.063464	0.047536	0.042789
	64	0.060563	0.051345	0.061864	0.059202	0.045636	0.0408238
	128	0.059533	0.047762	0.065355	0.061543	0.043543	0.0417463
Test F5	32	0.0657843	0.054567	0.077544	0.07321	0.055323	0.052574
	64	0.060424	0.055216	0.07343	0.072464	0.054636	0.054813
	128	0.055733	0.051784	0.07134	0.070567	0.054552	0.052762

Table 3. Error Rate of compared Algorithms for LibTIFF Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.053245	0.05065	0.08197	0.07903	0.051865	0.050619
	64	0.048498	0.04371	0.076539	0.07353	0.049689	0.04725
	128	0.045355	0.040576	0.073256	0.071326	0.046874	0.045327
Test F2	32	0.047841	0.043642	0.06758	0.066436	0.045577	0.04454
	64	0.046524	0.041532	0.065737	0.063431	0.043356	0.041953
	128	0.042452	0.0403526	0.061546	0.060672	0.04087	0.0396304
Test F3	32	0.058643	0.0547213	0.065864	0.063255	0.053573	0.052359
	64	0.053547	0.052932	0.062568	0.061873	0.0508563	0.0495356
	128	0.054564	0.055164	0.064357	0.06232	0.048659	0.046534
	32	0.056432	0.053236	0.05978	0.061245	0.043566	0.040764

Test F4	64	0.055323	0.050764	0.061379	0.06327	0.0436789	0.04157363
	128	0.05075	0.0498327	0.064781	0.06048	0.0408765	0.03870357
	32	0.0545634	0.052354	0.075468	0.07255	0.0535667	0.05074732
Test F5	64	0.052434	0.0515946	0.072357	0.070732	0.0525608	0.05189543
	128	0.0514789	0.0480953	0.071479	0.07067	0.054672	0.0529764

Table 4. Performance of Algorithms for LibPNG Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Improved Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.043688	0.037846	0.064325	0.059636	0.048543	0.0419016
	64	0.041252	0.034247	0.062356	0.0634652	0.0456364	0.0425733
	128	0.034673	0.030421	0.06244	0.060678	0.041356	0.0389311
Test F2	32	0.037576	0.036674	0.069086	0.067632	0.0464675	0.0419644
	64	0.034632	0.033755	0.065746	0.062474	0.0446631	0.0407453
	128	0.033525	0.0310357	0.063563	0.06072	0.0408334	0.038647
Test F3	32	0.053356	0.050533	0.066576	0.061467	0.057982	0.0517858
	64	0.050734	0.0480536	0.06446	0.06345	0.0515674	0.0508432
	128	0.049874	0.0470734	0.062355	0.061478	0.052578	0.0496433
Test F4	32	0.053694	0.051346	0.060843	0.058532	0.0547683	0.0406532
	64	0.052596	0.0490645	0.057574	0.053547	0.042675	0.0396542
	128	0.048464	0.0436875	0.054356	0.052724	0.039868	0.0379432
Test F5	32	0.045746	0.041795	0.064632	0.061456	0.0489554	0.045363
	64	0.046467	0.043245	0.062456	0.0608432	0.044678	0.0424842
	128	0.04635	0.0410643	0.059641	0.0579533	0.043678	0.0408426

Table 5. Performance of Algorithms for Pidgin Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.061567	0.053467	0.059064	0.057532	0.057458	0.053573
	64	0.058642	0.0504323	0.055798	0.054685	0.055742	0.0547894
	128	0.053567	0.049736	0.052356	0.051894	0.052345	0.050543
	32	0.049732	0.048643	0.072533	0.068954	0.051546	0.0469755

Test F2	64	0.043467	0.043562	0.067843	0.065764	0.047545	0.0445784
	128	0.044315	0.041374	0.060985	0.060745	0.045643	0.043665
	32	0.054178	0.051456	0.065736	0.063563	0.057535	0.0526674
Test F3	64	0.049746	0.046975	0.065743	0.061345	0.054356	0.050853
	128	0.055464	0.050753	0.0608345	0.059043	0.050786	0.0470532
	32	0.059754	0.0565732	0.061356	0.060643	0.044635	0.0414678
Test F4	64	0.055548	0.052457	0.058535	0.055356	0.043534	0.0390654
	128	0.054356	0.051473	0.057097	0.056894	0.039643	0.0357547
	32	0.060532	0.052466	0.070643	0.06895	0.054244	0.050746
Test F5	64	0.058743	0.050754	0.067843	0.0613456	0.052442	0.051467
	128	0.0524553	0.0517577	0.058546	0.056733	0.048433	0.045783

Table 6. Performance of Algorithms for VLC Media Player Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.046535	0.042784	0.059646	0.051643	0.0485321	0.042466
	64	0.043586	0.040643	0.048643	0.043677	0.0445632	0.040854
	128	0.040621	0.038975	0.043678	0.039864	0.038743	0.034677
Test F2	32	0.048432	0.0428478	0.050749	0.045633	0.458952	0.409847
	64	0.045355	0.038724	0.048695	0.043253	0.4324535	0.3764345
	128	0.041245	0.033859	0.046784	0.040932	0.035652	0.0318563
Test F3	32	0.054355	0.050863	0.053563	0.0568732	0.0542454	0.04853
	64	0.051234	0.048762	0.048676	0.0513456	0.0472312	0.0436275
	128	0.054234	0.041456	0.055563	0.0508732	0.046343	0.04146
Test F4	32	0.056345	0.048725	0.0497642	0.0425643	0.043522	0.0379464
	64	0.052355	0.046832	0.044774	0.040826	0.363587	0.309825
	128	0.05352	0.0425736	0.047324	0.0386754	0.045673	0.0369378
Test F5	32	0.055354	0.0508373	0.045642	0.045763	0.056732	0.050745
	64	0.050743	0.0482895	0.041433	0.0423455	0.053429	0.048725
	128	0.047842	0.046356	0.043566	0.040824	0.048563	0.045256

Table 7. Performance of Algorithms for Asteriks Dataset

Test Benchmark	Hidden Layer units	Algorithms					
		MFO	CW-MFO	PSO	CW-PSO	FFA	CW-FFA
Test F1	32	0.0386432	0.034264	0.054673	0.049827	0.3535783	0.32656
	64	0.035635	0.033653	0.049834	0.0478956	0.036732	0.03368
	128	0.031853	0.0308576	0.045636	0.0412345	0.037433	0.031464
Test F2	32	0.045356	0.038044	0.037982	0.0331075	0.048532	0.0406234
	64	0.0406437	0.0330852	0.034768	0.0315673	0.043525	0.0387542
	128	0.0376324	0.030822	0.031242	0.030827	0.036742	0.0320483
Test F3	32	0.0335663	0.029840	0.032784	0.0274567	0.040873	0.0334556
	64	0.032566	0.027094	0.029842	0.025633	0.0345625	0.0315732
	128	0.028643	0.023635	0.025345	0.0234522	0.025732	0.0245614
Test F4	32	0.034564	0.0247847	0.0286734	0.025784	0.031876	0.0229540
	64	0.034245	0.0235723	0.030742	0.027733	0.027832	0.02084563
	128	0.029632	0.0168767	0.027633	0.022472	0.025353	0.018948
Test F5	32	0.030743	0.0146865	0.034724	0.0282444	0.038632	0.033565
	64	0.027435	0.0126784	0.033826	0.0245673	0.036535	0.030875
	128	0.022563	0.010543	0.024242	0.020743	0.027633	0.022456

5. Conclusion

This paper provides software vulnerability detection by defining a workflow for the learning of optimized feature representations for vulnerability detection by nature-inspired metaheuristic optimization algorithms. The current study researches a new architecture for vulnerability detection and prediction tasks with the clock-work memory mechanism, which operates at different hidden layer units, with nature-inspired algorithms to optimize patterns of software vulnerabilities. According to the findings acquired, the proposed algorithm performs well in terms of the detection rate of the optimized patterns.

Future studies may include semantic representation generation techniques to explore whether these methods can produce more effective optimized representations with more semantic information preserved to achieve improved vulnerability detection performance.

6. Acknowledge

The present paper does not include any research with human participants conducted by any of the authors.

References

- [1] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean, (2013) "Efficient estimation of word representations in vector space," arXiv preprint arXiv:1301.3781.
- [2] Shi, Y., Wang, Y., & Zheng, H. (2022). Wind Speed Prediction for Offshore Sites Using a Clockwork Recurrent Network. *Energies*, vol.15, no. 3, 751.
- [3] J. Koutnik, K. Greff, F. Gomez, J.Schmidhuber. (2014) A Clockwork RNN," *Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning, PMLR vol.32, no. 2, pp. 1863-1871.*
- [4] Khurma, R.A., Aljarah, I., Sharieh, A.A., & Mirjalili, S.M. (2019). *EvoPy-FS: An Open-Source Nature-Inspired Optimization Framework in Python for Feature Selection. Algorithms for Intelligent Systems.*
- [5] Ö. B. Dinler, C. B. Şahin, (2021) Prediction of phishing web sites with deep learning using WEKA environment, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 24, pp. 35-41, 2021. doi:10.31590/ejosat.901465.

- [6] Guha, R., Chatterjee, B., Khalid Hassan, S.K., Ahmed, S., Bhattacharyya, T., & Sarkar, R. (2021). Py_FS: A Python Package for Feature Selection Using Meta-Heuristic Optimization Algorithms. *Computational Intelligence in Pattern Recognition*.
- [7] Abu Khurma, R., Aljarah, I., Sharieh, A.A., Abd Elaziz, M., Damaševičius, R., & Krilavičius, T. (2022). A Review of the Modification Strategies of the Nature Inspired Algorithms for Feature Selection Problem. *Mathematics*.
- [8] Xue, B., Zhang, M., Browne, W.N., & Yao, X. (2016). A Survey on Evolutionary Computation Approaches to Feature Selection. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20, 606-626.
- [9] A. Ulah, C. B. Şahin, O. B. Dinler, M. H. Khan, (2021) Heart Disease Prediction Using Various Machines Learning Approach, *Journal of Cardiovascular Disease Research*, vol. 12,no.3,pp.379-391. doi:10.31838/jcdr.2021.12.03.58.
- [10] Li Z., et al., (2019). VulDeePecker: A Deep Learning-Based System for Vulnerability Detection, Cryptography and Security, Doi: 10.14722/ndss.2018.23158.
- [11] Singh S.K., Chaturvedi A., (2020). Applying Deep Learning for Discovery and Analysis of Software Vulnerabilities: A Brief Survey, *Soft Computing: Theories and Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1154. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4032-5_59.
- [12] Batur Dinler, Ö. , Batur Şahin, C. & Abualigah, L. (2021). Comparison of Performance of Phishing Web Sites with Different DeepLearning4J Models . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS) , pp. 425-431 . DOI: 10.31590/ejosat.1004778*.
- [13] Al-Tashi, Q., Abdulkadir, S.J., Rais, H.M., Mirjalili, S.M., & Alhussian, H. (2020). Approaches to Multi-Objective Feature Selection: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 8, 125076-125096.
- [14] Şahin C. B., and Dirı B., (2019). Robust Feature Selection with LSTM Recurrent Neural Networks for Artificial Immune Recognition System, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 24165-24178, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2900118.
- [15] Batur Şahin C., Batur Dinler Ö., Abuagilah L. (2021). Prediction of software vulnerability-based deep symbiotic genetic algorithms: Phenotyping of dominant-features, *Applied Intelligence*, doi: 10.1007/s10489-021-02324-3.
- [16] <https://nvd.nist.gov/>
- [17] <https://cve.mitre.org/>
- [18] Kihel, B.K., & Chouraqui, S. (2019). Firefly Optimization Using Artificial Immune System for Feature Subset Selection. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*.
- [19] Dökeroglu, T., Deniz, A., & Kiziloğlu, H.E. (2022). A comprehensive survey on recent metaheuristics for feature selection. *Neurocomputing*, 494, 269-296.
- [20] Liu, W., & Wang, J. (2019). A Brief Survey on Nature-Inspired Metaheuristics for Feature Selection in Classification in this Decade. *2019 IEEE 16th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 424-429.
- [21] Dökeroglu, T., Sevinç, E., Kucukyılmaz, T., & Cosar, A. (2019). A survey on new generation metaheuristic algorithms. *Comput. Ind. Eng.*, 137.
- [22] Houssein, E.H., Mahdy, M.A., Shebl, D., & Mohamed, W.M. (2021). A Survey of Metaheuristic Algorithms for Solving Optimization Problems. *Metaheuristics in Machine Learning: Theory and Applications*.
- [23] Şahin C. B., (2021). DCW-RNN: Improving Class Level Metrics for Software Vulnerability Detection Using Artificial Immune System with Clock-Work Recurrent Neural Network, *International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications 2021 (INISTA'21)*, pp. 1-8, doi: 10.1109/INISTA52262.2021.9548609.
- [24] Meidani, K., Mirjalili, S., & Farimani, A.B. (2022). Online metaheuristic algorithm selection. *Expert Syst. Appl.*, 201, 117058.
- [25] Dinler Ö. B., Aydın N., (2020). An optimal feature parameter set based on gated recurrent unit recurrent neural networks for speech segment detection,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 4, pp. 1273, 2020. doi:10.3390/app10041273.
- [26] Hailat, M.M., Otair, M.A., Abualigah, L., Houssein, E.H., Şahin, C.B. (2021). Improving Automated Arabic Essay Questions Grading Based on Microsoft Word Dictionary. In: Kadyan, V., Singh, A., Mittal, M., Abualigah, L. (eds) *Deep Learning Approaches for Spoken and Natural Language Processing. Signals and Communication Technology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79778-2_2
- [27] Mirjalili, S. (Ed.). (2022). *Handbook of Moth-Flame Optimization Algorithm: Variants, Hybrids, Improvements, and Applications (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003205326>.
- [28] Laith Abualigah (2022). The Arithmetic Optimization Algorithm(AOA)<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/84742-the-arithmetic-optimization-algorithm-aoa>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved July 27, 2022.
- [29] Şahin C. B., Dinler Ö. B., & Abualigah, L. (2021). Analysis of Risk Factors in the Scope of Distributed Software Team Structure . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS) , 417-424 . DOI: 10.31590/ejosat.1004765*.
- [30] Abd Elaziz, M., Dahou, A., Abualigah, L. et al. (2021). Advanced metaheuristic optimization techniques in applications of deep neural networks: a review. *Neural Comput & Applic* 33, 14079–14099. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05960-5>.
- [31] Cihan, P. & Kalıpsız, O. (2016). Öğrenci Proje Anketlerini Sınıflandırmada En İyi Algoritmanın Belirlenmesi . *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, vol.8, no.1, pp.41-49. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbbmd/issue/22248/238831>



Öğretmenlerin Uzaktan Eğitim Algısı*

Selcuk Arabacı¹, Faruk Kardaş^{2†}

¹ Erzincan Binali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6094-7031), selcukarabaci@gmail.com

² * Erzincan Binali Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0900-7503), fkardas@erzincan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 29 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1095132)

ATIF/REFERENCE: Arabacı, S. & Kardaş, F. (2022). Öğretmenlerin Uzaktan Eğitim Algısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 166-174.

Öz

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının belirlenmesinin amaçlandığı araştırmada, Doğu Anadolu ilinde merkezde bulunan ve beş ayrı ortaokulda görevli öğretmenlerin uzaktan eğitim algıları incelenmiştir. Çalışma grubunu 201 öğretmenin oluşturduğu nicel türü araştırmada genel tarama modeli kullanılmıştır. Gök (2001) tarafından geliştirilen "Uzaktan Eğitim Algı Ölçeği" öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarını belirlemek için kullanılmış olup, ölçek için hesaplanan güvenirlik katsayısı ,90. olarak hesaplanmıştır. Araştırma neticesinde elde edilen verilere göre, ölçeğe ait "temel bakışa ilişkin algı" faktörüne yönelik öğretmenlerin algı düzeylerinin düşük, "kaynaklara erişim" faktörü ile "eğitim öğretimi planlama" faktörü ve ölçeğin bütününe yönelik algılarının orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Uzaktan eğitime yönelik öğretmenlerin algılarının değişkenler açısından incelendiğinde cinsiyet, öğretmenlik alanı, yaş, mesleki kıdem süresi ve teknoloji kullanım düzeylerine göre anlamlı bir farklılaşmanın oluşmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Algı, Eğitim, Uzaktan Eğitim, Doğu Anadolu

Teachers' Perception of Distance Education

Abstract

The study aimed to determine the perceptions of teachers about distance education and investigated the teacher perceptions of distance education, who work in five different secondary schools located in the Eastern part of Turkey. The general survey model, one of the qualitative research methods, was used in the present study, in which the study group consisted of 201 teachers. The "Distance Education Perception Scale" developed by Gök (2001) was used to investigate teachers' perceptions of distance education, and the reliability coefficient of the scale was calculated as .90. According to the data obtained at the end of the research, it was shown that the perception levels at the distance education perception scale were low compared to the teachers' perceptions of the basic view of distance education, and the perceptions of the access to resources factor, the educational planning factor and the whole scale were at moderate levels. It has been concluded that there is no significant difference in the variables of teachers' perceptions of distance education in terms of gender, department, age, professional experience and technology use levels.

Keywords: Distance Education, Education, Perception, Eastern Anatolia

* Bu makale Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 02.07.2021 tarih ve 22.4 sayılı kararı ile onaylanan Yüksek Lisans tezinden Üretilmiştir.

† Sorumlu Yazar: fkardas@erzincan.edu.tr

1. Giriş

Doğumdan itibaren başlayıp hayat boyunca devam eden eğitim, toplumların gelişmesinde önemli yeri olan bireylerin istenilen niteliklerde yetiştirilebilmesini sağlayan süreçtir. Günümüzde devletler eğitimin önemini çok iyi bir şekilde benimsemiş olarak, yaşam boyu devam eden bu süreçte meydana gelebilecek problemleri yok etmek ve insanların daha da nitelikli eğitim almalarını sağlamak için değişik yöntemleri bulma arayışına girmişlerdir (Ekici, 2003). İnsanoğlunun doğumundan itibaren kazanmış olduğu yetenek ve gizli güçlerin belirgin bir şekilde görülmesinde önemli etken olan eğitim, kişilerin daha güçlü, yapıcı, olgun ve yaratıcı olmasını sağlar (Alkan, 1987). Birçok tanımı yapılsa da eğitimin genel olarak kabul edilen tanımı bireyin yaşantısında kasıtlı olarak meydana getirdiği istendik davranış değişiklikleridir (Ertürk, 2013).

Sürekli olarak artan öğrenci sayısı, öğretmen ve öğretim elamanı sayısının istenilen sayıda olmaması, kişilerin hayatları boyunca öğrenme süreçlerinde değişik koşullarda ve farklı mekânlarda eğitim alma istekleri, eğitim kurumlarını özellikle pandemi salgınının yaşandığı süreçte farklı eğitim modellerini uygulamaya yöneltmiştir. Uzaktan öğrenme, çevrim içi eğitim, bilgisayar tabanlı eğitim gibi kavramlar bu yönelmelerin neticesinde meydana gelmiştir. İnternet, ses, uydu, grafik, video, bilgisayar gibi çoklu ortam teknolojileri ve aletleri kullanılarak eğitimin uzak mesafelerde bulunan bireylere sunulması uzaktan eğitimi ifade etmektedir (Demir, 2014). Eğitime her alanda yardım eden uzaktan eğitimin, katkı sağladığı desteğin ötesinde günümüzde örgün eğitime alternatif olma durumuna gelmiş olmakla birlikte önemi her geçen gün artmaktadır. Uzaktan eğitimin daha fazla tercih edilmesinin sebepleri arasında yer alan başlıca etkenler yazılımlar, zenginleştirilmiş içerikler ve içeriklerin uygulanması için geliştirilen yönetim sistemleridir. Öğrenciler ve öğretmenler günümüzde bu etkenleri çok rahat bir şekilde kullanabilmektedirler (Elmas vd., 2008).

Uzaktan eğitim ilk olarak 1728 yılında posta yoluyla yapılmaya başlamış, günümüzde ise hızlı bir şekilde gelişen teknolojinin sayesinde daha nitelikli, video konferans ve internet aracılığıyla uygulanmaktadır (İşman, 2011). Mektup aracılığıyla Stenografî derslerine ait reklamların 1728 yılında Boston Gazetesinde yayınlanmıştır. Avustralya'da yer alan Queensland Üniversitesi 1890'lı yıllarda kampüs dışarısında uzaktan eğitim programı uygulamıştır. Columbia Üniversitesi 1920'de uzaktan eğitim gerçekleştirmiştir. 1930'lerde radyo bir okul tarafından uzaktan eğitim için kullanılmıştır. 1950'lerde ise Amerika'da askerlerin eğitimlerinde kâğıt tabanlı iletişimden faydalanılmasıyla uzaktan eğitim uygulanmıştır (NEA, 2000). Türkiye'de eğitim kurumlarının karşılaştıkları sorunlara çözüm bulmaya çalıştıkları dönemde mektupla öğretimin çözüm aracı olarak devreye girmiş ve 1927 yılında uzaktan eğitim için ilk adım atılmıştır. Yabancı dil eğitiminde ve mesleki eğitimde 1950'li yıllarda uzaktan eğitim özendirilmiş ve Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu'nun (TRT) yayına başlaması ile birlikte bu kurumdan uzaktan eğitim faaliyetleri için yararlanılmıştır. Anadolu Üniversitesi bünyesinde 1982 yılında kurulan Açık Öğretim Fakültesinin 1982 yılında kurulması ile birlikte 1990'lı senelerde üniversitelerimizde internet üzerinden uzaktan eğitim faaliyetleri başlamıştır (Balaman ve Tiryaki, 2021).

Tüm dünyada etkisini gösteren Covid -19 salgını Türkiye'de etkisini ilk kez 11 Mart 2020'de göstermiş, 16 Mart 2020'de salgın sebebiyle Ülkemizde tüm eğitim kurumlarında eğitim

öğretime ara verilmiştir. Salgın sürecinde 25 milyona yakın öğrenci eğitim faaliyetlerinden etkilenmiştir. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) ile birlikte Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) hızlı karar alarak uzaktan eğitim faaliyetlerini başlatmıştır (Delen, 2021). MEB bu süreçte, öğretmen ve öğrencilerin uzaktan eğitim faaliyetlerinden yararlanabilmeleri ve gereksinimlerini karşılaması için Eğitim Bilişim Ağı'nı (EBA) içerik bakımından zenginleştirerek tüm dünyanın kullanabileceği en büyük eğitim platformu haline getirmiştir (Aktay ve Keskin, 2016).

Uzaktan eğitimin paydaşlarını oluşturan öğretmenler, öğrenciler, okul yöneticileri, destek sağlayan personeller, içerik hazırlayan uzman kişiler ve veliler oluşturmaktadır. Öğretmenlerin, öğrenme ortamının ilk uygulayıcısı ve temsilci olması sebebiyle uzaktan eğitime açık olması başarılı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Öğretmen uzaktan eğitimde dersin verilmesi aşamasında, dersin öncesinde, ders esnasında ve dersin sonunda yapılması gereken bütün çalışmalardan sorumludur. Öğrenmenin gerçekleştiği ortamlarda alana yönelik bilgi ve iletişim kurma becerileri geleneksel eğitimde öğretmen açısından yeterli olurken, uzaktan eğitimde öğretmenlerin bu becerilerin yanısıra sahip olması gereken yeterlikler ve beceriler vardır. Öğretmenin özellikle teknoloji ile olan ilişkisi ve ilgisi uzaktan eğitim için önem arz etmektedir. Öğretmenin uzaktan eğitim algısı, teknolojiye olan yakınlıktan olumlu etkilenirken, teknoloji karşı olan korkudan olumsuz bir şekilde etkilenmektedir (Başak ve Çakmak, 2020). Hızlı bir şekilde gelişen teknolojileri kullanma bakımından öğretim elemanlarının algıları, verilen hizmetin niteliğini ve öğrenci başarısını doğrudan etkilemektedir (Wingo vd., 2017). Harcanan zaman, iş yükünün fazla olması, ders esnasında yaşanan aksaklıklar gibi nedenlerden dolayı öğretmenlerin uzaktan eğitime yönelik algıları olumsuz yönde etkilenirken, esnek çalışma koşullarının sağlanması, teşvik edici faktörlerin olması, teknolojik desteklerin sunulması gibi durumlar ise uzaktan eğitime yönelik algıları olumlu yönde etkilemektedir. Öğretmenler, uzaktan eğitim için katkı sağlayacak teknolojileri öğrenmeli, bu teknolojileri tehdit olarak değil, eğitim sürecinde katkı sağlayan faktörler olarak düşünmelidirler (Garrison, 1993).

Alan yazın incelendiğinde; (Gündüz, 2013) yılında yapmış olduğu çalışmada 692 öğretmen adayının uzaktan eğitim algılarını belirlemeye yönelik olarak ölçek geliştirmiştir. Öğrencilerin eğitim gördükleri bölüm, sınıf düzeyi, cinsiyet, bilgisayar ve internete erişim imkânının olması değişkenlerinin yer aldığı ölçekte, elde edilen veriler neticesinde bu değişkenlerden cinsiyet, bilgisayar ve internete erişim imkanının olma durumları arasında anlamlı bir fark olmadığı, eğitim görülen bölüm ve sınıf düzeyi değişkenine göre anlamlı farklılık olduğunu belirtmiştir. (Erfidan, 2019), Balıkesir Üniversitesinde öğretim elemanları ile ders başlama ve bitiş zamanları ayrı olan ortak dersleri alan farklı bölümlerde 1.sınıfta öğrenim gören öğrencilerle derslerin uzaktan eğitim ile verilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Araştırma sonucu verilerine göre öğrencilerin %56,4 oranında uzaktan eğitimden kısmen memnun oldukları, öğretim elemanlarının görüşlerinde ise uzaktan eğitimin öğrenciler açısından genel dersler için uygun olmadığı, ancak ortak derslerin kullanımında memnun olduklarını ifade etmişlerdir. (Karaca vd. 2021) çalışmalarında Sinop iline bağlı, Boyabat ilçesinde farklı kademelerde görev yapan 242 öğretmen ile pandemi sürecinde eğitime ara verilmesi sebebiyle uzaktan eğitimin yarar algı düzeyi ve bu düzeylere bağlı olarak faktörleri incelenmişlerdir.

Araştırma verilerine göre uzaktan eğitim açısından öğretmenlerin yarar algı düzeylerinin orta düzeyde olduğu,

cinsiyet, meslekte geçirilen süreleri ve öğrenim düzeylerine göre anlamlı bir farklılaşmanın oluşmadığı görülmüştür. Görev yaptıkları okulun kademesine göre ise anaokulunda görev yapan öğretmenlerin lehine anlamlı farklılıklar oluştuğunu belirtmişlerdi. (Tabata ve Johnsrud, 2008) yaptıkları çalışmalarında öğretim üyelerinin uzaktan eğitime yönelik tutumlarını ve öğretim üyelerinin yeniliklere katılım düzeylerini belirlemek için anket uygulamışlardır. Araştırma verilerinin sonuçlarına göre uzaktan eğitimin başarısının belirlenmesinde öğretim üyelerine bağlı olduğu bunun için öğretim üyelerinin yenilikleri öğrenme ve uygulamada gerekli yeterliliğe sahip olması gerektiğini vurgulamışlardır. (Ross ve Klug, 1999) çalışmalarında eğitimcilerin lisans ve lisansüstü seviyesinde verilen dersler ile ilgili olarak uzaktan eğitime yönelik tutumlarını belirlemeye yönelik olarak yaptıkları ulusal anket verilerine göre, eğitimcilerin deneyimi ile birlikte uzaktan eğitimin uygun ve zor olma algılarına yönelik önemli faktör oluştuğu görülmüştür. Temel farklılıkların ise ankete katılan eğitimcilerin uzaktan eğitimde öğretim yönteminde olan rolü ve eğitimcilerin yaşı olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının hangi düzeyde olduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarında cinsiyetleri, öğretmenlik alanı, yaşları mesleki kıdem süresi ve teknoloji kullanım düzeyi bakımından anlamlı farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma sonunda, elde edilen verilerin ileride yapılacak olan çalışmalara katkı sunması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Grubu

Çalışmada nicel araştırma yöntemi olan genel tarama modeli tercih edilmiştir. Katılımcıların bir konu ile alakalı olan görüşlerini tespit etmek amacıyla kullanılan tarama modeli, diğer araştırmalara nazaran daha büyük ölçüde çalışma gruplarının yer aldığı modeldir (Büyüköztürk vd., 2008). Nitelik olarak betimsel olan çalışmada öğretmenlerin uzaktan eğitime yönelik algı düzeylerinin belirlenmesinde öğretmenlerin cinsiyetleri, öğretmenlik alanı, yaşları, mesleki kıdem süreleri ve teknoloji kullanma düzeyleri bakımından farklılıkların olup olmadığı incelenmiştir.

2.2. Veri toplama araçları

Araştırmada veri toplamak için Gök (2011) tarafından oluşturulan “Uzaktan Eğitim Algı Ölçeği” kullanılmıştır. Ölçeğin Cronbach alfa iç güvenilirlik katsayısı, 90 olarak hesaplanmış, üç faktörden oluşan ölçeğin faktörlerine yönelik Cronbach alfa iç güvenilirlik katsayıları ise uzaktan eğitime bakışa yönelik algı faktörü için 0,89 uzaktan eğitimde kaynaklara erişim faktörü için 0,81 ve uzaktan eğitim sisteminde planlama faktörü için 0,77 olarak hesaplanmıştır. İki bölümden oluşan ölçeğin birinci bölümde öğretmenlerin kişisel bilgileri, Öğretmenlik alanı, cinsiyet, Mesleki Kıdem süresi, yaş ve teknoloji kullanım düzeyi

ile ilgili bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümünde ise uzaktan eğitim ile ilgili düşüncelerin yer aldığı 20 soru yer almaktadır. Likert tipi olarak belirlenen düşünceler, Kesinlikle Katılmıyorum, Katılmıyorum, Kararsızım, Katılıyorum, Kesinlikle Katılıyorum olarak belirlenmiş, olumlu olan soru maddeleri için 1,2,3,4,5 şeklinde, olumsuz soru maddeleri için 5,4,3,2,1 olacak şekilde puanlama yapılmıştır.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeylerini yorumlayabilmek için ölçek maddelerinden alınan en yüksek puandan, en düşük puan çıkartılarak değerlendirme aralığına bölünmesi $(5-1) / 3$ ile ölçek değerlendirme aralık puanları ve değerlendirme düzeyleri şu şekilde belirlenmiştir:

- Değerlendirme aralığı 1,00-2,33 olduğunda değerlendirme kriteri düşük düzey,
- Değerlendirme aralığı 2,34- 3,66 olduğunda değerlendirme kriteri orta düzey,
- Değerlendirme aralığı 3,67- 5,00 olduğunda ise değerlendirme kriteri yüksek düzey olarak kabul edilmiştir.

Ölçeğin uygulanması esnasında öğretmenlere gerekli açıklamalar yapılmıştır. Araştırmada ölçek ile ilgili olarak araştırmanın neticesini etkileyen veriler çalışmaya dâhil edilmemiştir.

2.4. Verilerin Analizi

Verilerin analiz edilmesi için betimsel istatistiklerden aritmetik ortalama, standart sapma, yüzde ve frekans dağılımlardan yararlanılmıştır. Normallik testleri yapılmış bulunan çarpıklık ve basıklık değerleri Tabachnick ve Fidell'e (2012) göre belirlenen çarpıklık (Skewness) ve basıklık (Kurtosis) değerleri $(-1,5 - +1,5)$ aralığında olduğundan dağılımın normal dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Ayrıca varyansların homojenliği için Levene İstatistiği (Morgan vd., 2004) kullanılmıştır. Veriler bağımsız örneklem t testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Bu bölümde öğretmenlerin demografik özelliklerine ait frekans ve yüzdeliklerini belirtilen istatistik değerleri ile birlikte çalışma sonucunda elde edilen veri sonuçlarının yorumları yer almaktadır.

3.1. Öğretmenlerin Değişkenlere Göre Dağılımları

Öğretmenlerin, öğretmenlik alanı, cinsiyet, mesleki deneyim, yaş ve teknoloji kullanım düzeyi ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma Grubunu Oluşturan Öğretmenlerin Demografik Bilgileri (Table 1. Demographic Information of the Teachers Constituting the Working Group)

	Değişkenler	F	%
Öğretmenlik Alanı	Fen Bilimleri Öğretmeni	27	13,4
	Din Kültürü ve Ahlak Bilgisi Öğretmeni	28	13,9
	Bilişim Teknolojileri ve Yazılım Öğretmeni	6	3
	İngilizce Öğretmeni	17	8,5
	Sosyal Bilgiler Öğretmeni	22	10,9
	Matematik Öğretmeni	31	15,4
	Beden Eğitimi ve Spor Öğretmeni	12	6
	Türkçe Öğretmeni	34	16,9
	Rehberlik Öğretmeni	8	4
	Teknoloji ve Tasarım Öğretmeni	6	3
	Müzik Öğretmeni	6	3
	Görsel Sanatlar Öğretmeni	4	2
	Cinsiyet	Bayan	108
Erkek		93	46,3
Mesleki Kıdem Süresi	1-5 Yıl	48	23,9
	5-10 Yıl	72	35,8
	10-15 Yıl	36	17,9
	15-20 Yıl	23	11,4
	20 Yıl ve Üzeri	22	10,9
Yaş	20-25	8	4
	25-35	102	50,7
	35-40	52	25,9
	40 ve üzeri	39	19,4
Teknoloji Kullanım Düzeyi	Zayıf	21	10,4
	Orta	84	41,8
	İyi	60	29,9
	Çok İyi	36	17,9
Toplam		201	100

Tablo 1'deki veriler incelendiğinde araştırmaya katılan öğretmenlerin öğretmenlik alanı bakımından en fazla Türkçe Öğretmenleri %16,9 en az Görsel Sanatlar Öğretmenleri %2 olduğu, erkek öğretmenlerin % 53,7 Bayan öğretmenlerin %46,3 olduğu mesleki kıdem süresi bakımından en fazla 5-10 yıl arasında görev yapanların %35,8 en az 20 yıl ve üzeri görev yapanların %10,9 olduğu, öğretmenlerin yaşları bakımından ise çoğunlukla 25-35 yaş arasında olduğu %50,7 öğretmenler en fazla olarak orta düzeyde %41,8 teknoloji kullanımına sahip iken en az

ise zayıf düzeyde %10,4 teknoloji kullanım düzeyine sahip oldukları gözlenmiştir.

3.2. Öğretmenlerin Uzaktan Eğitim Algı Ölçeğine İlişkin Sonuçlar

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algı ölçeğinin tamamı ve ölçeğin alt faktörlerine ait algı düzeylerine yönelik ortalama verileri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2 Öğretmenlerin Uzaktan Eğitime Yönelik Algı Ortalamaları (Table 2 Average Perceptions of Teachers towards Distance Education)

Faktörler	N	\bar{x}	Ss
Temel Bakışa İlişkin Algı	201	2,26	,768
Kaynaklara Erişim	201	3,50	,707
Eğitim Öğretimi Planlama	201	3,64	,659
Uzaktan Eğitime Yönelik Algı Ortalamaları	201	2,98	,550

Tablo 2 incelendiğinde uzaktan eğitim algı ölçeğinin alt faktörlerine yönelik algı düzeyleri temel bakışa ilişkin algı faktörü için ($\bar{x}=2,26$), kaynaklara erişim faktörü için düzeyi ($\bar{x}=3,50$), eğitim öğretimi planlama faktörü için ($\bar{x}=3,64$) ve ölçeğin tamamı için algı düzeyinin ($\bar{x}=2,98$) olduğu görülmektedir. Öğretmenlerin uzaktan eğitim algıları cinsiyet değişkeni açısından bağımsız t- testi ile analiz edilmiş olup, veriler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3 incelendiğinde araştırmaya katılan erkek öğretmenlerin algılarının ($\bar{x}=2,96$) ve kadın öğretmenlerin algılarının ($\bar{x}=2,99$) olarak ölçüldüğü, öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarına ilişkin elde edilen puanların ortalamaları arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı ($t_{199}=,455$; $p>.05$) görülmektedir.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algıları cinsiyet değişkeni açısından bağımsız t- testi ile analiz edilmiş olup, veriler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3 Öğretmenlerin Cinsiyet Değişkeni Açısından Algı Düzeyi Bağımsız t -Testi Sonuçları (Table 3 Independent t-Test Results of Teachers' Perception Level in Terms of Gender Variable)

	Cinsiyet	N	X	Ss	t	Sd	p
Uzaktan Eğitim Algısı	Erkek	93	2,96	,597	,455	622	,649*
	Kadın	108	2,99	,493			

* $p<.05$

Tablo 3 incelendiğinde araştırmaya katılan erkek öğretmenlerin algılarının ($\bar{x}=2,96$) ve kadın öğretmenlerin algılarının ($\bar{x}=2,99$) olarak ölçüldüğü, öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarına ilişkin elde edilen puanların ortalamaları arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı ($t_{199}=,455$; $p>.05$) görülmektedir.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının branşları bakımından algı düzeyleri puan ortalamalarını gösteren veriler Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4 Öğretmenlerin uzaktan eğitime ilişkin algı puanlarının branşlara göre dağılımı (Table 4 Distribution of perception scores of teachers regarding distance education according to branches)

Branş	N	X	Ss
Fen Bilimleri	27	3,15	,574
Din Kültürü ve Ahlak Bilgisi	28	2,93	,576
Bilişim Teknolojileri ve Yazılım	6	2,89	,363
İngilizce	17	3,06	,523
Sosyal Bilgiler	22	3,02	,491
Matematik	31	3,00	,583
Beden Eğitimi ve Spor	12	2,85	,484
Türkçe	34	2,78	,448
Rehberlik	8	3,39	,702
Teknoloji ve Tasarım	6	3,09	,443
Müzik	6	2,97	,813
Görsel Sanatlar	4	2,53	,592
Toplam	201	2,98	,550

Branşlar açısından öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi, Rehberlik Öğretmenleri ($\bar{x}=3,39$), Fen bilimleri Öğretmenleri ($\bar{x}=3,15$) ve Teknoloji ve Tasarım Öğretmenleri ($\bar{x}=3,09$) ile en yüksek algı düzeyine sahip iken, Beden Eğitimi Öğretmenleri ($\bar{x}=2,85$), Türkçe Öğretmenleri ($\bar{x}=2,78$) ve Görsel Sanatlar Öğretmenleri ($\bar{x}=2,53$) ile en düşük düzeyde algı düzeyine

sahiptir. Branşlar bakımından öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi orta düzeyde olduğu görülmektedir.

Branşlar açısından anlamlı fark olup olmadığını anlamak için tek yönlü varyans analizi(ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5 Branşlara Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları (Table 5 One-Way ANOVA Results by Branches)

	Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p
Uzaktan Eğitim Algısı	Gruplar Arası	4,807	11	,437	1,481	,141*
	Grup içi	55,758	189	,295		
	Toplam	60,565	200			

Tablo 5 analiz sonuçları incelendiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi (F 11 -189=1,481, $p>.05$) olduğundan istatistiksel olarak branşları bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının yaşları bakımından algı düzeyleri puan ortalamalarını gösteren veriler Tablo 6' da sunulmuştur.

Tablo 6 Öğretmenlerin uzaktan eğitime ilişkin algı puanlarının yaşlara göre dağılımı (Table 6 Distribution of teachers' perception scores regarding distance education by age)

Faktör	Yaş	N	\bar{x}	Ss
Uzaktan Eğitim Algısı	20-25	8	2,89	,758
	25-35	102	3,03	,531
	35-40	52	3,00	,564
	40 ve üzeri	39	2,83	,530
	Toplam	201	2,98	,550

* $p>.05$

Tablo 6 incelendiğinde öğretmenlerin yaşa bağlı olarak Uzaktan Eğitim Algı Düzeyi 20-25 yaş aralığında($\bar{x}=2,89$), 25-35 yaş aralığı için ($\bar{x}=3,03$), 35-40 yaş aralığı için ($\bar{x}=3,00$) ve 40 ve üzeri yaş aralığı için ($\bar{x}=2,83$) olup tüm yaş grupları arasında algı orta düzeyde olduğu görülmektedir.

Yaş açısından anlamlı fark olup olmadığını anlamak için tek yönlü varyans analizi(ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7 Yaşa Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları (Table 7 One-Way ANOVA Results by Age)

	Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p
Uzaktan Eğitim Algısı	Gruplar Arası	1,174	3	,391	1,298	,276*
	Grup içi	59,391	197	,301		
	Toplam	60,565	200			

* $p>.05$

Tablo 7 analiz sonuçları incelendiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi (F 3 -197=1,298 $p>.05$) olduğundan istatistiksel olarak yaşları bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının mesleki kıdem süreleri bakımından algı düzeyleri puan ortalamalarını gösteren veriler Tablo 8' de sunulmuştur.

Tablo 8 Öğretmenlerin uzaktan eğitime ilişkin algı puanlarının mesleki kıdem süresine göre dağılımı (Table 8 Distribution of teachers' perception scores regarding distance education according to their professional seniority)

Faktör	Mesleki Kıdem Süresi	N	\bar{x}	Ss
Uzaktan Eğitim Algısı	1-5 Yıl	48	3,01	,459
	5-10 Yıl	72	3,04	,589
	10-15 Yıl	36	2,90	,591
	15-20 Yıl	23	2,98	,570
	20 Yıl ve üzeri	22	2,84	,522
	Toplam	201	2,98	,550

Tablo 8 incelendiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi 1-5 yıl arasında mesleki deneyimde olan öğretmenler için ($\bar{x}=3,01$), 5-10 yıl ($\bar{x}=3,04$), 10-15 yıl($\bar{x}=2,90$), 15-20 yıl ($\bar{x}=2,98$) ve 20 yıl ve üzeri mesleki deneyime sahip olan öğretmenler ($\bar{x}=2,84$) ile toplam algı düzeyi ($\bar{x}=2,98$) olduğu ve elde edilen

verilere göre öğretmenlerin orta düzeyde algıya sahip olduğunu göstermektedir.

Mesleki kıdem süresi bakımından, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak farklılaşmanın olup olmamasına yönelik oluşan veriler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9 Mesleki Kıdem Süresine Göre Tek Yönlü ANOVA Analizi (Table 9 One-Way ANOVA Analysis by Professional Seniority)

	Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p
Uzaktan Eğitim Algısı	Gruplar Arası	,939	4	,235	,772	,545*
	Grup içi	59,626	196	,304		
	Toplam	60,565	200			

*p>.05

Tablo 9 incelendiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi (F 4 - 196=,772 p>.05) olduğundan istatistiksel olarak mesleki kıdem süresi bakımından anlamlı bir farklılaşmanın oluşmadığı görülmektedir.

Öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarının teknoloji kullanım düzeyine göre algı düzeyleri puan ortalamalarını gösteren veriler Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10 Öğretmenlerin uzaktan eğitime ilişkin algı puanlarının teknoloji kullanım düzeyine göre dağılımı (Table 10 Distribution of teachers' perception scores regarding distance education by technology use level)

Faktör	Teknoloji Kullanım Düzeyi	N	\bar{x}	ss
Uzaktan Eğitim Algısı	Zayıf	21	2,85	,553
	Orta	84	2,98	,503
	İyi	60	3,00	,610
	Çok İyi	36	3,00	,565
	Toplam	201	2,98	,550

Tablo 10 incelendiğinde uzaktan eğitim algı düzeyi, zayıf teknoloji kullanım düzeyi olarak belirten öğretmenler ($\bar{x}=2,85$), orta teknoloji kullanım düzeyi olarak belirten öğretmenler ($\bar{x}=2,98$), iyi teknoloji kullanım düzeyi olarak belirten öğretmenler ($\bar{x}=3,00$) ve çok iyi teknoloji kullanım düzeyi olarak belirten öğretmenler ($\bar{x}=3,00$) orta düzeyde algıya sahip oldukları

görülmektedir. Öğretmenlerin teknoloji kullanım düzeyine göre uzaktan eğitim algı düzeyi toplam olarak ($\bar{x}=2,98$) olup, orta düzeyde algıya sahip oldukları görülmektedir.

Teknoloji kullanım düzeyi bakımından, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak farklılaşmanın olup olmamasına yönelik oluşan veriler Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11 Teknoloji kullanım düzeyine göre tek yönlü ANOVA Analizi (Table 11 One-way ANOVA Analysis by Technology Usage Level)

	Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p
Uzaktan Eğitim Algısı	Gruplar Arası	,362	3	,235	,395	,757*
	Grup içi	60,203	197	,304		
	Toplam	60,565	200			

*p>.05

Tablo 11 incelendiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyi (F 3 - 197=,395 p>.05) olduğundan istatistiksel olarak teknoloji kullanım düzeyi bakımından anlamlı bir farklılaşmanın oluşmadığı görülmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Teknolojinin değişmesi ve gelişmesine bağlı olarak eğitim sistemlerinde de değişimler meydana gelmiş, geleneksel eğitime alternatif hale gelen uzaktan eğitim son yıllarda daha fazla değişime uğramıştır. Gereke yurt içinde gerekse yurt dışında öğrenci ve öğretmenlerin yer ve bazı durumlarda zaman bakımından ayrıldığı ortamlarda uygulanan uzaktan eğitim geçmişte geleneksel eğitime ait olmayan yöntem ve teknikleri kullanarak genel eğitimin en hızlı gelişen kavramı haline gelmiştir. İnternet üzerinden öğrenme, ağ bağlantısı kurarak öğrenme, hibrit öğrenme gibi yöntemleri uygulayan uzaktan eğitim günümüzde içerik ve kapsamının daha da genişleterek doğasını değiştirmiştir (Gunawardena ve McIsaac, 2013). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de pandemi sürecinde uzaktan eğitime geçilmiş öğretmen ve öğrencilerin yararlanabilmesi için MEB, dijital eğitim platformu EBA ve televizyon kanalları üzerinden uzaktan eğitim hizmetlerine devam etmiştir. (Özer ve Suna, 2020)

Erzurum il merkezinde 5 farklı ortaokulda görev yapan öğretmenlerin görüşleri alınarak uzaktan eğitim algı düzeylerinin belirlendiği bu çalışmada uzaktan eğitim algı ölçeği kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler analiz edildiğinde öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarında ölçek faktörlerinden temel bakışa yönelik olarak algı düzeylerinin düşük düzeyde ve algı düzeyi ortalamasının (\bar{x} =2,26) olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın verilerine benzer sonuç olarak, Kurnaz ve Serçelemeli (2020) araştırmalarında pandemi sürecinde akademisyenlerin uzaktan eğitim sistemini fazla benimsemediklerini belirtmişlerdir. Kaynaklara erişim faktörüne yönelik olarak öğretmenlerin algı düzeyi ortalamaları (\bar{x} =3,50) ve orta düzeyde olduğu sonucu elde edilmiştir. Aktay ve Keskin (2016) uzaktan eğitim sürecinde kaynaklara erişimin yoğun olarak kullanıldığı eğitim platformu EBA'nın ders içerikleri, yarışmaların olması, soru çeşitleri, çalışma kâğıtları, e- kurs uygulamaları gibi eğitimle ilgili içeriklere öğretmenler kolay bir şekilde erişim sağlayabildiklerini belirtmişlerdir. Öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeyleri eğitimi planlama faktörüne yönelik olarak (\bar{x} =3,64) ölçüldüğü ve orta düzeyde olduğu görülmektedir. Uzaktan eğitim sürecinde öğretmenlerin planlama ve ders içeriklerini hazırlarken çok fazla zaman ve emek harcadıkları görülmektedir (Orr 2008). Uzaktan eğitim algı ölçeğinin tamamına yönelik olarak öğretmenlerin algı

düzeylerinin orta düzeyde (\bar{x} =2,98) sonucuna varılmıştır. Çalışma sonuçlarına benzer sonuçlar alan yazındaki benzer sonuçlarla da desteklenmektedir (Gök 2001; Ergin 2010; Gündüz 2013; Boz 2019).

Öğretmenlerin algı düzeylerini belirleyen branş, cinsiyet, yaş, mesleki deneyim süresi ve teknoloji kullanım düzeyi değişkenleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu değişkenler bakımından anlamlı bir farklılık oluşmadığı gözlemlenmiştir. Araştırma bulgularını destekleyen veya farklı çalışma sonuçlarının olduğu alan yazın incelenmesinde görülmektedir. "Öğretmenlerin uzaktan eğitim algıları ölçeği" ile çalışma yapan Kurnaz, Kaynar, Barışık ve Doğrukök (2020) öğretmenlerin uzaktan eğitim algılarına yönelik görüşlerine yönelik elde ettikleri çalışma sonuçlarına göre cinsiyet, okul türü, mesleki deneyim süreleri, branşları, teknolojiyi kullanma düzeyleri, eğitim verilen sınıf düzeyi, görev yapılan il veya ilçe göre ve derslerin işlendiği yere göre anlamlı bir farklılığın olmadığını ifade etmişlerdir. Karaca vd. (2021) araştırmasında öğretmenlerin uzaktan eğitime yönelik yarar algı düzeylerinin orta düzeyde olmasına cinsiyet, meslekte geçen süre ve öğrenim düzeylerinin anlamlı bir farklılık oluşturmadığını, görev yapılan okul türünün anlamlı bir farklılık oluşturduğunu belirtmişlerdir.

3.1. Öneriler

Çalışmanın sonuçlarına göre elde edilen veriler doğrultusunda aşağıda belirtilen şu öneriler sunulmaktadır:

- 1.Uzaktan eğitim sürecinde eğitim veren öğretmenlerin derslere hazırlık aşamasında çok fazla zaman ve çaba harcamalarından dolayı iş yüklerinin azaltılarak uzaktan eğitime yönelik algıları yüksek düzeye çıkarılabilir.
- 2.Öğretmenlerin uzaktan eğitim faaliyetlerini rahatlıkla gerçekleştirebilmeleri için eğitim kurumlarının gerekli alt yapıyı sağlanmaları ve eksiklikleri gidermeleri gerekmektedir.
- 3.Öğretmenlerin uzaktan eğitim algı düzeylerini etkileyebilecek farklı değişkenler ile çalışmalar yapılabilir.
- 4.Farklı tür ve kademelerde görev yapan eğitim çalışanlarının uzaktan eğitim algıları incelenebilir.
5. Nicel tür olarak gerçekleştirilen bu araştırma öğretmenlerle görüşülerek nitel araştırma şeklinde yapılabilir.

Kaynakça

- Aktay, S. & Keskin, T. (2016). Eğitim bilişim ağı (EBA) incelenmesi. Eğitim Kuram ve Uygulama Araştırmaları Dergisi, 2(3), 27-44.

- Alkan, C. (1987). Açıköğretim ‘uzaktan eğitim sistemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Ankara: Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Yayınları.
- Balaman, F. & Tiryaki, S. H. (2021). Corona Virüs (Covid - 19) nedeniyle mecburi yürütülen uzaktan eğitim hakkında öğretmen görüşleri. İnsan ve toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 10(1), 52-84
- Başak, G. Ö. K. & Çakmak, E. K. (2020). Uzaktan eğitimde ders veren öğretim elemanlarının uzaktan eğitim algısı. Kastamonu Eğitim Dergisi, 28(5), 1915-1931.
- Boz, A. (2019). Öğretmen adaylarının teknoloji kabullenme ve kullanımı bağlamında uzaktan eğitim algılarının incelenmesi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Büyükköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2008). Bilimsel araştırma yöntemleri. Ankara: Pegem akademi.
- Delen, A. (2021). Türkiye’de E-öğrenme ortamlarına ilişkin yapılan araştırmalardaki eğilimler: 2004-2020 dönemi tezlerin incelenmesi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Demir, E. (2014). Uzaktan eğitime genel bir bakış. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 39, 203-2012.
- Ekici, G. (2003). Uzaktan eğitim ortamlarının seçiminde öğrencilerin öğrenme stillerinin önemi. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24, 48-55.
- Elmas, Ç., Doğan, N., Biroğul, S. & Mehmet, K. O. Ç. (2008). Moodle eğitim yönetim sistemi ile örnek bir dersin uzaktan eğitim uygulaması. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 1(2), 53-62.
- Erfidan, A. (2019). Derslerin uzaktan eğitim yoluyla verilmesiyle ilgili öğretim elemanı ve öğrenci görüşleri Balıkesir Üniversitesi örneği (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergin, C. (2010). İlköğretim öğretmenlerinin uzaktan eğitime bakış açıları (Van il örneği). Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Van: Yüzüncü yıl Üniversitesi.
- Ertürk, S. (2013). Eğitimde ‘‘program’’ geliştirme (6. baskı). Ankara: Edge Akademi Yayınları.
- Garrison, DR (1993). Uzaktan eğitimde kalite ve erişim: teorik hususlar. Uzaktan Eğitimin Teorik İlkeleri , 3 (2), 9-21.
- Gök, B. (2011). Uzaktan eğitimde görev alan öğretim elemanlarının uzaktan eğitim algısı (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.
- Gunawardena, C. N & McIsaac, M. S (2013). Uzaktan Eğitim. Eğitim iletişim ve teknoloji üzerine araştırma el kitabı (s. 361-401). Routledge.
- Gündüz, A. Y. (2013). Öğretmen adaylarının uzaktan eğitim algısı (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya:
- İşman, A. (2011). Öğretim teknolojileri ve materyal tasarımı. Pegem Akademi Yayıncılık , Ankara,
- Karaca, İ., Karaca, N., Karamustafaoğlu, N. & Özcan, M. (2021). Öğretmenlerin uzaktan eğitimin yararına ilişkin algılarının incelenmesi. Humanistic Perspective, 3(1), 209-224.
- Kurnaz, A., Kaynar, H., Barışık, C. Ş. & Doğrukök, B. (2020). Öğretmenlerin uzaktan eğitime ilişkin görüşleri. Milli Eğitim Dergisi, 49 (1), 293-322.
- Kurnaz, E. & Serçemeli, M. (2020). Covid - 19 pandemi döneminde akademisyenlerin uzaktan eğitim ve uzaktan muhasebe eğitimine yönelik bakış açıları üzerine bir araştırma. Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi, (3), 262-288.
- Morgan, C. T. (1981). Psikolojiye giriş (Çeviri Yayın Sorumlusu: S. Karakaş). Ankara : Hacettepe Üniversitesi Psikoloji Bölümü Yayınları.
- Orr, R. L. (2008). Faculty perceptions of institutional efforts at addressing barriers to faculty's success in delivering online learning (Unpublished doctoral dissertation). USA: Western Carolina University. Retrieved from <https://www.proquest.com/docview/304834414>
- Özer, M. & Suna, H. E. (2020). Covid-19 salgını ve eğitim. M. Şeker, A. Özer ve C. Korkut, (Ed.), Küresel toplumun anatomisi: İnsan ve toplumun geleceği içinde (s. 171-192). Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi – TÜBA.
- Ross, GJ. & Klug, MG (1999). İşletme fakültesi öğretim üyelerinin ve yöneticilerin uzaktan eğitime yönelik tutumları: Ulusal bir anket. Uzaktan Eğitim, 20 (1), 109-128.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2012). Using multivariate statistics (6. bs.). New Jersey: Pearson.
- Tabata, L. N. & Johnsrud, L. K. (2008). The impact of faculty attitudes toward technology, distance education, and innovation. Research in Higher Education, 49 (7), 625-646.
- Wingo, N. P., Ivankova, N. V. & Moss, J. A. (2017). Faculty perceptions about teaching online: Exploring the literature using the technology acceptance model as an organizing framework. Online Learning, 21(1), 15-35.



Artificial Intelligence-based Cerebrovascular Disease Detection on Brain Computed Tomography Images

Ali Fatih Karataş^{1*}, Vakkas Doğan, Volkan Kılıç

¹ İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1872-7550, 0000-0001-5934-4156, 0000-0002-3164-1981), alifatih449@gmail.com, vkksdgn2@gmail.com, volkan.kilic@ikcu.edu.tr

(First received 17 September 2022 and in final form 13 October 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1176648)

ATIF/REFERENCE: Karataş, A. F., Doğan, V., & Kılıç, V., (2022). Artificial Intelligence-based Cerebrovascular Disease Detection on Brain Computed Tomography Images. *European Journal of Science and Technology*, (41), 175-182.

Abstract

Cerebrovascular disease (CVD) causes paralysis and even mortality in humans due to blockage or bleeding of brain vessels. The early diagnosis of the CVD type by the specialist can avoid these casualties with a correct course of treatment. However, it is not always possible to recruit enough specialists in hospitals or emergency services. Therefore, in this study, an artificial intelligence (AI)-based clinical decision support system for CVD detection from brain computed tomography (CT) images is proposed to improve the diagnostic results and relieve the burden of specialists. The deep learning model, a subset of AI, was implemented through a two-step process in which CVD is first detected and then classified as ischemic or hemorrhagic. Moreover, the developed system is integrated into our custom-designed desktop application that offers a user-friendly interface for CVD diagnosis. Experimental results prove that our system has great potential to improve early diagnosis and treatment for specialists, which contributes to the recovery rate of patients.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep Learning, Cerebrovascular Disease, Convolutional Neural Network, Image Processing.

Beyin Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Yapay Zeka Tabanlı Beyin Damar Hastalıkları Tespiti

Öz

Serebrovasküler hastalık (SVH), beyin damarlarının tıkanması veya kanaması nedeniyle insanlarda felce ve hatta ölüme neden olmaktadır. SVH tipinin uzman tarafından erken teşhisiyle olumsuz etkiler doğru bir tedavi süreci ile engellenebilir. Ancak, hastanelerde veya acil servislerde yeterli sayıda uzmanın görevlendirilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, tanı sürecini hızlandırmak ve uzmanların yükünü hafifletmek için beyin bilgisayarlı tomografi görüntülerinden SVH tespiti için yapay zeka tabanlı bir klinik karar destek sistemi önerilmiştir. Yapay zekanın bir alt kümesi olan derin öğrenme modeli, SVH'nin önce tespit edildiği ve ardından iskemik veya hemorajik olarak sınıflandırıldığı iki aşamalı bir süreçle uygulanmıştır. Ayrıca geliştirilen sistem, SVH teşhisi için kullanıcı dostu bir arayüz sunan özel olarak tasarlanmış, masaüstü uygulamamıza entegre edilmiştir. Deneysel sonuçlar, sistemimizin uzmanlar için erken teşhis ve tedaviyi geliştirme konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve hastaların iyileşme oranına katkıda bulunacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Derin Öğrenme, Serebrovasküler Hastalık, Evrişimsel Sinir Ağları, Görüntü İşleme.

^{1*} Corresponding Author: alifatih449@gmail.com

1. Introduction

Cerebrovascular disease (CVD) has attracted an increasing amount of attention in the field of medicine due to its mortality and morbidity rates. The Ministry of Health of the Republic of Turkey reports that the number of CVD-related deaths in Turkey is between 35-40 thousand and has been increasing over the years (Erkoyun, Sözmen, Bennett, Unal, & Boshuizen, 2016). CVD ranks second among the top ten diseases that cause death in Turkey (Balbay et al., 2018). Although promising treatments have been developed recently, they need to be further developed before they can be applied to a significant number of patients (Diaz, Belen, Tenorio-Javier, & Juangco, 2022). The main challenge is the early detection of CVD-related risk factors so that these risk factors can be modified to prevent CVD.

Specialists use medical imaging techniques such as Magnetic Resonance Imaging (MRI), Computed Tomography (CT), and Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging (DW-MRI) to categorize brain stroke types into ischemic and hemorrhagic (Jeon et al., 2017). Among these techniques, MRI uses magnetic fields and radio frequency waves to obtain images of structures and organs inside the body (Katti, Ara, & Shireen, 2011). CT is mostly preferred in emergencies due to its rapid acquisition. However, it has lower quality than MRI in terms of contrast (Zhao, Carass, Lee, He, & Prince, 2017). DW-MRI, on the other hand, is an imaging technique that identifies the stroke lesion type within minutes as it is based on the diffusion of water molecules (Dayani, Fatehi, Rostamzadeh, & Rostamzadeh, 2017). Among them, CT is the most preferred technique by specialists, especially for the detection of ischemic stroke. However, CVD diagnosis using CT images is time-consuming and sensitive to human inference. Furthermore, the quality of diagnosis depends on the expertise of specialists, and detection of the stroke zone on CT images by human eyes can lead to misdiagnosis due to lack of awareness or overwork of specialists. Therefore, an automatic system, which can detect and segment the stroke region on a CT image, is needed to assist the specialists during the diagnosis. To address this issue, artificial intelligence (AI) based approaches like deep learning methods have been proposed to classify whether images are healthy or not (Rehman, Iqbal, Xing, & Ahmed, 2021).

AI is defined that a computer can imitate the human mind like object recognition, learning with experience, communication via languages, giving decisions, and problem solving (Çaylı, Makav, Kılıç, & Onan, 2020). Recent advances in computer processing lead more AI methodologies for big data processing. In that context, deep learning, a branch AI that is capable of extracting features automatically for the classification, regression, segmentation and prediction, has been employed in many applications, including image processing (Gölcez, Kılıç, & Şen, 2021; Volkan Kılıç, Mercan, Tetik, Kap, & Horzum, 2022), video processing (Aydın, Çaylı, Kılıç, & Onan, 2022), speech recognition (Volkan Kılıç, Barnard, Wang, & Kittler, 2013), medical image analysis (Doğan & Kılıç, 2021; Kökten & Kılıç, 2021; Şen et al., 2022), computer vision (Volkan Kılıç, 2021; Mercan & Kılıç, 2020), face recognition (Keskin, Moral, Kılıç, & Onan, 2021), advanced vehicle driving assist (Betül, Çaylı, Kılıç, & Onan, 2022), audio analysis (Keskin, Çaylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021), object detection (Liu et al., 2020) and natural language processing (Fetiler, Çaylı, Moral, Kılıç, & Onan, 2021). In addition, deep learning architectures include CNNs (Yüzer, Doğan, Kılıç, & Şen, 2022), Recurrent Neural Networks (Mercan, Doğan, & Kılıç, 2020; Palaz, Doğan, & Kılıç, 2021), transformers (Sun et al., 2022), and autoencoders (Sewak, Sahay, & Rathore,

2020). Among these architectures, CNNs have a high performance in the classification of images.

Several studies were reported for disease of brain classification (Chin et al., 2017; Hsieh et al., 2019; Lewick, Kumar, Hong, & Wu, 2020; Livne et al., 2019; Talo, Yildirim, Baloglu, Aydın, & Acharya, 2019). China et al. used the Otsu method for data pre-processing to extract cranium from CT images, and the affine transformations were used for data augmentation. Then, the dataset was trained with CNN models to detect ischemic stroke on CT images (Chin et al., 2017). Hsieh et al. classified cerebral small vessel lesions based on risk level and visualized them in 3D with brain MRI (Hsieh et al., 2019). In addition, a 7-layer CNN was used for classification to segment the cranium part in MRI. Talo et al. performed multi-class (bleeding, normal, chronic, and acute infarction) disease detection on brain CT images (Talo et al., 2019). The pre-trained CNN models, such as AlexNet (Alom et al., 2018), VGG16 (Dodge & Karam, 2016), ResNet18, ResNet34, and ResNet50 (Tai, Yang, & Liu, 2017) were employed, and the highest performance was obtained from ResNet50 (Talo et al., 2019). Livne et al. detected CVD with U-net in brain MRI. The model also segmented images to mark diseased parts (Livne et al., 2019). Lewick et al. classified the types of bleeding in brain CT images as intraparenchymal, intraventricular, subarachnoid, subdural, and epidural with ResNet50 (Lewick et al., 2020).

Here, sequential classification was employed to detect CVD first and then determine types (ischemic and hemorrhagic). Six popular CNN models (AlexNet, Xception (Chollet, 2017), VGG16, VGG19 (Johnson, Alahi, & Fei-Fei, 2016), ResNet50, and Inception-v3 (Szegedy, Vanhoucke, Ioffe, Shlens, & Wojna, 2016)) were trained for the performance comparison. Two sequential CNN models (ResNet50 and Inception-v3) were chosen for their performance. ResNet50 was employed to diagnose the image as CVD and normal, while Inception-v3 was used to detect the types of CVD (ischemic and hemorrhagic). The proposed two-stage structure is illustrated in Figure 1. Next, the ResNet50 and Inception-v3 models were integrated into a user-friendly and simple desktop application, *DeepBrain*, to detect CVD and its types in the brain.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 introduces the proposed system with CNN models. Experimental evaluations are presented in Section 3, and then, the closing remarks are given in Section 4.

2. Proposed System

In this section, the proposed system is introduced for CVD detection. First, pre-processing steps are presented for CVD detection in CNN. Next, our custom-designed application called *DeepBrain* is introduced.

2.1. Pre-processing

Pre-processing is the stage of preparing data for the CNN models. Raw data usually consists of many outliers such as out-of-range values, inconsistencies, duplications, noises, and redundancies (Doğan, Isik, Kilic, & Horzum, 2022; Kilic, Dogan, Kilic, & Kahyaoglu, 2022). The performance of the CNN models may be degraded as insufficient due to the low quality raw data. Therefore, raw data must be passed through various pre-processing steps to increase its quality. Common pre-processing methods are data augmentation, cleaning, reduction, and noise filtering (Maharana, Mondal, & Nemade, 2022).

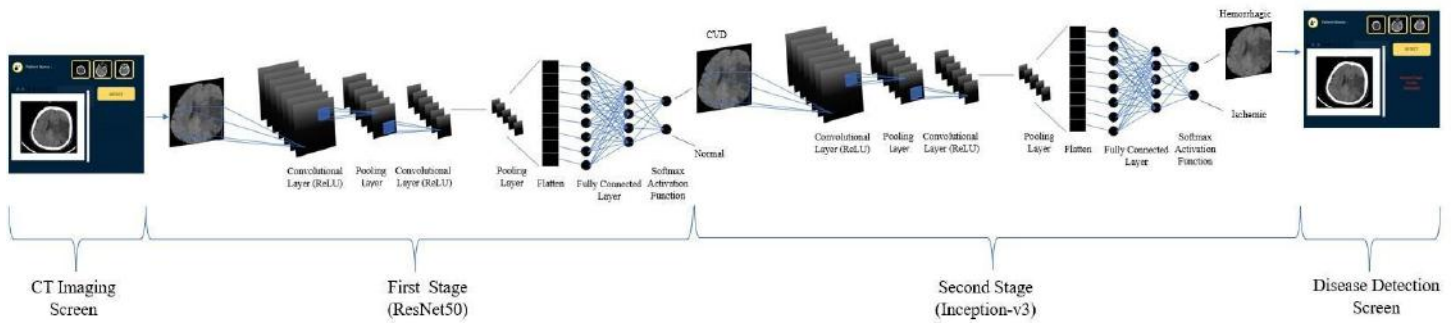


Figure 1. The proposed sequential CVD detection system.

The quality of raw datasets is improved with image processing methods, including image enhancement, transformation, classification, and analysis (Ullah, Farooq, Lee, & An, 2020). Here, the cranium was extracted using the simple threshold, masking, and opening methods. Firstly, the region of interest (ROI) in the image was determined and cropped, as shown in Figure 2(b), to eliminate redundant parts within the images. Then, the simple threshold method was used to convert the image to binary format (Figure 2(c)) before the opening and masking processes. A two-stage opening process was used to remove the cranium fragments in Figure 2(c), as the opening process removes the fine ridges in the images. First, the erosion process was employed in Figure 2(d), and the marked areas were eroded. Later, the eroded areas were enlarged by dilation, and the particles in the marked areas were eliminated from the image (Figure 2(e)). Figure 2(b) and Figure 2(e) are superimposed to obtain Figure 2(f) with common cranium parts. Masking is a method used to extract the desired part from the images. In order to apply the masking process to the original image, the inverse of Figure 2(f) was converted to the mask image in Figure 2(g). Then, Figure 2(b) was masked with in Figure 2(g), resulting in Figure 2(h). Next, images are cropped to eliminate redundant pixels. In addition, images have been resized to 400x400 as the neural networks receive inputs of the same size (Figure 2(i)). ROI was determined by image processing methods after the extraction of the cranium.

2.2. Convolutional Neural Network (CNN)

CNN consists of a multi-layer structure in which images are processed separately in each layer, and the outputs of one layer are the inputs of the next layer (Jo & Jadidi, 2020). As shown in Figure 3, layers in deep learning have different tasks. In the convolution layer, images are scaled down according to the filter size. The pooling layer is used to reduce the size of this output. Pooling is a procedure that summarizes features within the region covered by a specific filter. This operation prevents the network from being memorized at the expense of losing some information. In a fully connected layer, each input is connected to all neurons of the previous layer, and the class score is optimized with a matrix structure. After a feature vector of the ReLU layer is created, each value in the feature vector is passed through a nonlinear layer such as ReLU. In this layer, the thresholding operation is performed independently for each layer to find the approximate solutions of representation feature vectors. Dropout is used in CNN so that the network does not memorize data or learn too much. This layer is used to prevent the network from overfitting, which means memorizing the training data of the model. The basic logic applied in this layer is to remove some nodes of the network. In that sense, the performance of the network is increased, ensuring that weak and unnecessary information is forgotten. The normalization layer is used to speed up the training of CNN, and this layer is where the inputs are normalized. The Softmax activation function is the last step used

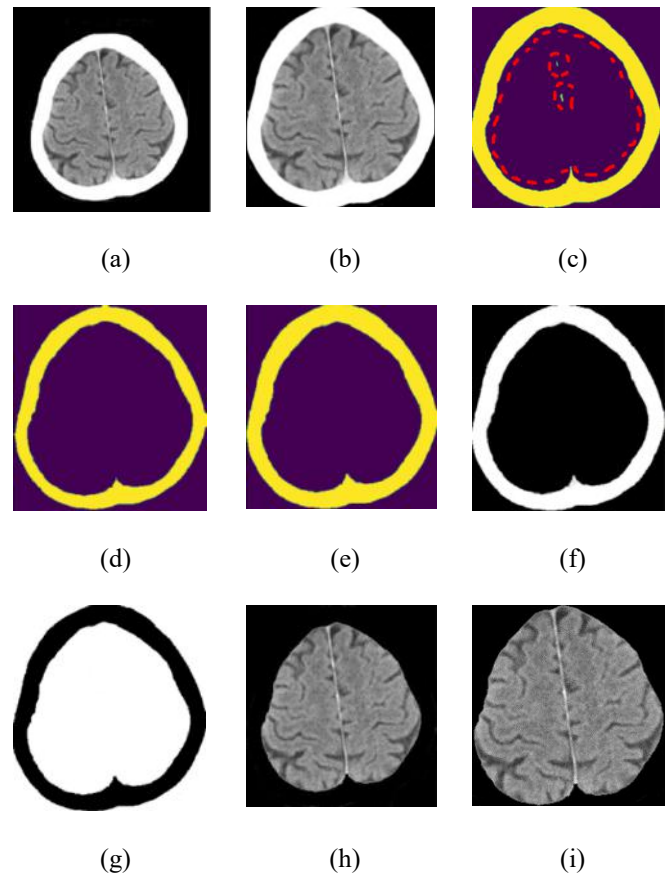


Figure 2. The pre-processing steps of the brain images are illustrated. The original brain image is given in (a), and (b) shows the cropped image. Next, threshold, erosion, and dilation are applied in (c), (d), and (e), respectively. The mask image is given in (g). The final image and its resized version are displayed in (h) and (i), respectively.

in the CNN in the classification process and assigns a probability value to the result obtained from the CNN (Gu et al., 2018).

Training of six CNN models were performed independently for both two stages, and in terms of validation and test accuracy, ResNet50 and Inception-v3 outperform their counterparts. Importance of the dataset in training is described in Section 3.1.

2.3. Desktop Application: DeepBrain

A desktop application called *DeepBrain* is developed for sensitive and reliable CVD detection in the brain with a deep learning approach. The proposed system detects CVD and its types through the application built with Python standard Graphical User Interface package.

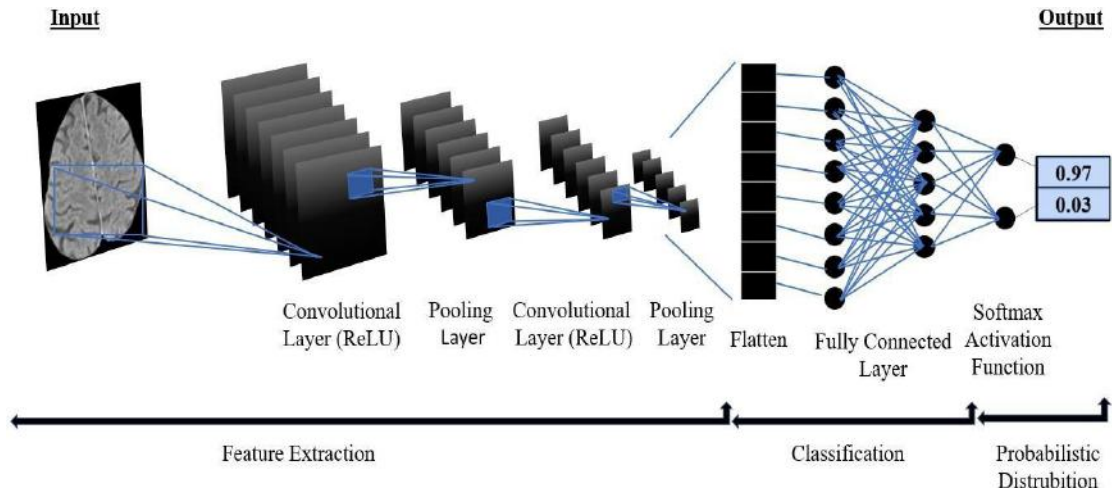


Figure 3. The general structure of CNN.

Table 1. Datasets

Dataset	Normal	CVD	
		Ischemic	Hemorrhagic
Unaugmented	4417	2690	15000
Augmented	30000	15000	15000

Image processing techniques (Section 176) are integrated into the application to make CT images suitable for classification. Then, the models for classifying the images were saved as Hierarchical Data Format 5 File and integrated into the application.

The main screen of the application is shown in Figure 4(a). When the button in the upper left corner of the screen is clicked, the folders containing the patient CT images are displayed in Figure 4(b). The folder to be examined is selected, and the image in Figure 4(c) is displayed on the screen. All CT images in the folder can be viewed by scroll bar movement. In addition, the application provides the ability to enlarge, reduce, save and mark images. After selecting the CT image, the “DETECT” button can be clicked to perform the detection process. The outputs of the system, according to the finding in CT, are shown as an undetected disease, ischemic stroke, and hemorrhagic stroke in Figure 4(d-e-f), respectively.

3. Experimental Evaluations

In this section, the collected dataset, experimental settings, evaluation metrics, and performance comparison of the CNN models are presented.

3.1. Dataset

The dataset plays a significant role to achieve a robust model in deep learning-based systems (Doğan, Yüzer, Kılıç, & Şen, 2021). This study was conducted with the publicly available dataset (Koç et al., 2022). The dataset consists of ischemic, hemorrhagic CVD types and normal class (healthy) brain CT images. It contains a total of 17564 brain CT images, of which 4417, 2690, and 10496 are normal, ischemic, and hemorrhagic, respectively.

In deep learning, the size of the dataset is an essential factor in the performance of the CNN models. Therefore, data augmentation is used in cases where the dataset has insufficient images and also to avoid overfitting. Basic data augmentation

operations such as brightness variation, rotation, and translation are applied to the datasets (Perez & Wang, 2017; Taylor & Nitschke, 2018). Images in the dataset were increased using rotation from 5 to 40 degrees, zooming from 3% to 14%, and cropping from 2% to 5%. As a result, the total number of images in the dataset reached 60000 brain CT images as normal, ischemic, and hemorrhagic, as shown in Table 1.

3.2. Results and Discussion

Here, the experiments were performed on Keras, a Python framework, to train the CNN models for the CVD and its types. The workstation used for training the models has an Intel Core i7-7700HQ 2.80 GHz processor, 32 GB of DDR4 RAM, and 11 GB GDDR6 NVIDIA Geforce RTX 2080 Ti graphics card. Each dataset has been split into train and test subsets by 80 % and 20 %, respectively. The selection of hyper-parameters such as epochs, learning rate, batch size, and optimizer, which vary according to the problem and dataset, is effective in the performance of CNN models. In that sense, the hyper-parameters of the models were chosen as follows: the epochs of 30, the learning rate of 0.001, the batch size of 64, and the optimizer of Adam.

The ResNet50 and Inception-v3 models showed the highest performance in terms of Validation accuracy with 0.9972 and 0.9951 compared to other models in the first and second stages, respectively. Beside validation accuracy (Eq. (1)), precision (Eq. (2)), recall (Eq. (3)), and F1-score (Eq. (4)) values were also used in the comparison (Table 2).

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

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

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

$$F1 - score = 2x \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

where TP (True-Positive) indicates the correctly classified as positive, TN (True-Negative) points the correct classification as negative, FP (False-Positive) is the number classified as positive when required to be negative, FN (False-Negative) is the number

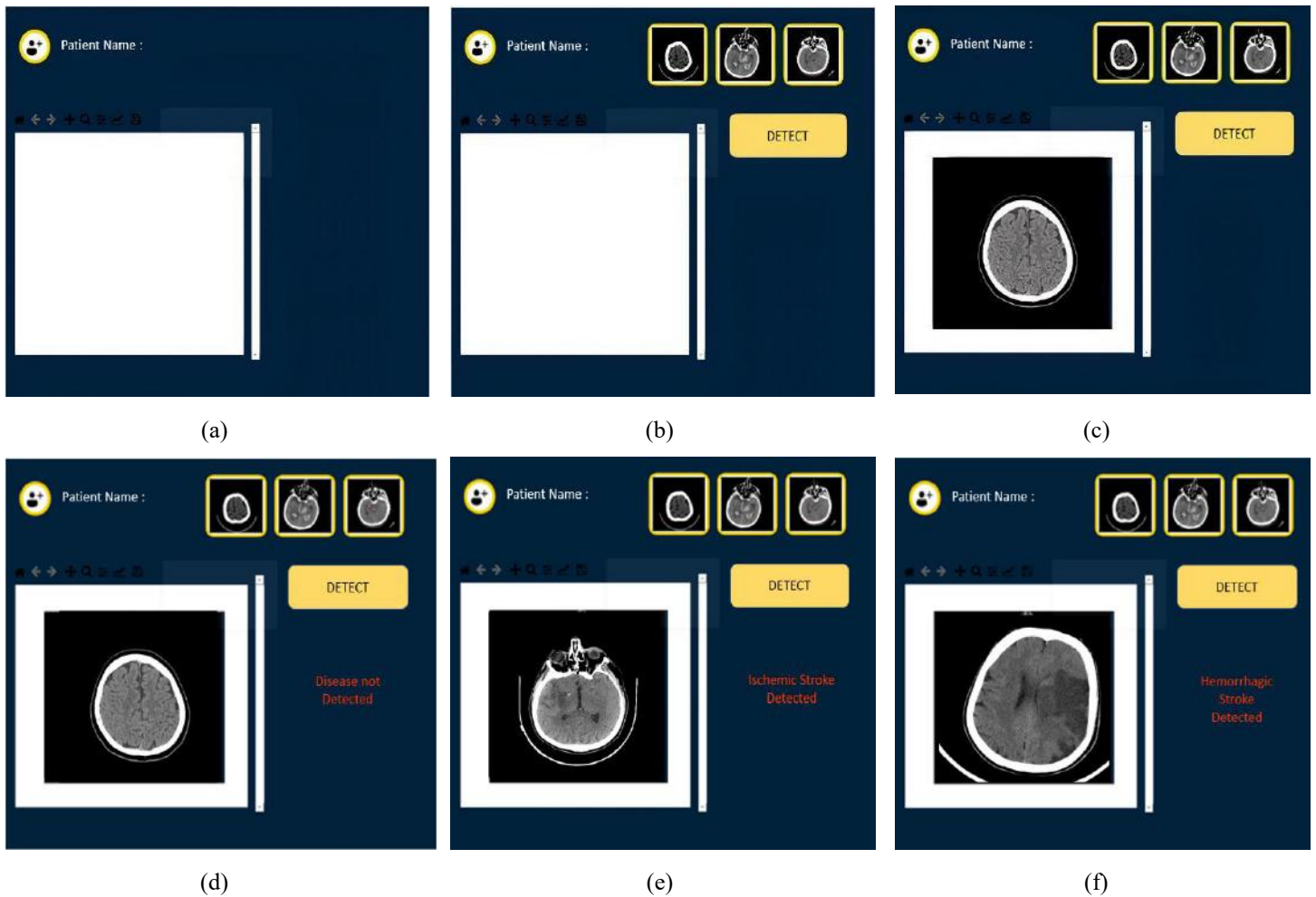


Figure 4. The home screen of the DeepBrain application is given in (a) while the patient folder can be displayed in (b). CT image is shown in (c) and the disease not detected state is given in (d). Ischemic and hemorrhagic strokes are detected in (e) and (f), respectively.

defines correct classification as positive which supposed to be negative. Precision is calculated by dividing the number of correctly classified records by the total number of predicted positives. Precision is a metric that indicates how many positives the classification model predicts are true positives. The recall is also called the True Positive Rate (TPR). It indicates number of the true positives that classified correctly. F1-score is a metric consisting of the harmonic averaging of precision and recall metrics. It is used as an evaluation metric in many classification processes as it considers both precision and recall (Mercan, Kılıç, & Şen, 2021).

The accuracy of the proposed deep learning-based system was tested with 6000 normal, 3000 ischemic, and 3000 hemorrhagic CT images. The results are shown in Figure 5 with the confusion matrices of the ResNet50 and Inception-v3 models. While the ResNet50 model (Figure 5(a)), which is the first classifier, predicted 5760 CVD of true (96%) and 240 CVD of false (4%), it also predicted 5880 normal of true (98%) and 120 normal CT images of false (2%). On the other hand, the second classifier, Inception-v3, was tested with 3000 ischemic and 3000 hemorrhagic images, resulting in 2730 ischemic (91%) and 2850 hemorrhagic (95%) images correctly (Figure 5(b)). The test results prove the advantage of the proposed system in terms of accuracy. In that context, the ResNet50 and Inception-v3 models

were integrated into DeepBrain for CVD type determination in the brain.

Table 2. Evaluation of the ResNet50 and Inception-v3 for CVD in terms of accuracy, recall, precision and F1-score.

Stages	Models	Accuracy	Recall	Precision	F1-Score
First	AlexNet	0.7337	0.7436	0.7213	0.7320
	VGG19	0.7346	0.7512	0.7235	0.7344
	VGG16	0.9370	0.9447	0.9185	0.9194
	Xception	0.9635	0.9681	0.9467	0.9475
	Inception-v3	0.9654	0.9698	0.9654	0.9695
Second	ResNet50	0.9972	0.9821	0.9783	0.9788
	AlexNet	0.6609	0.6891	0.6699	0.6759
	VGG19	0.6670	0.6792	0.6695	0.6766
	VGG16	0.6981	0.7169	0.7069	0.7053
	Xception	0.8764	0.9021	0.8946	0.8953
	ResNet50	0.9087	0.9217	0.9123	0.9149
	Inception-v3	0.9951	0.9354	0.9316	0.9343

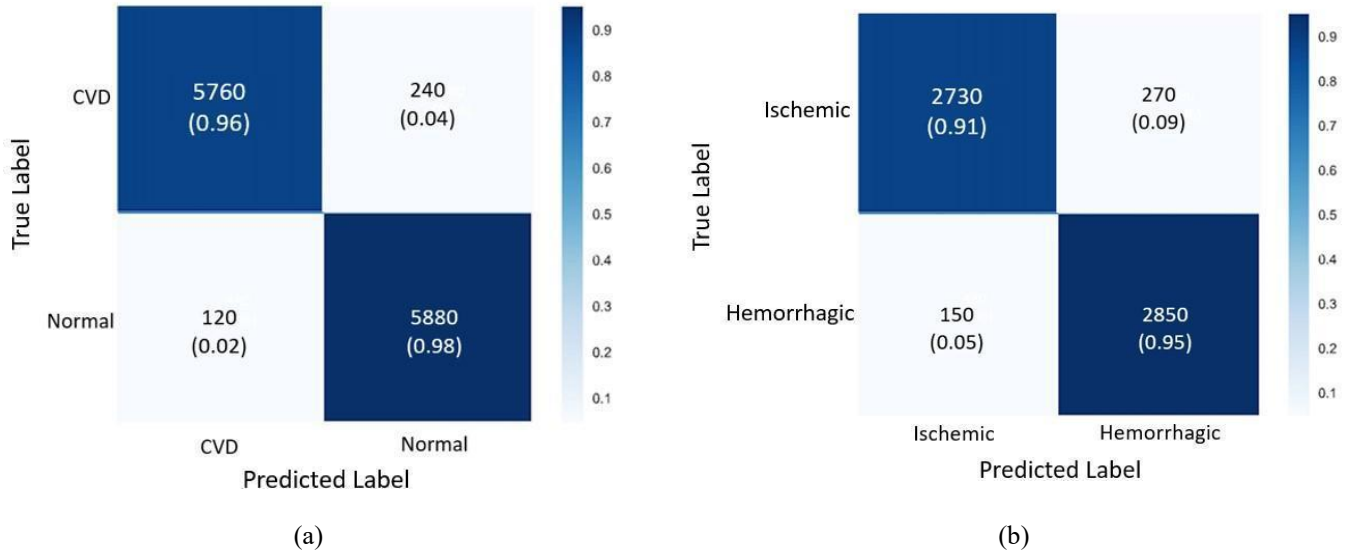


Figure 5. Confusion matrices of ResNet50 in (a) and Inception-v3 in (b) for different CVD types of the test dataset.

Table 3. Comparison between the proposed system and state-of-the-art approaches.

Disease	Train Accuracy
(Chin et al., 2017) Ischemic Stroke	0.9766
(Hsieh et al., 2019) Cerebral Small Vessel	0.9857
(Talo et al., 2019) Multi-Class Brain	0.9523
(Lewick et al., 2020) Hemorrhagic	0.9800
Proposed System CVD (Normal / CVD)	0.9972
Proposed System CVD Type (Ischemic / Hemorrhagic)	0.9951

The performance of the proposed system has been compared with state-of-the-art approaches in Table 3. In (Chin et al., 2017), 0.9766 accuracy value was obtained during the training to detect an ischemic stroke. The train accuracy value of the model created for detecting cerebral small vessel disease was 0.9857 (Hsieh et al., 2019). The ResNet50 model predicted a training accuracy value of 0.9523 in (Talo et al., 2019) to classify multi-class brain disease. In (Lewick et al., 2020), the study was conducted to determine the hemorrhagic types, and the accuracy value was obtained as 0.98 per class. Unlike the others, the proposed system divides diagnostic mechanisms into CVD detection and ischemic-hemorrhagic classification. The proposed system provides 0.9972 training accuracy for the first stage (CVD- normal) while it offers 0.9951 for determining the second stage (CVD types) which proves the outstanding performance of the system.

The *DeepBrain* were demonstrated step by step with screenshots in Figure 4, where the uploaded image was analyzed for CVD detection. In the background of the application, the image is entered into the first classifier model to detect whether there are disease findings or not. If there are no findings signs of disease, the message “Disease not detected” is displayed on the screen. When CVD is detected, the image enters the second classifier model to determine the type of disease. The result is displayed as ischemic or hemorrhagic stroke based on the CVD type. The application is developed to be used by doctors in health e-ISSN: 2148-2683

institutions. The results show that the proposed system can be used effectively in the detection of CVD and its types.

4. Conclusion

This study proposes to detect CVD and its types on brain CT images using CNN models. Our proposed system performs a two-stage classification process that detects CVD as ischemic and hemorrhagic. The highest classification performance was obtained in ResNet50 (first classifier) and Inception-v3 (second classifier) with 99.72% and 99.51%, respectively. Then, this system was integrated with our custom-designed desktop application called *DeepBrain*. The application provides zooming, cutting, recording, and marking operations on medical images. Experimental results show the advantage of the proposed system in the detection of CVD and its types which offers great potential to be used in medical centers.

References

Alom, M. Z., Taha, T. M., Yakopcic, C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin, M. S., . . . Asari, V. K. (2018). The history began from alexnet: A comprehensive survey on deep learning approaches. *arXiv preprint arXiv: 01164*

Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-Sequence Video Captioning with Residual Connected Gated Recurrent Units. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.

Balbay, Y., Gagnon-Arpin, I., Malhan, S., Öksüz, M. E., Sutherland, G., Dobrescu, A., . . . Habib, M. (2018). Modeling the burden of cardiovascular disease in Turkey. *Anatolian Journal of Cardiology* 20(4), 235.

Betül, U., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Resnet based Deep Gated Recurrent Unit for Image Captioning on Smartphone. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 610-615.

Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2020). *Mobile Application Based Automatic Caption Generation for Visually Impaired*. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems.

Chin, C.-L., Lin, B.-J., Wu, G.-R., Weng, T.-C., Yang, C.-S., Su, R.-C., & Pan, Y.-J. (2017). *An automated early ischemic stroke detection system using CNN deep learning algorithm*.

- Paper presented at the 2017 IEEE 8th International conference on awareness science and technology (iCAST).
- Chollet, F. (2017). *Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Dayani, M. A., Fatehi, D., Rostamzadeh, O., & Rostamzadeh, A. (2017). Evaluation the sensitivity of diffusion and perfusion weighted imaging in therapeutic timing of stroke. *Research Journal of Pharmacy Technology*, 10(6), 1951-1956.
- Diaz, A. B. F., Belen, A. A., Tenorio-Javier, A. M. J., & Juangco, D. N. A. (2022). Cerebrovascular Disease in Asia: Causative Factors. In *Hypertension and Cardiovascular Disease in Asia* (pp. 271-284): Springer.
- Dodge, S., & Karam, L. (2016). *Understanding how image quality affects deep neural networks*. Paper presented at the 2016 eighth international conference on quality of multimedia experience (QoMEX).
- Doğan, V., Isik, T., Kilic, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods* 14(35), 3458-3466.
- Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Akıllı Telefon Kullanarak Yapay Zeka Tabanlı Farenjit Tespiti: Artificial Intelligence Based Pharyngitis Detection Using Smartphone. *J Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka Dergisi*, 1(2), 14-19.
- Doğan, V., Yüzer, E., Kılıç, V., & Şen, M. (2021). Non-enzymatic colorimetric detection of hydrogen peroxide using a μ PAD coupled with a machine learning-based smartphone app. *Analyst* 146(23), 7336-7344.
- Erkoyun, E., Sözmen, K., Bennett, K., Unal, B., & Boshuizen, H. (2016). Predicting the health impact of lowering salt consumption in Turkey using the DYNAMO health impact assessment tool. *J Public Health*, 140, 228-234.
- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Gölcez, T., Kiliç, V., & Şen, M. (2021). A portable smartphone-based platform with an offline image-processing tool for the rapid paper-based colorimetric detection of glucose in artificial saliva. *Analytical Sciences* 37(4), 561-567.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., . . . Cai, J. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern recognition* 77, 354-377.
- Hsieh, Y.-Z., Luo, Y.-C., Pan, C., Su, M.-C., Chen, C.-J., & Hsieh, K. L.-C. (2019). Cerebral small vessel disease biomarkers detection on MRI-sensor-based image and deep learning. *Sensors* 19(11), 2573.
- Jeon, C. H., Park, J. S., Lee, J. H., Kim, H., Kim, S. C., Park, K. H., . . . Kim, Y.-M. (2017). Comparison of brain computed tomography and diffusion-weighted magnetic resonance imaging to predict early neurologic outcome before target temperature management comatose cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 118, 21-26.
- Jo, J., & Jadidi, Z. (2020). A high precision crack classification system using multi-layered image processing and deep belief learning. *Structure Infrastructure Engineering*, 16(2), 297-305.
- Johnson, J., Alahi, A., & Fei-Fei, L. (2016). *Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution*. Paper presented at the European conference on computer vision.
- Katti, G., Ara, S. A., & Shireen, A. (2011). Magnetic resonance imaging (MRI)—A review. *International journal of dental clinics* 3(1), 65-70.
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (31), 461-468.
- Keskin, R., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). *Multi-GRU based automated image captioning for smartphones*. Paper presented at the 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Kilic, B., Dogan, V., Kilic, V., & Kahyaoglu, L. N. (2022). Colorimetric food spoilage monitoring with carbon dot and UV light reinforced fish gelatin films using a smartphone application. *International Journal of Biological Macromolecules* 209, 1562-1572.
- Kılıç, V. (2021). Deep gated recurrent unit for smartphone-based image captioning. *J Sakarya University Journal of Computer Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Kılıç, V., Barnard, M., Wang, W., & Kittler, J. (2013). *Adaptive particle filtering approach to audio-visual tracking*. Paper presented at the 21st European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2013).
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences* 38(2), 347-358.
- Koç, U., Sezer, E. A., Özkaya, Y. A., Yarbay, Y., Taydaş, O., Ayyıldız, V. A., . . . Beşler, M. S. (2022). Artificial Intelligence in Healthcare Competition (Teknofest-2021): Stroke Data Set. *The Eurasian Journal of Medicine*.
- Kökten, A., & Kılıç, V. (2021). Detection of COVID-19 Cases with Fuzzy Classifiers Using Chest Computed Tomography. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 68-72.
- Lewick, T., Kumar, M., Hong, R., & Wu, W. (2020). *Intracranial hemorrhage detection in CT scans using deep learning*. Paper presented at the 2020 IEEE Sixth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService).
- Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P., Chen, J., Liu, X., & Pietikäinen, M. (2020). Deep learning for generic object detection: A survey. *International journal of computer vision* 128(2), 261-318.
- Livne, M., Rieger, J., Aydin, O. U., Taha, A. A., Akay, E. M., Kossen, T., . . . Frey, D. (2019). A U-Net deep learning framework for high performance vessel segmentation in patients with cerebrovascular disease. *Frontiers in neuroscience* 13, 97.
- Maharana, K., Mondal, S., & Nemade, B. (2022). A Review: Data Pre-Processing and Data Augmentation Techniques. *Global Transitions Proceedings*.
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). *Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels*. Paper presented at the 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO).
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). *Fuzzy classifier based colorimetric quantification using a smartphone*. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems.
- Mercan, Ö. B., Kılıç, V., & Şen, M. (2021). Machine learning-based colorimetric determination of glucose in artificial saliva with different reagents using a smartphone coupled μ PAD. *Sensors Actuators B: Chemical* 329, 129037.

- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *J Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 1168-1174.
- Perez, L., & Wang, J. (2017). The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. *arXiv preprint arXiv:1704.04621*
- Rehman, A., Iqbal, M. A., Xing, H., & Ahmed, I. (2021). COVID-19 detection empowered with machine learning and deep learning techniques: A systematic review. *Applied Sciences* 11(8), 3414.
- Şen, M., Yüzer, E., Doğan, V., Avcı, İ., Ensarioğlu, K., Aykaç, A., . . . Kılıç, V. (2022). Colorimetric detection of H₂O₂ with Fe₃O₄@ Chi nanozyme modified µPADs using artificial intelligence. *Microchimica Acta* 189(10), 1-11.
- Sewak, M., Sahay, S. K., & Rathore, H. (2020). An overview of deep learning architecture of deep neural networks and autoencoders. *Journal of Computational Theoretical Nanoscience* 17(1), 182-188.
- Sun, X., Qian, H., Xiong, Y., Zhu, Y., Huang, Z., & Yang, F. (2022). Deep learning-enabled mobile application for efficient and robust herb image recognition. *Scientific Reports* 12(1), 1-18.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). *Rethinking the inception architecture for computer vision*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Tai, Y., Yang, J., & Liu, X. (2017). *Image super-resolution via deep recursive residual network*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Talo, M., Yildirim, O., Baloglu, U. B., Aydin, G., & Acharya, U. R. (2019). Convolutional neural networks for multi-class brain disease detection using MRI images. *Computerized Medical Imaging Graphics* 78, 101673.
- Taylor, L., & Nitschke, G. (2018). *Improving deep learning with generic data augmentation*. Paper presented at the 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI).
- Ullah, Z., Farooq, M. U., Lee, S.-H., & An, D. (2020). A hybrid image enhancement based brain MRI images classification technique. *Medical hypotheses* 143, 109922.
- Yüzer, E., Doğan, V., Kılıç, V., & Şen, M. (2022). Smartphone embedded deep learning approach for highly accurate and automated colorimetric lactate analysis in sweat. *Sensors Actuators B: Chemical* 132489.
- Zhao, C., Carass, A., Lee, J., He, Y., & Prince, J. L. (2017). *Whole brain segmentation and labeling from CT using synthetic MR images*. Paper presented at the International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging.



Detection of Defects in Printed Circuit Boards with Machine Learning and Deep Learning Algorithms

Volkan Kaya^{1*}, İsmail Akgül²

^{1*} Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Erzincan, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6940-3260), vkaya@erzincan.edu.tr

² Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Erzincan, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2689-8675), iakgul@erzincan.edu.tr

(First received 21 September 2022 and in final form 13 October 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1178188)

ATIF/REFERENCE: Kaya, V., & Akgül, İ. (2022). Detection of Defects in Printed Circuit Boards with Machine Learning and Deep Learning Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (41), 183-186.

Abstract

Printed Circuit Boards (PCBs) are electronic boards that hold electronic components together and provide the electrical connection between these components. Printed circuit boards offer many advantages over traditional wired circuits, such as durability, less heat, minimal wiring, and ease of assembly. Correct design and production of printed circuit boards significantly affect the quality and efficiency of printed circuit boards. In this study, a defect detection system based on machine learning and deep learning algorithms is proposed to help produce printed circuit boards accurately and minimize the error rate. In the proposed system, missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur, and spurious copper defects on the printed circuit have been determined. According to the results obtained, success accuracies of 74.62% were obtained with YOLO-v4, 47.83% with HOG+SVM, and 39.86% with HOG+KNN. It has been seen that the algorithms discussed in the study are applicable in the detection of defects in printed circuit boards.

Keywords: Artificial intelligence, Machine learning, Deep learning, Printed circuit board.

Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Algoritmaları ile Baskı Devre Kartlarındaki Kusurların Tespiti

Öz

Baskı devre kartları (PCB), elektronik bileşenleri bir arada tutan ve bu bileşenler arasındaki elektrik bağlantısını sağlayan elektronik devre kartlarıdır. Baskı devre kartları, dayanıklılık, daha az ısınma, minimum kablo kullanımı ve montaj kolaylığı gibi geleneksel kablolu devrelere göre birçok avantaj sunmaktadır. Baskı devre kartlarının doğru tasarımı ve üretimi baskı devre kartlarının kalitesini ve verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada baskı devre kartlarının doğru bir şekilde üretilmesine ve hata oranının en aza indirilmesine yardımcı olmak için makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarına dayalı kusur tespit sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde baskı devre üzerinde yer alan eksik delik, fare ısırığı, açık devre, kısa devre, çıkıntı ve sahte bakır kusurları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre YOLO-v4 ile %74.62, HOG+SVM ile %47.83, HOG+KNN ile %39.86 başarı doğrulukları elde edilmiştir. Çalışmada ele alınan algoritmaların baskı devre kartlarında kusur tespitinde uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme, Baskı devre kartı.

* Corresponding Author: vkaya@erzincan.edu.tr

1. Introduction

Today, printed circuit boards (PCBs), which are included in the structure of electronic components and hold electronic components together, play an important role in the construction of electronic devices. Printed circuit boards are the basic component of electronic devices (Tsai & Huang, 2018; Zhang et al., 2018). Printed circuit boards offer many advantages over traditional wired circuits due to their low cost, durability, smaller footprint, minimization of cable usage, and ease of assembly. These advantages positively affect the physical dimensions, mass production, and repair of electronic devices.

Thanks to technological advances, the widespread use of electronic devices has been reduced to very small sizes and this has made the printed circuit boards more complex (Adibhatla et al., 2018; Zhang et al., 2018; Hu & Wang, 2020; Fung & Yung, 2020).

Problems caused by the error in the printed circuit board during the production of electronic devices or errors that occur during the mounting of electronic components on the surface either interrupt the production or cause the tests to fail (Sezer & Altan, 2021). For this reason, early detection of missing components or defects on the printed circuit board is important for electronic devices (Hu, & Wang, 2020). Therefore, detecting defects in printed circuit boards is extremely important in quality control (Volkau et al., 2019).

Artificial intelligence methods, which have been widely used in recent years with the developing technology, have also been effective in the field of defect detection by providing significant success in the industry (Deng et al., 2018; Santoso et al., 2022). In this study, missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur, and spurious copper defects caused by the production of printed circuit boards used in the production of electronic devices or the assembly of electronic components on printed circuit boards have been detected using machine learning and deep learning algorithms.

The rest of the work is detailed as follows. In Chapter 2, studies on the detection of defects in printed circuit boards are reviewed. In Chapter 3, detailed information about materials and methods for defect detection is presented. In Chapter 4, experimental results, analysis and discussions are given. In Chapter 5, information about the results obtained in the study and future studies is given.

2. Related Works

In this section, artificial intelligence-based studies on defect detection in printed circuit boards are examined.

Ding et al. A defect detection network is proposed to detect the quality and defects of printed circuit boards. In the proposed method, k-means clustering, low-level structural information, and online hard example mining are used. Defect detection on printed circuit boards in the proposed model reached an mAP value of 98.90% (Ding et al., 2019).

Hu and Wang proposed a deep learning-based Faster RCNN-based method to detect defects in printed circuit boards. In the proposed method, ResNet50, ShuffleNetV2 and GARN structures were preferred in order to better detect the defects in the printed circuit boards. According to the results obtained, it

reached 94.2% mAP and 0.08s/img detection speed with the proposed model (Hu & Wang, 2020).

Adibhatla et al. used a convolutional neural network-based method to detect defects in printed circuit boards and achieved a classification success rate of 85% (Adibhatla et al., 2018).

Hua et al. proposed an algorithm to extract efficient features of printed circuit board images. In the proposed method, feature detector (GFTT) and feature descriptor (SURF) are combined to obtain accurate image registration. In addition to these, it was concluded that the in the printed circuit boards can be detected by adding the cross-correlation method (Hua et al., 2018).

Tang et al. have proposed a deep learning model that accurately detects defects in printed circuit boards using images that have been tested incorrectly. In the proposed model, a dataset including open, short, mouse bite, spur, copper, and pin-hole PCB defects was used and a 98.6% mAP@62 FBS result was obtained (Tang et al., 2019).

Liu and Wen proposed a detection network based on MobileNet-Yolo-Fast to detect defects in printed circuit boards. In the proposed model network, they detected defects in the printed circuit boards using the k-means clustering algorithm to obtain anchors boxes, the MobileNetV2 model for the backbone network, and the spatial pyramid pooling structure to increase the image receptive area (Liu & Wen, 2021).

Adibhatla et al. proposing a deep learning algorithm based on YOLO architecture to detect defects in printed circuit boards achieved an error detection accuracy of 98.79% (Adibhatla et al., 2020).

3. Material and Method

3.1. System Configuration and Acquisition of Image Data

In this section, the structure of the systems used to detect defects in printed circuit boards and the acquisition of images are discussed in detail. In this study, machine learning and deep learning algorithms were used. These algorithms were trained and tested in the Python programming language using Keras and TensorFlow libraries in the cloud-based Google Colaboratory (Colab, 2022) environment.

In the study, a dataset containing 6 different printed circuit defects was used to detect defects in printed circuit boards (Kaggle, 2022). This dataset contains 693 printed circuit images with a total of 2,953 defective regions in RGB format and different pixel sizes. In the dataset, there are 115 missing holes containing 497 defects, 115 mouse bites containing 492 defects, 116 open circuits containing 482 defects, 116 shorts containing 491 defects, 115 spurs containing 488 defects, and 116 spurious coppers containing 503 defects (Huang & Wei, 2019). Images containing 6 different printed circuit defects in this dataset are shown in Figure 1.

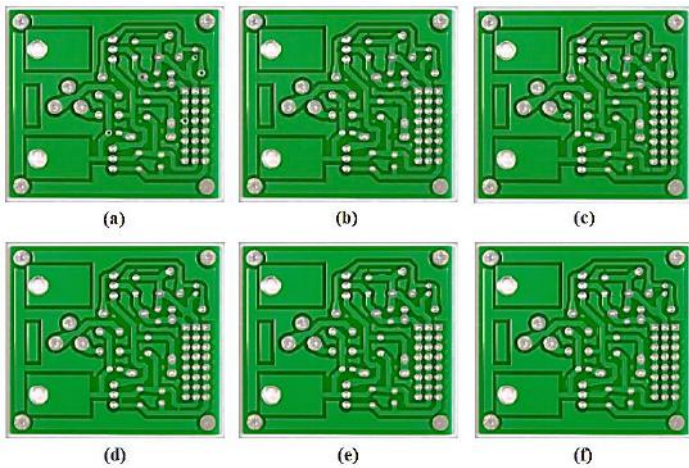


Figure 1. Images of defects in the dataset (a) missing hole (b) mouse bite (c) open circuit (d) short (e) spur (f) spurious copper

3.2. Training and Testing

In the study, HOG (Dalal & Triggs, 2005), SVM (Boser et al., 1992), KNN (Cover & Hart, 1967) machine learning algorithms, and YOLO-v4 (Bochkovskiy et al., 2020) deep learning algorithm were used to extract the characteristics of defects in printed circuit boards. For the training and testing of the algorithm structures, a dataset containing 6 different types of defects (missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur, and spurious copper) commonly occurring in printed circuit boards was used. Printed circuit defect images in this dataset are reserved for training and testing of the algorithms used in the study, and detailed information is given in Table 1.

Table 1. The number of defect images allocated in the dataset for training and testing of algorithms

Type of defects	number of dataset images		
	Train (80%)	Test (20%)	Total (100%)
missing hole	92	23	115
mouse bite	92	23	115
open circuit	93	23	116
short	93	23	116
spur	92	23	115
spurious copper	93	23	116
Total	555	138	693

4. Results

Experimental analyses were performed to verify the validity of the HOG, SVM, KNN and YOLO-v4 algorithms discussed in the study in detecting defects on printed circuit boards. In the experiments, the dataset images reserved for the training and testing of machine learning and deep learning algorithms were used and the training of the algorithms was performed. The training of HOG+SVM, HOG+KNN, and YOLO-v4 algorithms was applied separately to extract the features of the defects on the printed circuit and to perform a successful classification process. The average success metrics obtained from the algorithms as a result of the training are given in Table 2.

Table 2. Average success metrics obtained as a result of training the algorithms

Model	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
HOG+SVM	0.50	0.48	0.48	0.48
HOG+KNN	0.39	0.40	0.38	0.40
YOLO-v4	0.61	0.79	0.69	0.75

In addition, the success rates in detecting missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur, and spurious copper defects in the dataset were examined separately by using the proposed algorithm structures and shown in Figure 2.

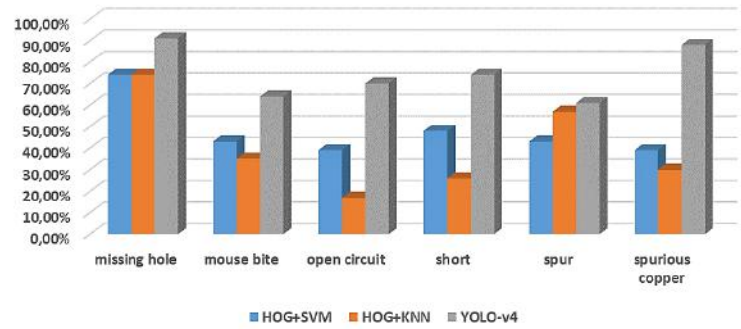


Figure 2. The success rate graph of algorithms in defect detection

According to the experimental analyses obtained, it has been seen that the defective areas on the printed circuit boards are difficult and complex to detect. Therefore, it is seen that the detection of defective regions is achieved with the YOLO-v4 deep learning algorithm with a success rate of 74.62%. In addition, 47.83% success rate was achieved with HOG+SVM and 39.86% with HOG+KNN.

5. Conclusions

In this article, HOG, SVM, and KNN machine learning algorithms and YOLO-v4 deep learning algorithm are used to detect defects in printed circuit boards. HOG+SVM, HOG+KNN, and YOLO-v4 algorithms were trained in order to extract and classify the features of the defects on the printed circuit board images of the algorithm structures. As a result of the training, 6 different types of printed circuit board defects (missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur and spurious copper) discussed in the study were classified by success rates of 74.62% with YOLO-v4, 47.83% with HOG+SVM, and 39.86% with HOG+KNN.

As a result, it has been seen that the deep learning algorithm is more successful when compared to the machine learning algorithms in detecting the defects in the printed circuit boards. In the future, higher success rate will be achieved by collecting printed circuit board images containing more types of defects and using different machine learning and deep learning algorithms.

References

Adibhatla, V. A., Chih, H. C., Hsu, C. C., Cheng, J., Abbod, M. F., & Shieh, J. S. (2020). Defect detection in printed circuit boards using you-only-look-once convolutional neural networks. *Electronics*, 9(9), 1547. <https://doi.org/10.3390/electronics9091547>

- Adibhatla, V. A., Shieh, J. S., Abbod, M. F., Chih, H. C., Hsu, C. C., & Cheng, J. (2018). Detecting defects in PCB using deep learning via convolution neural networks. In 2018 13th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT) (pp. 202-205). <https://doi.org/10.1109/IMPACT.2018.8625828>
- Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.
- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. In Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory (pp. 144-152). <https://doi.org/10.1145/130385.130401>
- Colab (2022). "Google Colaboratory", Retrieved in September, 03, 2022 from <https://colab.research.google.com>
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. IEEE transactions on information theory, 13(1), 21-27. <https://doi.org/10.1109/TIT.1967.1053964>
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. In 2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05), 1, 886-893. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.177>
- Deng, Y. S., Luo, A. C., & Dai, M. J. (2018). Building an automatic defect verification system using deep neural network for pcb defect classification. In 2018 4th International Conference on Frontiers of Signal Processing (ICFSP) (pp. 145-149). <https://doi.org/10.1109/ICFSP.2018.8552045>
- Ding, R., Dai, L., Li, G., & Liu, H. (2019). TDD-net: a tiny defect detection network for printed circuit boards. CAAI Transactions on Intelligence Technology, 4(2), 110-116. <https://doi.org/10.1049/trit.2019.0019>
- Fung, V. W., & Yung, K. C. (2020). An intelligent approach for improving printed circuit board assembly process performance in smart manufacturing. International Journal of Engineering Business Management, 12, 1847979020946189. <https://doi.org/10.1177/1847979020946189>
- Hu, B., & Wang, J. (2020). Detection of PCB surface defects with improved faster-RCNN and feature pyramid network. IEEE Access, 8, 108335-108345. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001349>
- Hua, G., Huang, W., & Liu, H. (2018). Accurate image registration method for PCB defects detection. The Journal of Engineering, 2018(16), 1662-1667. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8272>
- Huang, W., & Wei, P. (2019). A PCB dataset for defects detection and classification. arXiv preprint arXiv:1901.08204
- Kaggle, (2022). "Kaggle", Retrieved in September, 01, 2022 from <https://www.kaggle.com/datasets/akhatova/pcb-defects>
- Liu, G., & Wen, H. (2021). Printed circuit board defect detection based on MobileNet-Yolo-Fast. Journal of Electronic Imaging, 30(4), 043004. <https://doi.org/10.1117/1.JEI.30.4.043004>
- Santoso, A. D., Cahyono, F. B., Prahasta, B., Sutrisno, I., & Khumaidi, A. (2022). Development of PCB Defect Detection System Using Image Processing With YOLO CNN Method. International Journal of Artificial Intelligence Research, 6(1).
- Sezer, A., & Altan, A. (2021). Detection of solder paste defects with an optimization-based deep learning model using image processing techniques. Soldering & Surface Mount Technology. <https://doi.org/10.1108/SSMT-04-2021-0013>
- Tang, S., He, F., Huang, X., & Yang, J. (2019). Online PCB defect detector on a new PCB defect dataset. arXiv preprint arXiv:1902.06197
- Tsai, D. M., & Huang, C. K. (2018). Defect detection in electronic surfaces using template-based Fourier image reconstruction. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 9(1), 163-172. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2018.2873744>
- Volkau, I., Mujeeb, A., Wenting, D., Marius, E., & Alexei, S. (2019). Detection defect in printed circuit boards using unsupervised feature extraction upon transfer learning. In 2019 International Conference on Cyberworlds (CW) (pp. 101-108). <https://doi.org/10.1109/CW.2019.00025>
- Zhang, C., Shi, W., Li, X., Zhang, H., & Liu, H. (2018). Improved bare PCB defect detection approach based on deep feature learning. The Journal of Engineering, 2018(16), 1415-1420. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8275>
- Zhang, L., Jin, Y., Yang, X., Li, X., Duan, X., Sun, Y., & Liu, H. (2018). Convolutional neural network-based multi-label classification of PCB defects. The Journal of Engineering, 2018(16), 1612-1616. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8279>



Bitlis İli Merkez İlçesindeki Ekmek Fırınlarnının Hijyenik Durumu ve Yönetmeliğe Uygunluğu

Seda Oğur^{1*}, Mehmet Sabit Gültekin²

^{1*} Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Bitlis, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2041-0790), ogursd@gmail.com

² Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Güvenliği Anabilim Dalı, Bitlis, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7514-3984), sabit1313@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 26 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 13 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1180150)

ATIF/REFERENCE: Oğur, S. & Gültekin, M.S. (2022). Bitlis İli Merkez İlçesindeki Ekmek Fırınlarnının Hijyenik Durumu ve Yönetmeliğe Uygunluğu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 187-201.

Öz

Ekmek dünya genelinde temel besin olarak kabul edilen, sıklıkla ve sevilerek tüketilen değerli bir gıda ürünüdür. Her öğünde tüketildiği toplumlarda günlük besin ve enerji ihtiyacının büyük miktarını karşılayan ekmek uzun süreli ve emek yoğun bir üretim sürecine sahiptir. Ekmeklerin üretildiği fırınların fiziki yapısı, teknolojik donanım kapasitesi, hijyenik durumu ve ekmek üretimini gerçekleştiren ustaların mesleki bilgi ve tecrübesi ekmek kalitesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu araştırmada Bitlis ili Merkez ilçesinde faaliyet gösteren 50 adet ekmek fırınının farklı yönlerden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda fırınların genel, teknolojik, hijyenik durumu, fırında çalışan personellerin sosyo-ekonomik durumu, fırınların ilgili yönetmeliğe uygunluğu ve fırınlardaki ortam havasının mikrobiyal kalitesi belirlenmiştir. Bazı fırınların genel, teknolojik ve hijyenik durumları açısından olumsuzlukların ve eksikliklerin olduğu, ayrıca bazı fırınlarda çalışan personele sosyal ve ekonomik haklarının tam olarak verilmediği görülmüştür. “Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik” kapsamında “Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu”na göre yapılan değerlendirmelerde bazı maddeler açısından yönetmeliğe uygun olmayan fırınların olduğu tespit edilmiştir. Fırınların ortam havasındaki toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı ve maya-küf sayısının farklı kaynaklarda belirtilen limitlerin altında olduğu saptanmıştır. Sağlıklı ve güvenilir ekmek üretimi için fırınlarda gerekli teknolojik donanımın ve hijyenik şartların sağlanması, ekmeklerin mesleki eğitime sahip ustalar tarafından üretilmesi ve denetimlerin/kontrollerin düzenli bir şekilde uygulanması son derece önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Ekmek fırını, hijyen, yönetmelik, ortam havası, mikrobiyal kalite.

Hygienic Condition and Compliance with the Regulation of Bakery in Merkez District of Bitlis Province

Abstract

Bread is a valuable food product that is accepted as a basic food throughout the world and is consumed frequently and lovingly. Bread, which meets a large amount of daily nutritional and energy needs in societies where it is consumed at every meal, has a long-term and labor-intensive production process. The important factors affected the bread quality are; the physical structure, the technological equipment capacity, the hygienic condition of the bakeries where the breads are produced, and the professional knowledge and experience of the masters who produce the bread. The aim of this research was to evaluate 50 bakeries operated in Merkez district of Bitlis province from different aspects. In this context, the general, technological and hygienic status of the bakeries, the socio-economic status of the personnel working in the bakeries, the compliance of the bakeries with the relevant regulation and the microbial quality of the ambient air in the bakeries were determined. It has been observed that some of the bakeries have negativities and deficiencies in terms of their general, technological and hygienic conditions, and the social and economic rights of the personnel

* Sorumlu Yazar: ogursd@gmail.com

working in some bakeries are not fully given. In the evaluations made according to the Inspection and Control Form of the Workplaces Producing Food and Food Contact Substances and Materials within the scope of the Regulation on the Inspection and Control of Food Safety and Quality, it has been determined that there are bakeries that are not in compliance with the regulation in terms of some substances. It was determined that the total number of mesophilic aerobic bacteria and yeast-mold counts in the ambient air of the bakeries were below the limits specified in different sources. For healthy and reliable bread production, it is extremely important to provide the necessary technological equipment and hygienic conditions in the bakeries, to produce bread by professionally trained masters, and to regularly implement inspections/controls.

Keywords: Bakery, hygiene, regulation, ambient air, microbial quality.

1. Giriş

Ekmek, geçmişten günümüze dünyanın her yerinde severek tüketilen, oldukça eski gıda kaynaklarından. Kendine özgü nötr karakter gösteren bir aroma içeren ve beraberinde tüketilen gıdalar için iyi bir taşıyıcı olan ekmek insan beslenmesi için önemli bir yere sahip olan vazgeçilemeyen bir gıdadır. Diğer gıda ürünlerine nazaran daha kolay ve ucuz elde edilebildiği, önemli bir karbonhidrat ve protein kaynağı olduğu için beslenmede ekmeğe çoğunlukla yer verilmektedir. (Elgün ve Ertugay, 2002).

Proteinler, B grubu vitaminler ve mineraller içeren ekmek iyi bir enerji kaynağıdır (Önsüz vd., 2005). Ekmeği oldukça az tükettikleri ileri sürülen Batı Avrupa’da bulunan ülkelerdeki insanların dahi günlük E vitamininin %75’ini, B grubu vitaminlerin %50’sini, karbonhidratların %50’sini ve proteinin %30’unu ekmekten aldıkları saptanmıştır. Doğu ve Güney Avrupa ülkelerinde (Yunanistan, İtalya, Bulgaristan, Romanya, Yugoslavya, Macaristan) ekmek daha fazla tüketilmektedir. Asya’da bulunan, özellikle Yakınoğu ve Uzakdoğu ülkelerinde günlük besin ihtiyacının %75’ini; Peru, Şili, Venezuela ve Meksika gibi Amerika’da bulunan ülkelere günlük besin ihtiyacının %50’sini ekmeğin teşkil ettiği belirtilmektedir (Özkaya, 1992).

İnsanların alışkanlıkları ve kültürel özellikleri ekmek tüketim miktarlarında önemli bir yere sahiptir. Toplumun sosyo-ekonomik yapısına ve kültürel özelliklerine bağlı olarak farklı miktarlarda ekmek tüketilmektedir (Al-Mussali ve Al-Gahri, 2009). Dünyada gelir seviyesinin yüksek olduğu ve daha çok kadının yaşadığı ailelerde beyaz ekmek tüketim miktarının daha az olduğu, bu ailelerin besin değerinin ve fiyatının yüksek olduğu fonksiyonel ekmekleri tercih ettiği görülmektedir (Aksoylu vd., 2014). Aynı zamanda ailelerin eğitim ve kültür seviyeleri açısından da bu durum kendini göstermektedir (Al-Mussali ve Al-Gahri, 2009).

Türkiye’deki kişi başına günlük ekmek tüketim miktarının 2008 yılında 331 g iken, 2012 yılında 319 g olduğu saptanmıştır (Anonim, 2013). 2014 yılındaki verilere göre; dünyada kişi başına ekmek tüketim miktarı sıralamasında Türkiye 319 g ile ilk sırada yer almıştır. Diğer ülkelerdeki ekmek tüketim miktarları ise; Danimarka 195 g, İtalya 186 g, Almanya 170 g, Hollanda, İspanya ve Fransa 160 g, Finlandiya 140 g, İngiltere 89 g olmuştur (SB, 2014). 2015 yılı verilerine göre; yıllık kişi başına ekmek tüketimi Türkiye’de 104 kg, Ukrayna’da 89 kg, Fransa’da 57 kg, Almanya’da 56 kg, Rusya ve Belçika’da 55 kg ve Danimarka’da 45 kg’dır (AIBI, 2015). Bu son veriler dikkate alındığında Türkiye’deki kişi başına günlük ekmek tüketiminin 280 g, yani 1,5 ekmeğe yakın olduğu anlaşılmaktadır.

Toplumlar arasında ekmek tüketim miktarları açısından farklılıkların olmasında hem tüketim alışkanlıklarında meydana gelen değişimlerin hem de ekonomik koşulların etkili olduğu açıktır (Ünal, 1991). Türkiye’de günlük enerji gereksiniminin neredeyse %40’ının ekmekten sağlandığı ve bu oranın kırsal kesimde yaşayan ve düşük gelirli aile bireylerinde %60-70’e yükseldiği görülmektedir (Özkaya, 1992).

Anadolu’da yaklaşık 8 bin yıldır yapılan ekmek üretimi insanlığın kullandığı en eski yöntemlerden biridir. Geleneksel olarak; “un, su, tuz ve mayanın yoğurularak mayalandırılması, kesilip tartıldıktan sonra tekrar son fermantasyona bırakılması ve pişirilmesi”nden elde edilen ekmek, yeni araç-gereçlerin ve malzemelerin bulunmasıyla günümüzde gelişmiş üretim teknolojisiyle üretilmektedir (Elgün ve Ertugay, 2002).

Ancak, teknolojik gelişimi sebebiyle daha iyi hale gelmesi gereken ekmek kalitesinin aksine oldukça bozulduğu görülmüştür. Ekmek kalitesini olumsuz etkileyen üretim aşamasındaki uygunsuz uygulamalar medyaya da yansımaktadır. Yeterince sıklıkta yapılmayan denetimler ve parasal cezalar bu durumun düzeltilmesinde yetersiz kalmakta, işletmelerin plansız, dağınık yapıda ve küçük ölçekli olması, modern koşullarda ve tüketici sağlığına uygun kalitede ekmek üretimi yapılmasını engellemektedir (Önsüz vd., 2005).

Erbil vd. (2001) tarafından İstanbul ili Küçükçekmece ilçesindeki 75 fırında gerçekleştirilen çalışmada; fırınların %30,3’ünün personel bakımından, %29,0’unun genel temizlik bakımından, %27,1’inin işletme içi yönünden, %20,8’inin hammadde kabul-depolama bakımından, %16,0’sinin işletme çevresi yönünden, %15,0’inin paketleme-depolama bakımından, %13,3’ünün teknik donanım, alet-ekipman bakımından yasal düzenlemeye uygun olmadığı bulunmuştur.

Önsüz vd., (2005) tarafından İstanbul ilinin Ümraniye ilçesindeki 136 fırının yönetmeliklere uygunluğunun incelendiği çalışmada fırınların %32,4’ünün ruhsatsız olarak faaliyet gösterdiği, ruhsatlı olarak faaliyet gösteren fırınların %50,46’sının faaliyetinin durdurulması gerektiği tespit edilmiştir.

İstanbul ilindeki 740 adet ekmek fırınının genel durumu, teknolojik durumu, hijyenik durum ve çalışan personelin sosyo-ekonomik durumunun incelendiği çalışmada (Erkan, 2009) fırınların %21’inde sorumlu yönetici istihdam edilmediği, %13’ünde fermantasyon odası bulunduğu, %55’inde ekmek pişirmenin kara fırınlarda yapıldığı, %32’sinde hamurlara makine ile şekil verildiği ve %31’inin ekmek yapımında katkı maddesi kullanmadığı saptanmıştır. Bunun yanında özellikle bone-maske kullanımı ve girişte hijyenik havuz bulundurma durumuna göre işletmelerin hijyenik açıdan oldukça yetersiz olduğu görülmüştür. Fırınlarda görev yapan personelin büyük bir

kısımının ilkököl mezunu olduğu ve yıllık izin kullanmadıkları tespit edilmiştir (Erkan, 2009).

Bu kapsamda planlanan araştırmada, Bitlis ili Merkez ilçesinde faaliyet gösteren ekmek fırınlarının genel, teknolojik ve hijyenik durumu, fırınlarda çalışan personelin sosyo-ekonomik durumu, fırınların yönetmeliğe uygunluğu ve ortam havasının mikrobiyal yükü incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yürütülen araştırmanın materyalini; Bitlis ili Merkez ilçesinde faaliyet gösteren, araştırmaya katılmayı gönüllü olarak kabul eden ekmek ve diğer unlu mamuller üretiminin gerçekleştirildiği 50 adet ekmek fırını oluşturmuştur.

2.2. Metot

Fırın işletmelerinin yönetici birimlerine fırınların genel, teknolojik ve hijyenik durumu, personelin sosyo-ekonomik durumu ve fırınların yönetmeliğe uygunluğu hakkında bilgi verecek olan hususlar ile ilgili sorular sorulmuş ve araştırmacı tarafından fiziksel olarak da gözlemlerde bulunulmuştur.

2.2.1. Fırınların Genel, Teknolojik ve Hijyenik Durumunun ve Personelin Sosyo-Ekonomik Durumunun Tespiti

Fırınların genel, teknolojik ve hijyenik durumunu ve personelin sosyo-ekonomik durumunu tespit etmek amacıyla; fırınların sorumlu işletmecileri ile yüz yüze görüşülerek, ilgili anket formu (Erkan, 2009) uygulanmıştır.

2.2.2. Fırınların Yönetmeliğe Uygunluğunun Tespiti

Fırınların ilgili yönetmeliğe uygunluğunu tespit etmek amacıyla; "Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik"e (TKB, 2008) göre "Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu" kullanılarak puanlama yapılmıştır. Gıda üretimi yapan işyerlerinde bu formda belirtilen asgari teknik ve hijyenik şartlara uyulması zorunludur. Yönetmeliğin 15. Maddesine göre denetim/kontrol sonuçlarının değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken hususlar şunlardır (TKB, 2008):

"MADDE 15- (1) Denetim ve kontrol sonuçlarının değerlendirilmesinde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulur.

a) Gıda işyerlerinin denetim ve kontrolü, bu Yönetmeliğin Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu (EK-2) ve Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemelerin Satış ve Toplu Tüketim Yerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu (EK-3)'de yer alan ağırlık puanları dikkate alınarak yapılır. Denetim ve kontrolü yapılan husus, denetim ve kontrol formundaki koşullara uymuyorsa verilen puan hanesine ağırlık puanı ekisi olarak işaretlenir. Ağırlık puanları sabittir, daha az veya daha çok olarak işaretlenemez.

b) Bu Yönetmeliğin EK-2'sinde yer alan denetim ve kontrol formunda eksik olarak tespit edilen hususlardan;

1) Ağırlık puanı (4) olan eksikliklerden herhangi birinin tespit edilmesi veya ağırlık puanı (3) olarak

tespit edilenlerin puan toplamının 60 ve üzeri olması durumunda, üretilen gıda ve gıda ile temasta bulunan madde ve malzemelere el konulur. Yetkili idarenin teklifi ile el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine ve işyerinin üretim ile ilgili faaliyetten menine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amirin onayı ile karar verilir. İşyerine eksikliklerin giderilmesi için en fazla 30 gün süre verilir. Verilen süre sonunda yapılan denetim ve kontrol sonucuna göre eksikliklerin giderildiğinin tespit edilmesi halinde faaliyetinin devamına, eksikliklerin giderilmediğinin tespit edilmesi durumunda ise işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptaline karar verilir.

2) Ağırlık puanı (3) olarak tespit edilen hususlardan puan toplamının 60'dan az olması veya ağırlık puanı (2) ve (1) olarak tespit edilen hususlarda eksikliğin giderilmesi için iş yerine en fazla 30 gün süre tanınır. Verilen süre sonunda, eksikliklerin giderilmediğinin tespiti halinde üretilen ürünlere el konularak yetkili idarenin teklifi üzerine işyerinin üretim ile ilgili faaliyetinden menine ve el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amir onayı ile karar verilir. Ayrıca işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptal edilir."

2.2.3. Ortam Havasının Mikrobiyal Yükünün Tespiti

Fırınların ortam havasının mikrobiyal yükünü incelemek amacıyla; petri açma yöntemine göre ortam havasındaki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı ve maya-küf (MK) sayısı tespit edilmiştir. TMAB sayımı için Plate Count Agar (Biomark, B298), maya-küf sayımı için Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar (Merck, 1.00466) kullanılmıştır. Fırınların alan ölçümleri yapıldıktan sonra 8 m3 hacme sahip alana 1 petri gelecek şekilde; 1 petri TMAB sayımı için, 1 petri MK sayımı için yerleştirilmiştir. 30 dk sonunda toplanarak laboratuvara getirilen petri TMAB sayımı için 37 °C'de 48 saat, MK sayımı için 25 °C'de 5 gün inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra yapılan koloni sayımına göre mikroorganizma sayıları kob/petri ve kob/m3 olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2005a). Fırınlardaki ortamın kontaminasyon durumu havadaki mikroorganizma sayısı baz alınarak aşağıdaki tabloya göre değerlendirilmiştir (MEGEP, 2007).

Tablo 1. Havadaki mikroorganizma sayısına göre ortamın kontaminasyon durumu (Table 1. Contamination status of the ambient according to the number of microorganisms in the air)

Havadaki Mikroorganizma Sayısı (kob/m ³)	Kontaminasyon Durumu
500	Düşük kontaminasyon vardır.
500-1500	Kontaminasyon vardır.
1500 ve yukarısı	Yüksek kontaminasyon vardır.

2.2.4. İstatistiksel Analizler

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics 25.0 paket programı ile yapılmıştır. Anket formu ile denetim ve kontrol formundan elde edilen veriler sayı (s) ve yüzde (%) olarak belirtilmiştir. Ortam havasının mikrobiyal yüküyle ilgili verilerde iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı Pearson korelasyon analizi ile belirlenmiştir. *p* değeri <0,05 olduğunda gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu kabul edilmiştir (Sümbüloğlu ve Sümbüloğlu, 2002).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Fırınlara Genel, Teknolojik ve Hijyenik Durumu ve Personelin Sosyo-Ekonomik Durumu

3.1.1. Fırınlara Genel Durumu

Fırınlara genel durumuna ait bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur. İşletmelerin %42’sinin faaliyet süresinin 8-12 yıl olduğu, fırın işletmesi sahiplerinin %38’inin yaptığı işten

memnuniyet duyduğu ve çoğunun (%46) lise mezunu olduğu ve işletmelerin %94’ünde sorumlu yönetici olmadığı belirlenmiştir. İşletmelerin %84’ünde ekmek üretimi dışında diğer unlu mamul üretiminin de yapıldığı, %48’inde günde 1001-1500 adet ekmek üretildiği, %52’sinin üretilen ekmeklerin yarısını tezgahattan sattıkları ve %76’sının ekmek üretiminde Tip 1 unu kullandıkları tespit edilmiştir. İşletmelerin %82’sinin unun un fabrikasından temin ettiği, %64’ünün 4-6 tedarikçi ile çalıştığı ve %98’inde ekmek fiyat listesinin resmi tarifeye uygun olduğu saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Fırınlara genel durumu (Table 2. General condition of the bakeries)

Soru	Seçenek	s	%
İşletmenin faaliyet süresi (yıl) ne kadardır?	1-3 yıl	1	2
	4-7 yıl	15	30
	8-12 yıl	21	42
	>13 yıl	13	26
İşletme sahibinin yaptığı işten memnuniyet durumu nedir?	Memnun	19	38
	Memnun değil	21	42
	Kararsız	10	20
İşletme sahibinin eğitim durumu nedir?	İlkokul	5	10
	Ortaokul	13	26
	Lise	23	46
	Üniversite	9	18
İşletmede sorumlu yönetici var mı?	Evet	3	6
	Hayır	47	94
İşletmede ekmek üretimi dışında unlu mamul üretimi var mı?	Evet	42	84
	Hayır	8	16
Fırının günlük ekmek üretim kapasitesi ne kadardır?	0-500 adet	2	4
	501-1000 adet	6	12
	1001-1500 adet	24	48
	>1500 adet	18	36
Üretilen ekmeklerin % kaç tezgahattan satılıyor?	1/4’ü	1	2
	1/2’si	26	52
	3/4’ü	21	42
	Tamamı	2	4
Ekmek üretiminde kullanılan un tipi nedir?	Tip 1	38	76
	Tip 2	9	18
	Harman	0	0
	Lüks	3	6
Un nereden temin ediliyor?	Un fabrikası	41	82
	Toptancı	6	12
	Aracı	1	2
	Diğer	2	4
Fırın kaç tedarikçi ile çalışıyor?	1-2	1	2
	2-4	9	18
	4-6	32	64
	≥7	8	16
Ekmek fiyat listesi resmi tarifeye uygun mu?	Evet	49	98
	Hayır	1	2

Erkan (2009)’ın çalışmasında incelenen ekmek fırınlarının %74’ünün faaliyet süresinin 8 yıldan fazla olduğu, işletme sahiplerinin %68’inin yaptığı işten memnuniyet duyduğu ve %55’inin ilkokul mezunu olduğu belirlenmiştir. İşletmelerin %21’inde sorumlu yönetici istihdam edilmediği, %35’inde sadece ekmek üretimi yapıldığı ve %39’unda günlük ekmek kapasitesinin 1500 adedin üstünde olduğu saptanmıştır (Erkan, 2009). Tekirdağ il merkezindeki fırınların incelendiği çalışmada

(Türk, 2006) fırın sahiplerinin %66’sının ilköğretim mezunu olduğu saptanmıştır.

İşletmelerin çoğunluğunun (%42) 8-12 yıldır ve önemli bir kısmının (%26) >13 yıldır faaliyet gösterdiğinin bulunması (Tablo 2) fırıncılık mesleğinin uzun yıllar sürdürülebildiğini göstermektedir. Bunun en önemli nedeninin fırıncılık mesleğinin çıraklık aşaması ile başlayarak ustalık aşamasına gelmesi ve daha sonra ise işveren konumuna gelmesinden kaynaklanmaktadır. İşletmenin kar durumunun iyi olması da fırın sahiplerinin işlerini sürdürebilmelerini sağlamaktadır.

Yaptıkları işten memnun olmayan ve kararsız olan fırın işletmecilerinin memnuniyetsizlerinin sebebinin; standart bir üretim yapma zorunluluğu, gece çalışılması, kalifiye eleman bulunamaması gibi sebeplerle ekmek ve diğer unlu mamullerin üretiminde yaşanan zorluklardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Yaptıkları işten memnuniyet duyan çoğu işletme sahibi bu işi çocuk yaşta öğrendiklerini, şimdiye kadar geçimlerini bu şekilde sağladıklarını ve çocuklarının da sürdürebilecekleri bir iş olarak gördükleri için memnun olduklarını ifade etmiştir.

Fırın işletmecilerinin eğitim durumunun çoğunlukla ortaokul ve lise düzeyinde olduğunun görülmesi (Tablo 2) genelde aile büyüklerinden bu işi devralan genç işletmecilerin geçimlerini sağlayan bir işe sahip olmaları sebebiyle eğitimlerine devam etmek istememeleri veya uzun süreli ve yoğun çalışma şartlarından dolayı eğitime vakit ayıramamalarından kaynaklanacağı düşünülmektedir. Üniversite mezunu olan fırın işletmecilerinin çoğunun ise kendi mesleklerinde iş bulamadıklarından dolayı bu işi sürdürdükleri görülmüştür. İşletmelerin teknolojik ve hijyenik durumunun iyi olduğu işletme sahiplerinin lise ve üniversite mezunu olduğu, bu kişilerin fırıncılıkla ilgili gelişmeleri daha çok takip ettiği, teknolojiden faydalanmaya daha çok önem verdikleri ve hijyenin sağlanması için gerekli olan ekipman ve malzemelerin bulundurulmasını sağladıkları görülmüştür.

İşletmelerin %94'ünde sorumlu yöneticinin olmaması işletmelerin hijyenik açıdan uygun üretim yapıp yapmadıkları konusunda şüphe uyandırmaktadır. "5996 Sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu"nun (TKB, 2010) beşinci kısmında "Sorumluluklar" başlıklı 22 inci maddesinin 7 inci fıkrasında; gıda işletmelerinin işin çeşidine göre, konu ile ilgili lisans eğitimine sahip en az bir personel çalıştırması gerektiği belirtilmiştir. Kanuna göre; "ekmek ve unlu mamuller üreten iş yerleri (30 beygir üzeri motor gücü bulunan veya toplam 10 kişiden fazla personel çalıştıran iş yerleri)" sorumlu yönetici olarak "gıda mühendisi, ziraat mühendisi, kimya mühendisi, kimyager" meslek unvanına sahip bir personel istihdam etmelidir (TKB, 2010).

Sorumlu yöneticinin görevi mevzuat ve insan sağlığı açısından olumsuzluk oluşturmayacak şekilde üretimin gerçekleştirilmesini temin etmektir. Bu çerçevede; işletmede hijyen ve kalite zinciri oluşturmak, kontrol/denetim görevlilerine yardımcı olmak, laboratuvar ve işletme arasında eşgüdüm oluşturmak, kontrol/denetim raporlarını değerlendirerek gerekli tedbirleri almak sorumlu yöneticinin temel görevleridir (Anonim, 2008). Sorumlu yönetici bulundurmayan fırınların bir kısmı sorumlu yöneticinin sözleşmesinin yeni bittiğini ve bir kısmı fazla maaş istedikleri için çalıştıramadıkları bahanelerini sunmuştur. Bu durum denetim ve kontrollerin de yetersiz olduğunu göstermektedir.

Fırın işletmelerinin çoğunda (%84) ekmek dışında diğer unlu mamullerin de üretilmesi (Tablo 2) fırıncılık sektörünün geliştiğini, ürün çeşidinin ve unlu mamullere olan talebin arttığını kanıtlamaktadır. Sadece ekmek üreten işletmeler ise diğer unlu mamullerin üretimi için yeterli alana sahip olmadıklarını ve kalifiye usta bulamadıklarını belirtmiştir.

Fırınların çoğunun (%48) günlük ekmek üretim kapasitelerinin 1001-1500 adet olduğunun tespit edilmesinin (Tablo 2) bölgede ekmeğe olan talebin fazla olmasından ve işletmelerin çoğunun uzun yıllardır faaliyet göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sektörde henüz daha yeni olan işletmelerdeki ekmek üretim miktarının 0-500 adet ve 5001-1000

adet aralığında olduğu görülmüştür. Bitlis Merkez gibi küçük ve nüfusun az olduğu yerleşim yerlerinde yeni işletmelerin tutunması ve tercih edilmesi zaman almaktadır.

Isparta il merkezinde faal olan 22 fırının incelendiği araştırmada (Gül vd., 2015) fırınların ekmek üretim miktarının ortalama 7338,64 adet/gün olduğu tespit edilmiştir. Ankara ilindeki ekmek fırınlarının incelendiği çalışmada (Taşçı vd., 2017) günde 6 milyona yakın ekmek üretiminin yapıldığı ve fırın başına ekmek üretiminin ortalama 3500 adet olduğu saptanmıştır.

İşlek olan caddelerde bulunan veya mahallede tek olan işletmelerde (%52) ekmeklerin yarısının tezgahtan satıldığı belirlenmiştir (Tablo 2). Tezgahtan satılmayan ekmekler restoran, market, okul, yurt gibi toplu tüketim yerlerine satılmaktadır. Doğrudan satışta ekmek daha yüksek fiyata satılmakta ve tüketiciyle direkt karşılaşıldığı için kaliteli ekmek üretimi kaçınılmazdır. Olağanüstü bir durum dışında kalitesiz ekmek kabul görmemekte ve müşteri kaybına sebep olmaktadır. Toplu ekmek satışlarında ekmek daha düşük fiyattan alınmak istenmekte, ödemelerin belli dönemlerde alınması, olası gecikmeler ve uygun olmayan taşımalar bazı istenmeyen kalite kayıplarına sebep olabilmektedir.

Samsun il merkezindeki fırınların incelendiği çalışmada (Cinemre ve Bozoğlu, 1999) üretilen ekmeğin %62,5'inin market, bakkal, büfe vb. araçlarla pazarlandığı tespit edilmiştir. Ağrı'daki fırınların incelendiği araştırmada (Yiğit ve Doğan, 2010) işletmelerin %46,7'sinin 200-500 ve %16,7'sinin 1000'den fazla ekmeği perakende olarak sattığı, %40'ının 1.500'den az ve %20'sinin 6.000'den fazla ekmeği perakende satış yerlerine ve bayilere toptan olarak verdiği belirlenmiştir.

Ürettiği ekmeğin tamamını tezgahtan satan işletmelerin lüks tip unları kullandığı, ancak işletmelerin çoğunluğunun (%76) ekmek üretiminde Tip 1 unu tercih ettiği belirlenmiştir (Tablo 2). Harman un; lüks un, Tip 1 ve Tip 2 unların belirli miktarlarda karıştırılıp paçal yapılarak elde edilmektedir. Un tiplerine göre unlar arasında fiyat farkı olduğundan dolayı işletmelerin çoğu fiyatı daha uygun olan Tip 1 unu tercih etmektedir. Buğday unu tiplerinden Tip 1 ve Tip 2 ununda kuru gluten miktarı kuru maddede en az %9 iken kül miktarı Tip 1 unda kuru maddede en çok %0,50, Tip 2 unda kuru maddede en çok %0,60 olmaktadır (TOBB, 1987).

Un fabrikalarının temsilcileri fırınlara ulaşarak daha uygun fiyat teklifi verdikleri için işletmelerin çoğunun (%82) unu direkt olarak un fabrikasından temin etmeyi tercih ettiği (Tablo 2) öğrenilmiştir. İşletmeler mecbur kalmadıkça toptancı veya aracından un temini etmek istemediklerini, buradan aldıkları unların daha yüksek fiyatlı olduklarını ifade etmiştir. İşletmelerin aynı kalitede ve sabit fiyatta olan una her zaman ulaşabilmede un fabrikalarına daha çok güvendiği anlaşılmıştır.

Fırınların çoğunluğunun (%64) 4-6 tedarikçi ile çalışmasının sebebi işletmelerin çoğunun (%84) ekmek dışında diğer unlu mamulleri de üretmeleri sebebiyle (Tablo 2) farklı un çeşitlerine ihtiyaç duymalarından kaynaklanmaktadır. Fazla sayıda tedarikçi ile çalışılmak istenmemesi ödemelerde sıkıntı yaşamamak ve aynı kalitedeki una her zaman ulaşabilmek içindir. Sadece ekmek üretimi yapan işletmeler veya az ürün çeşidi üreten işletmeler 1-4 tedarikçi ile çalışmaktadır.

İşletmelerin tamamına yakınında (%98) ekmek fiyat listesinin resmi tarifelere uygun olduğunun belirlenmesi (Tablo 2) fırınların bu konudaki gerekliliği yerine getirdiğini göstermektedir. Fırın sayısının çok olduğu büyük şehirlerdeki

farklı semt ve ilçelerde rekabet ve değişen talep sebebiyle ekmekte belirlenen fiyatların resmi tarifeye uymadığı ve değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Fırın sayısının çok olmaması ve küçük bir yerleşim yeri olması Merkez ilçesinde üretilen ekmeklerde fiyat farklılığının yaşanmasını engellemektedir.

3.1.2. Fırınlara Teknolojik Durumu

Fırınlara teknolojik durumuna ait bilgiler Tablo 3'te sunulmuştur. Fırınlara %50'sinde pişirmenin kara fırında

(odunlu fırın) yapıldığı, %90'ında un eleme makinesinin bulunmadığı, %6'sında hamur kesme makinesinin kullanılmadığı ve %70'inde hamur yoğurma işleminin çatal kazanda yapıldığı belirlenmiştir. İşletmelerin %10'unda bastonların makine ile değil el ile büküldüğü, %10'unda fermantasyon odasının olmadığı, %76'sının ekmek üretiminde ekşi maya kullanmadığı tespit edilmiş ve işletmelerin hepsi ekmek üretiminde katkı maddesi kullanmadıklarını belirtmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Fırınlara teknolojik durumu (Table 3. Technological status of the bakeries)

Soru	Seçenek	s	%
Ekmek pişirmede hangi tip fırın kullanılıyor?	Kara fırın (odunlu fırın)	25	50
	Borulu fırın	6	12
	Matador katlı fırın	18	36
	Döner arabalı fırın	1	2
İşletmede un eleme makinesi var mı?	Evet	5	10
	Hayır	45	90
İşletmede hamur kesme makinesi kullanılıyor mu?	Evet	47	94
	Hayır	3	6
Hamur yoğurmada kullanılan kazan tipi nedir?	Çatal kazan	35	70
	Mikser kazan	15	30
Bastonların bükülmesi nasıl sağlanıyor?	El ile bükülüyor	5	10
	Makine ile bükülüyor	45	90
Fermantasyon odası var mı?	Evet	45	90
	Hayır	5	10
Ekmek üretiminde ekşi maya kullanılıyor mu?	Evet	12	24
	Hayır	38	76
Ekmek üretiminde katkı maddesi kullanılıyor mu?	Evet	0	0
	Hayır	50	100

Samsun il merkezindeki fırınlara incelendiği çalışmada (Cinemre ve Bozoğlu, 1999); fırınlara büyük kısmında pişirmenin kara fırında yapıldığı belirlenmiştir. İstanbul ili Pendik ilçesindeki fırınlara incelendiği çalışmada (Yeter vd., 2001) fırınlara tamamında yoğurma makinesinin, %52'sinde otomatik un eleğinin, %51'inde işleme ve kesme-tartma makinesinin olduğu, %11,8'inde dinlendirme ve ambalajlama yerinin bulunduğu gözlenmiştir. Malakootian ve Dowlatsahi (2005) İran'daki ekmek fırınlara %75'inin doğrudan ısıtmalı fuel-oil veya odun fırını olduğunu tespit etmiştir. Tekirdağ il merkezindeki fırınlara incelendiği çalışmada (Tarık, 2006) fırınlara %75'inde ekmek pişirmenin taş fırın veya kara fırın olarak bilinen direkt ısıtmalı fırınlarda yapıldığı görülmüştür. Kara fırınlarda ekmek; is, kurum, kül ve karbondioksit gibi yabancı maddelerle aynı ortamda bulunmaktadır (Tarık, 2006). Erkan (2009)'ın çalışmasında fırınlara %26'sında hamur kesme makinesinin bulunmadığı, %55'inde ekmeklerin kara fırında pişirildiği, %32'sinde hamurlara makine ile şekil verildiği, %13'ünde fermantasyon odasının bulunduğu ve %31'inin ekmek yapımında katkı maddesi kullanmadığı saptanmıştır. Ağrı'daki fırın işletmelerinin incelendiği araştırmada (Yiğit ve Doğan, 2010) işletmelerin tamamının çatal tip yoğurucu kullandıkları, %63,3'ünde ara dinlendirme ünitesinin ve %51,7'sinde hamuru porsiyonlamak için kullanılan kes-tart ünitesinin bulunduğu, un eleme işleminin fırınlara %30'unda el eleği ile %63,3'ünde eleme makinesi ile yapıldığı belirlenmiştir (Yiğit ve Doğan, 2010).

Fırınlara yarısının (%50) ekmek pişirmede odunun yakıldığı kara fırınlara kullanmalarındaki (Tablo 3) en büyük

etken tüketiciler tarafından odun ateşinde pişirilen ekmeğin daha çok beğenilmesi ve daha çok tercih edilmesidir. Ekmeğin dışındaki unlu mamullerin pişirilmesinde doğalgaz ile çalışan matador katlı fırınlara daha çok kullanıldığı görülmüştür.

Ekmek hamurunun hazırlanması aşamasında unun elenmesi bir zorunluluk olduğu halde, fırınlara %90'ında un eleme makinesinin olmadığı (Tablo 3), un eleme makinesine sahip işletmelerde ise her zaman makine kullanılmadığı ifade edilmiştir. Un çuvalları üzerinde unun elenmesi gerektiğiyle ilgili uyarılar bulunmasına rağmen bu işlem basamağının atlanması ekmek içerisinde yabancı madde bulunması probleminde bir etken olabilmektedir.

İşletmelerin çoğunluğunda (%94) hamur kesme makinesinin kullanılması (Tablo 3) ekmekte gramaj açısından tebliğe uygunsuzluk sorununun yaşanmasını engellemektedir. Hamur kesme makinesinin kullanılmadığı fırınlara (%6) genellikle daha az ekmek üreten ve ürettikleri ekmekleri genellikle tezgahtan satan fırınlara olduğu görülmüştür. Ancak, hamur kesme makinesinin kullanılmadığı, hamur kesim işleminin elle yapıldığı işletmelerde gramaj sorunları yaşanabilir.

“TGK Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği”nde (TGK, 2012);

“ekmek, kepekli ekmek, tam buğday unlu ekmek, tam buğday ekmeği ve ekşi hamur ekmekleri en az 200 gram ağırlıktan başlayarak 10'ar gram arttırılmak suretiyle piyasaya arz edilir. Toplu tüketim yerleri için çeşitli sözleşme ve taahhütler çerçevesinde üretilen, doğrudan tüketiciye arz edilmeyen ekmek,

kepekli ekmeğe, tam buğday unlu ekmeğe, tam buğday ekmeği ve ekşi hamur ekmeği muhtelif ağırlıklarda üretilebilir.” şeklinde belirtilmiştir.

İşletmelerin çoğunda (%70) hamur yoğurma işleminde çatal kazan kullanılmasının (Tablo 3) alışkanlık ve daha ucuz olmasından kaynaklandığı öğrenilmiştir. Hamur mikser kazanlarda, çatal kazanlarda yoğurulduğu sürenin 1/3’ü sürede yoğrulabilmektedir (Sukas, 1984). Ancak mikser kazanların maliyeti çatal kazanlardan daha yüksek olduğu için daha az tercih edilmektedir.

İşletmelerin büyük bir kısmında (%90) hamur bastonlarının bükülmesinde makine kullanılması ustaların teknolojiyen faydalandıklarını göstermektedir. Baston bükme makineleri ustaların iş yükünü azaltmakta ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Fırınlarda genelinde (%60) ekmeğe üretim kapasitesinin yüksek olması (Tablo 2) makinelerden yararlanmayı kaçınılmaz kılmaktadır.

İşletmelerin genelinde (%90) fermantasyon odasının olduğunun saptanması (Tablo 3) fırınların fiziki açıdan modern ekmeğe üretimi için gerekli olan şekilde dizayn edildiğini göstermektedir. Fermantasyon odasının olmadığı işletmelerde hamurlar genellikle hava akımının bulunmadığı ve işletme alanının en sıcak noktasında fermantasyona bırakıldığından hamur yüzeylerinde kuruma sorunu yaşanmaktadır.

Ekşi maya kullanımı bir gün önceden hazırlanan ekmeğe hamurundan kalan kısmın sonraki gün yoğurulan ekmeğe hamuruna ilave edilmesidir. Bu uygulama ustaların üretim alışkanlıklarıyla şekillenmektedir. İşletmelerin önemli kısmında (%76) ustaların ekmeğe üretiminde ekşi maya kullanmayı tercih etmedikleri, ancak ekmeğe aromasını olumlu yönde geliştirdiği bilinen fırınların (%24) ekşi hamur mayasının kullanımından vazgeçmediği ortaya çıkmıştır (Tablo 3). Ekşi mayanın, ekmeğelerin besin değerini, lezzetini, dokusunu ve raf ömrünü yükseltmede oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. Ekşi mayanın temel fonksiyonu; daha fazla gözeneğe sahip ekmeğe üretimini gerçekleştirmek için hamuru mayalamaktır. Günümüzde, tüketicilerin daha sağlıklı, organik ve doğal lezzete sahip gıdaları daha çok tercih etmesi sebebiyle ekşi hamur mayasından geleneksel olarak ekmeğe üretimi önemli bir ivme kazanmıştır (Behera ve Ray, 2015).

Fırınlarda hepsinin ekmeğe üretiminde katkı maddesi kullanmadığını belirtmesine (Tablo 3) rağmen bunun doğru olup olmadığı ancak düzenli yapılan denetim ve kontroller sonucunda ortaya çıkabilir.

Ağrı’daki fırınların incelendiği araştırmada (Yiğit ve Doğan, 2010) fırınların yalnızca %3,3’ünün katkı maddesi kullanmadığı, %73,4’ünün her zaman ve tavsiye edilen miktarda kullandığı, geriye kalan fırınlarda ise hamurkar gerekli gördüğünde ve onun önerdiği miktarda katkı maddesi kullanıldığı saptanmıştır. Fırınlarda tamamına yakını katkı maddesi kullanım sebeplerinin; ekmeğin iyi kabarması, güzel görünümlü olması, ekmeğe için yumuşak olması ve geç bayatlaması olduğunu ifade etmişlerdir (Yiğit ve Doğan, 2010).

TGK Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliğine (TGK, 2013) istinaden 1 Temmuz 2013 tarihinden itibaren “TGK Ekmeğe ve Ekmeğe Çeşitleri Tebliği” (TGK, 2012) çerçevesinde ambalajlanmadan piyasaya sunulan “ekmeğe, tam buğday ekmeği, tam buğday unlu ekmeğe, kepekli ekmeğe ve ekşi hamur ekmeğelerine” katkı maddesi katılması yasaklanmıştır. Ekmeğelerin hammaddesi olan buğday unlarına yalnızca

fabrikalardaki üretim aşamasında katkı maddesi olarak askorbik asit (E 300) katılabileceği belirtilmiştir. Özel ekmeğe statüsünde olan, ambalajlanarak satılan ekmeğelerin üretiminde ise birçok katkı maddesi kullanılabilir. Ekmeğe üretiminde kullanılan emülgatörler, guar gum, laktik asit, askorbik asit, kalsiyum propiyonat, sorbik asit, malik asit, sodyum bikarbonat, gliserol, L-sistein, amilaz gibi gıda katkı maddeleri TGK’de belirtildiği miktarlarda kullanıldığında ve tüketildiğinde genel olarak güvenilir kabul edilmektedir (TGK, 2013).

3.1.3. Fırınlarda Hijyenik Durumu

Fırınlarda hijyenik durumuna ait bilgiler Tablo 4’te sunulmuştur. İlk girişte işletmelerin %90’ının genel hijyenik görünümünün iyi olduğu, işletmelerin hiçbirinde hamurhane girişinde hijyenik havuz olmadığı, işletmelerin hepsinde imalathanede çalışan personelin iş elbisesi giydiği, %94’ünde tuvaletin imalathaneye direkt olarak açılmadığı ve %92’sinde çalışan personel için soyunma odası olduğu tespit edilmiştir. İşletmelerin %20’sinde bone, maske kullanılmadığı, işletmelerin hepsinde un deposunun olduğu belirlenmiştir. Personel portör muayenesinin yapılmadığı işletme oranının %18, haşere ve kemirgenlerle mücadele için ilaçlamanın yapılmadığı işletme oranının %12 olduğu saptanmıştır (Tablo 4).

Konya’daki fırınların incelendiği araştırmada (Çatalkaya, 1997) genel olarak fırınların fiziksel ve hijyenik açıdan yetersiz oldukları saptanmıştır. İşletmelerin %73,1’inin genel temizlik açısından kötü durumda olduğu, fırın personelinin kişisel hijyenlerine dikkat etmedikleri, üniforma, önlük ve bone kullanmadıkları belirlenmiştir. Tekirdağ ilindeki fırınların incelendiği araştırmada (Yaman, 1999) fırınların %46’sının hijyen kurallarına uymadığı ve personelin %63’ünün hijyen konusunda bilgi sahibi olmadığı saptanmıştır. İstanbul ili Pendik ilçesindeki fırınların incelendiği çalışmada (Yeter vd., 2001) işyerlerinin %18,6’sında un deposunun bulunmadığı, işletmelerin %16,9’unda hiç ilaçlama yapılmadığı, %12,7’sinde 6 ayda bir, %52’sinde 3 ayda bir ve %28,4’ünde ayda bir ilaçlama yapıldığı tespit edilmiştir.

İstanbul-Maltepe’deki ekmeğe fırınlarının incelendiği araştırmada (Şavla vd., 2001) günlük ekmeğe üretim miktarının 4000’den fazla olduğu işletmelerin hijyenik ve teknik donanım açısından günlük ekmeğe üretim miktarının daha düşük olduğu işletmelere göre daha iyi durumda olduğu gözlenmiştir. Maltepe ilçesindeki fırınların yarısından fazlasının ruhsatsız olduğu ve bu işletmelerin hijyenik ve teknik donanım bakımından ruhsat almak için elverişli olmadığı görülmüştür (Şavla vd., 2001). Malakootan ve Dowlashahi (2005) İran’daki ekmeğe fırınlarının ancak %24,2’sinin Avrupa standartları düzeyinde, gerekli hijyenik koşullara sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tekirdağ il merkezindeki fırınların incelendiği çalışmada (Tarık, 2006) tamamının HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point-Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları) sisteminden habersiz olduğu saptanmıştır. Erkan (2009)’ın çalışmasında özellikle bone-maske kullanımı ve girişte hijyenik havuz bulundurma durumuna göre işletmelerin hijyenik açıdan oldukça yetersiz olduğu görülmüştür. Ağrı’daki fırınların incelendiği araştırmada (Yiğit ve Doğan, 2010) fırınların %93,3’ünün personel için yeterli soyunma odası ve duş imkânına sahip olduğu gözlenmiştir. Fırınlardaki çalışanların %46,7’sinin ekmeğe üretiminde üniforma, önlük, tulum gibi iş kıyafeti kullanırken, %33,3’ünün bunlara ilaveten kepe veya bone de kullandığı tespit edilmiştir. Fırınlarda çoğu (%70) haşere ve kemirgenlere karşı belirli aralıklarla ilaçlama yaptıklarını belirtmiş, bu amaçla sineklik ve kapan kullanan işletmelerin de (%26,7) olduğu görülmüştür. Tüm fırınların

personelin sağlık kontrollerini her üç ayda bir düzenli olarak yaptırdığı ve bu konudaki yasal sorumluluklarını

gerçekleştirdikleri belirlenmiştir (Yiğit ve Doğan, 2010).

Tablo 4. Fırınlara hijyenik durumu (Table 4. Hygienic status of the bakeries)

Soru	Seçenek	s	%
Fırınlara hijyenik görünümü nasıl?	İyi	45	90
	Kötü	5	10
Hamurhane girişinde hijyenik havuz var mı?	Evet	0	0
	Hayır	50	100
İmalathanede çalışan personel iş elbisesi giyiyor mu?	Evet	50	100
	Hayır	0	0
İşletmede tuvalet imalathaneye direkt olarak mı açılıyor?	Evet	3	6
	Hayır	47	94
Fırında çalışan personel için soyunma odası var mı?	Evet	46	92
	Hayır	4	8
Fırında bone, maske kullanılıyor mu?	Evet	40	80
	Hayır	10	20
Fırında un deposu var mı?	Evet	50	100
	Hayır	0	0
Personelin portör muayenesi yapılıyor mu?	Evet	41	82
	Hayır	9	18
İlaçlama yapılıyor mu?	Evet	44	88
	Hayır	6	12

Fırınlara genel hijyenik görünümü anket çalışmasının gerçekleştirilmesi sırasında yapılan gözlemlere dayanılarak yapılmış ve büyük kısmının (%90) hijyenik görünümünün iyi olduğu kanısına varılmıştır (Tablo 4). Bu gözlemlerde işletmelerin fiziki yerleşimine, pencere ve kapılarda alınan önlemlere, zemin, duvarların ve tavanın özelliğine, lavabo ve muslukların yapısına, kullanılan alet-ekipman kalitesine ve ortamın temizliğine dikkat edilmiştir (MEGEP, 2018). Fiziki açıdan uygun şekilde dizayn edilmiş bir işletmenin hijyenik açıdan iyi görünmesini ve gerçekten hijyenik olmasını sağlayan en önemli faktör temizlikten sorumlu kişilerin uygulayacağı doğru hijyen uygulamalarıdır.

Unun elendiği, hamurun yoğurulduğu ve şekil verildiği alan olan hamurhane alanında hijyenin sürekliliğinin sağlanması için girişte hijyenik ayak havuzlarının bulunması ve kullanılması gerekmektedir. Fakat incelenen fırınların hiçbirinde hamurhane girişlerinde hijyenik havuzların olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4) bu gerekliliğin yerine getirilmediğini göstermiştir.

Fırınlarda hijyenik üretimin gerçekleştirilmesi için personelin iş elbisesi giymesi uyulması gereken kuralların başında gelmektedir. “Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik”te (TKB, 2008) personelin tercihen açık renkli, kolay temizlenebilir; özel ayakkabı veya çizme, düğmesiz ve cepsiz iş kıyafeti ve gereken koruyucu kıyafetleri giymesi ve iş kıyafetlerinin temizliğinin sürekli olarak sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmaya dahil edilen fırınların hepsinde imalathanede çalışan personelin iş elbisesi giydiğinin belirlenmesiyle (Tablo 4) personelin bu konuda bilinçli olduğu ortaya çıkmıştır.

“Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik”te belirtildiği üzere tuvaletler gıda üretim yerlerine doğrudan açılmamalı ve üretim alanlarından ayrı olmalıdır (TKB, 2008). Fırınlara %94’ünün bu kurala uygun olduğunun bulunması (Tablo 4) işletmelerde tuvaletten kaynaklı

bulaşmaların engellenmesinde gereken temel önlemin alındığını göstermektedir.

“Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik”te göre personel soyunma odaları yeterli sayıda, üretim alanından ayrı bir yerde ve temiz olmalı ve odalarda hijyen kurallarını hatırlatan uyarı levhaları bulundurulmalıdır (TKB, 2008). Personel soyunma odaları ferah ve geniş olarak tasarlanmalıdır. Soyunma odaları hijyenik ve kolay temizlenebilen döşemelerle kaplanmalı, ısıtma, aydınlatma ve havalandırma iyi yapılmalıdır. Soyunma odalarında ferah ve uygun genişlikte olan yeterli sayıda duş bulunmalıdır. Personelin kişisel eşyalarını ve kıyafetlerini koyabileceği yeterli büyüklükte dolaplar olmalıdır. İşyeri dışında giyilen kıyafetler, ayakkabı ve çantalar soyunma odalarında bırakılmamalı, buralarda bir şey yenilip içilmemeli, sigara kullanılmamalıdır (MEGEP, 2010). Fırınlara %8’inin bu kurala uygun olmamasının (Tablo 4) sebebinin işletme dizaynındaki hatalardan veya işletme alanının yetersiz olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

“Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik”te ürünle direkt temasta bulunan personelin kolları, sakal, bıyık ve saçları kontaminasyona sebebiyet vermeyecek şekilde örtülü olması gerektiği belirtilmiştir (TKB, 2008). İşletmelerin %20’sinde çalışan personelin bone, maske kullanılmayarak bu kurala uymadığı görülmüştür (Tablo 4). Fırınlarda çalışan işçiler uzun saatlerce sıcak bir ortamda çalıştıkları için bone ve maske kullanımından kaçınmaktadırlar.

Mikroorganizmaların gıda ürünlerine kontamine olmasında personel en büyük kaynak olarak kabul edilmektedir. İnsanlar ağızlarında, burunlarında, bağırsaklarında ve ellerinde gıda zehirlenmesine sebep olan pek çok mikroorganizmaya sahiptir. Gıda ürünlerinin üretimi, dağıtımı ve depolanması esnasında gereken özenin gösterilmemesi, önemsememe, ihmal ve dikkatsizlik kontaminasyona ve böylece gıda zehirlenmesinin oluşumuna sebep olmaktadır. Deri üzerindeki kesik, çatlak ve yaralarda milyonlarca bakteri gelişebilmektedir. Tuvaletten sonra yıkanmayan ellerde dışkı kaynaklı bakteriler mevcuttur.

Personelin kıyafetleri, sakal ve saçlarında, öksürme, hapşırma ile havaya dağılan tükürüğünde çok sayıda mikroorganizma bulunmaktadır (Bilici, 2008; Bulduk ve Bulduk, 2014). Personel hijyeninin sağlanması hijyenik ekmek üretiminin gerçekleştirilmesinde vazgeçilmezdir. Maske, bone, eldiven gibi kişisel koruyucu donanımların gerektiği her zaman kullanılmasının önemi periyodik verilecek eğitimlerle düzenli olarak hatırlatılmalıdır.

Ekmek üretiminde en fazla kullanılan temel hammadde olması sebebiyle unun uygun bir depo ortamında muhafaza edilmesi oldukça önemlidir. Fırınlarda hepsinde un deposunun olduğunun saptanması (Tablo 4) işletmelerce bu konuya gereken önemin verildiğini göstermektedir. Un deposunun üretim alanından ayrı bir yerde olması, depo içerisinde nem ve sıcaklık kontrolünün sağlanması gerekmektedir. İşletmelerde kullanılan ambalaj ve temizlik malzemeleri ayrı ayrı depolarda muhafaza edilmeli, ekmek kasalarının alt tarafına dezenfekte edilebilir özellikte plastik paletler yerleştirilmelidir. İşletme içerisinde uygun ekipmanlarla yeterli havalandırma yapılmalıdır. Dışarıya açılan pencere ve kapılara tel sineklik takılarak haşere kontrolü sağlanmalıdır (Anonim, 2005b).

Fırınlarda çalışan personelin portör muayenesinin yapılmadığını belirlenmesi (Tablo 4) yasal zorunluluğun yerine getirilmediğini ve bu konudaki denetim ve kontrollerin yetersiz olduğunu göstermektedir.

Sağlık Bakanlığı tarafından belirtilen, gıda işletmelerinde çalışan personele yapılması gereken portör muayenelerinin çeşidi ve uygulanma sıklığı şöyledir:

1. Tüberküloz yönünden, yılda bir kez akciğer grafisi
2. Staphylococcus aureus yönünden, 6 ayda bir boğaz ve burun kültürü
3. Helminth yumurtaları, Giardia lamblia kistleri ve Entamoeba histolytica kistleri yönünden, 6 ayda bir dışkı mikroskopik incelemesi
4. Shigella ve Salmonella yönünden, 6 ayda bir gaita kültürü (Tayar, 2021).

İşletmelerin %88'inin periyodik olarak ilaçlandığı, %12'sinde ise hiç ilaçlama yapılmadığı belirlenmiştir (Tablo 4). "Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik"te; işletmelerde zararlı mücadelesinin bir program dahilinde ve düzenli olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Tüm fiziksel önlem ve yemleme noktalarının gösterildiği tesis içi yerleşim planının hazırlanarak daima kontrol altında tutulması önerilmiştir. Bu amaçla kullanılan fiziksel önlemler, elektrikli sinek tutucu ve kapan için periyodik bakım ve temizlik işlemlerinin yürütülmesi ve bütün faaliyetlerin kaydedilmesi gerektiği bildirilmiştir. Zararlı mücadelesinde kullanılan ilaçlar veya sağlık için risk oluşturan tehlikeli maddelerin, ambalajları üzerinde kullanım talimatları ve toksik etkileri için uyarıların yazılı olduğu uygun etiketler taşıması tavsiye edilmiştir. Kullanılan ilaçların üretim alanından ayrı bir depoda eğitimli yetkili personel tarafından açılıp kapanan, kilitlenebilir odalarda saklanması gerektiği belirtilmiştir. İlaçların nakledilmesi ve kullanımının yine eğitimli yetkili personelce yapılması gerektiği ifade edilmiştir (TKB, 2008).

3.1.4. Personelin Sosyo-Ekonomik Durumu

Fırınlarda çalışan personelin sosyo-ekonomik durumuna ait bilgiler Tablo 5'te sunulmuştur. Fırınlarda çalışan personelin çoğunun lise mezunu olduğu, %20'sinde personelin günde 10 saatin üzerinde çalıştığı ve sadece %14'ünde Sosyal Sigortalar Kurumu (SSK) bildirgesindeki çalışan sayısı ile mevcut çalışan sayısının doğruluk gösterdiği saptanmıştır. Fırınlarda çalışan personelin %82) personelin asgari ücret aldığı, %14'ünde personelin yıllık izin kullandığı ve yalnızca %26'sında personelin ekmek üretimi ile ilgili eğitim aldığı ortaya çıkmıştır (Tablo 5).

Tekirdağ ilindeki fırınların incelendiği araştırmada (Yaman, 1999) işletmelerde lise veya yüksekokul düzeyinde eğitim gören personel bulunmadığı ve fırıncılık yapanların %54'ünün bu mesleğe herhangi bir gıda eğitimi almadan başladığı belirlenmiştir.

Tablo 5. Personelin sosyo-ekonomik durumu (Table 5. Socio-economic status of the personnel)

Soru	Seçenek	s	%
Çalışan personelin eğitim durumu (ağırlıklı olarak) nedir?	İlkokul	1	2
	Ortaokul	22	44
	Lise	27	54
İşçiler günde kaç saat çalışıyorlar?	2-4	1	2
	8-10	39	78
	>10	10	20
Fırının SSK bildirgesindeki çalışan sayısı ile mevcut çalışan sayısı doğruluk gösteriyor mu?	Bildirge ile aynı	7	14
	Daha fazla	43	86
	Asgari ücret	41	82
İşçilerin aylık ortalama kazancı nedir?	Asgari ücretten daha fazla	8	16
	Asgari ücretten daha az	1	2
	Evet	7	14
İşçiler yıllık izin kullanıyorlar mı?	Hayır	43	86
	Eğitim alanlar	13	26
Fırında çalışan işçiler ekmek üretimi ile ilgili (ağırlıklı olarak) herhangi bir eğitim almışlar mı?	Eğitim alanlar	13	26
	Eğitim almayanlar	37	74

Tekirdağ il merkezindeki fırınların incelendiği çalışmada (Tarık, 2006) fırında çalışanların %90'ının ilköğretim mezunu olduğu, Erkan (2009)'ın çalışmasında personelin %62'sinin ilköğretim mezunu olduğu ve %23'ünün yıllık izin kullandığı tespit edilmiştir.

Fırınlarda çalışan personelin eğitim durumunun ağırlıklı olarak lise ve ortaokul olduğunun belirlenmesi (Tablo 5) fırıncılık mesleğinin çocuk yaşlarda çıraklıkla başlayıp ustalığa doğru ilerlemesiyle gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ekmek üretim prosesi birçok aşamadan oluştuğu için iş yükünün ağır olması sebebiyle işçilerin çalışma saatleri uzun olmaktadır. Genellikle gece başlayan ekmek üretimi sabahın ilk saatlerine kadar sürmekte, gün aydınlandıktan sonra ise ekmek sevkiyatı ve satışıyla süreç devam etmektedir. İşçi sayısının az olduğu işletmelerde nöbet usulü çalışma ve mesaiye kalma uygulamaları da olmaktadır. Bu sebeple fırınlarda çalışan personelin genellikle (%78) günde 8-10 saat, azımsanmayacak bir kısmının (%20) ise günde 10 saatin üzerinde çalıştığı saptanmıştır (Tablo 5). Tek bir ustayla ekmek dışındaki diğer unlu mamullerin üretimini de gerçekleştirilmesinin istenmesi çalışma saatlerini uzatan başka bir etkidir. On saati aşan uzun çalışma saatleri işçilerin uyumak dışındaki çoğu zamanını işyerinde geçirmelerine ve sosyal yaşamdan uzaklaşmalarına sebep olmaktadır.

Uzun çalışma saatleri, ağır iş yükü olan bir sektör olduğu için fırın sahipleri zaman zaman işçi bulma sıkıntısı yaşamakta ve bu nedenle fırınlarda işçi değişimi yaşanmaktadır. Fırınlarda %86'sında mevcut çalışan sayısının SSK bildirgesindeki çalışan sayısından fazla olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu durumun işe yeni alınan işçilerin çalışma şartlarına adapte olamayacaklarının beklenmesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Göç yoluyla ilçeye gelen kişilerin geçim sıkıntısı nedeniyle daha düşük ücretle ve sigortasız çalışmaya razı olması da bir diğer faktördür.

Fırınlarda çalışan işçiler emek yoğun bir meslek olmasına rağmen bunun karşılığının tam olarak alınamadığından bahsetmektedirler. İşçiler arasında en fazla ücreti ustalar almakta, diğer çalışanların ücretleri ustalar ya da işveren tarafından belirlenmektedir. Fırınlarda çalışan işçilerin çoğunun (%82) aylık kazancının asgari ücret ve %16'sının asgari ücretten daha fazla olduğunun belirlenmesi (Tablo 5) usta sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Sevkiyat, taşıma, yük indirme gibi işlerde çalışan bazı vasıfsız işçilerin ücretleri günlük veya haftalık olarak ödenmektedir.

İnsanlar her gün ekmek tükettiği ve özellikle taze olarak tüketmek istedikleri için ekmek üretimi aralıksız devam etmek zorundadır. Bu sebeple işçiler resmi tatiller dahil her gün bir şekilde çalışmaktadır. Ekmek üretimi bazen daha az işçi sayısı ile, bazen de gündelik işçilerle her zaman idame ettirilmektedir. İşçi değişiminin olması ve işçinin işletmede bir yılı doldurmaması yıllık izin hakkını ortadan kaldırmaktadır. İncelenen fırınların çoğunda (%86) çalışanların yıllık izin kullanmadığının ortaya çıkması (Tablo 5) işçilerin sosyal haklarını da tam olarak alamadıklarını göstermektedir.

Ekmek ve diğer unlu mamullerin üretiminde çalışan ustalar dışında işçilerin bir belgeye sahip olma zorunluluğu olmadığı için fırınlarda çalışan işçilerin çoğunun (%74) ekmek üretimiyle ilgili herhangi bir eğitim almadığı belirlenmiştir (Tablo 5). Bu durumda zaman zaman eğitimsiz veya usta belgesi olmayan kişilerin de ekmek üretimini gerçekleştirmesi kaçınılmazdır.

“TGK Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği”nde (TGK, 2012) ekmeklerin üretim, satış ve dağıtımında görev yapan bütün personelin hijyen eğitimi alması zorunlu kılınmıştır. Bu çerçevede; “Bu tebliğ kapsamında faaliyet gösteren gıda işletmecilerinin sorumluluk alanları ile ilgili çalıştırdıkları personelin gıda hijyeni ile ilgili konularda eğitilmelerini sağlarlar. Bu Tebliğ kapsamında verilecek eğitimlerle ilgili olarak Bakanlık; ilgili meslek federasyonu, kamu kurum ve kuruluşları ve üniversiteler ile işbirliği yapar.” hükmü eklenmiştir.

3.2. Fırınlarda Çalışan İşçilerin Ücretleri ve Çalışma Şartları

“Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu”na (TKB, 2008) göre verilen puanlar değerlendirilerek fırınların yönetmeliğe uygunluğu belirlenmiştir. Fırınlarda yasal işlem maddelerine ve ağırlık puanı 4 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Fırınlarda çalışan işçilerin ücretleri ve çalışma şartları (Table 6. Distribution of bakeries according to their suitability for legal action items and items with a weight score of 4)

Madde	Fırınlarda çalışan işçilerin ücretleri ve çalışma şartları			
	Uygun		Uygun değil	
	s	%	s	%
E1	25	50	25	50
E4	10	20	40	80
E5	36	72	14	28
F2	18	36	32	64
F3	35	70	15	30
I1	38	82	10	20
I2	9	18	41	82
İ1	7	14	43	86
Madde	Fırınlarda çalışan işçilerin ücretleri ve çalışma şartları			
	Uygun		Uygun değil	
	s	%	s	%
B1	47	94	47	94
F1	17	34	17	34

İşletmelerin %72'sinin E5 maddesine (“işletmeye kabul edilen ham, yardımcı madde ve gıda ile temasta bulunan madde ve malzemeler ya da katkı maddeleri, işletmenin veya tedarikçinin belirlediği parti/seri no'su ile tanımlanmalı ve işleme sürecinde izlenebilirliği sağlanmalı”), %70'inin F3 maddesine (“gıda ve gıda ile temasta bulunan madde ve

malzemelerle doğrudan temasta bulunan yüzeylerde kullanılan buhar, Türk gıda mevzuatına uygun, içilebilir nitelikteki sudan elde edilmeli”) ve %82'sinin I1 maddesine (“işyerinde çalışan personelin sağlık raporları olmalı ve kontrolleri periyodik olarak yapılmalı”) uygun olduğu saptanmıştır (Tablo 6).

İşletmelerin %50'sinin E1 maddesine (“Türk gıda mevzuatına uygun olmayan hammadde, gıda bileşenleri veya

gıda ile temasta bulunan madde ve malzemeler üretimde kullanılmamalı ve satışa sunulmamalı”) uygun olmadığı, %80’inin E4 maddesine (“işyerinde üretilen ürünle ilgisi olmayan taklit ve taşıyıcı amacıyla kullanılabilir maddeler bulunmamalı”), %64’ünün F2 maddesine (“gıda ile temas edecek şekilde kullanılan buz, Türk gıda mevzuatına uygun, içilebilir nitelikte sudan üretilmiş olmalı ve işletme içinde hijyen kurallarına göre depolanmalı ve taşınmalı”), %82’sinin I2 maddesine (“gıdalarla taşınabilecek hastalıklara veya hastalık belirtilerine (sarılık, ishal, kusma, ateş, ateşli boğaz ağrısı, burunda veya gözde veya kulakta akıntı vb.) sahip olduğu bilinen veya sahip olmasından şüphelenilen veya taşıyıcısı olan personelin gıda depolama ve üretim alanlarına girmesine izin verilmemeli, yara, çıban gibi cilt problemlerinde yara uygun şekilde kapatılmalı, gıda ile direkt veya dolaylı temasını engelleyecek şekilde önlem alınmalı”) ve %86’sının İ1 maddesine (“gıda ambalajlanması ve paketlenmesinde kullanılacak madde ve malzemeler Türk gıda mevzuatına uygun olmalı”) uygun olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 6).

Bu kontroller Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı denetim ekipleri tarafından yapılmış olsaydı ağırlık puanı yasal işlem olan maddelere uygunluk göstermeyen fırınlara “5179 sayılı Kanun”un ilgili maddesine istinaden cezai işlem uygulanması gerekirdi (TKB, 2008). Fırınlara en az %20’sinin ağırlık puanı yasal işlem olan maddelerin hepsine uygun olmadığı bulunması (Tablo 6) azımsanmayacak bir orandır. İstanbul Ümraniye’de 136 fırının “Gıda Üretim ve Satış Yerleri Hakkında Yönetmelik”te belirtilen denetim formu (SB, 1996) kullanılarak incelendiği çalışmada (Önsüz vd., 2005) fırınlara %50,46’sının faaliyetinin durdurulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İşletmelerin %6’sının B1 maddesine (“tuvaletler gıdaların işlendiği yerlerden ayrı olmalı ve üretim alanına direkt

açılmamalı”) ve %66’sının F1 maddesine (“işletmede kullanılan su içilebilir nitelikte, Türk gıda mevzuatına uygun, sürekli ve yeterli olmalı”) uygun olmadığı belirlenmiştir (Tablo 6).

“Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu”na göre (TKB, 2008);

“ağırlık puanı 4 olan eksikliklerden herhangi birinin tespit edilmesi durumunda üretilen gıda ve gıda ile temasta bulunan madde ve malzemelere el konulur. Yetkili idarenin teklifi ile el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine ve işyerinin üretim ile ilgili faaliyetten menine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amirin onayı ile karar verilir. İşyerine eksikliklerin giderilmesi için en fazla 30 gün süre verilir. Verilen süre sonunda yapılan denetim ve kontrol sonucuna göre eksikliklerin giderildiğinin tespit edilmesi halinde faaliyetinin devamına, eksikliklerin giderilmediğinin tespit edilmesi durumunda ise işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptaline karar verilir.”

Bu çalışmada fırınlara %66’sında işletmede kullanılan suyun mevzuata uygun olmadığı bulunması (Tablo 6) Önsüz vd. (2005)’nin çalışmasıyla uyum göstermezken, fırınlara %6’sının tuvaletler açısından mevzuata uygun bulunmamasının (Tablo 6) Önsüz vd. (2005)’nin çalışmasıyla uyumlu olduğu saptanmıştır. İstanbul Maltepe’deki fırınlara incelendiği çalışmada (Keskin vd., 2005) işletmedeki tuvaletlerin %9,8’inin üretim alanına doğru açıldığı görülmüştür, bu çalışmada tespit edilen orandan (%6) daha yüksektir.

Fırınlara ağırlık puanı 3 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Fırınlara ağırlık puanı 3 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı (Table 7. Distribution of bakeries according to their suitability for items with a weight score of 3)

Puan	s	%	Puan	s	%	Puan	s	%
210	1	2	196	1	2	185	3	6
209	1	2	195	2	4	184	1	2
207	3	6	194	2	4	178	1	2
206	2	4	193	1	2	176	2	4
204	1	2	192	3	6	169	1	2
203	3	6	191	2	4	167	1	2
201	1	2	190	3	6	164	1	2
200	1	2	189	1	2	160	1	2
199	1	2	187	3	6	157	1	2
198	1	2	186	2	4	148	1	2
197	2	4						

Ağırlık puanı 3 olan maddelerden fırınlara aldığı toplam puanların 148-210 arasında değiştiği, işletmelerin %2’sinin puanının 148 ve %2’sinin puanının 210 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 7).

“Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu”na göre (TKB, 2008);

“ağırlık puanı 3 olarak tespit edilenlerin puan toplamının 60 ve üzeri olması durumunda, üretilen gıda ve gıda ile temasta bulunan madde ve malzemelere el konulur. Yetkili idarenin teklifi ile el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine

ve işyerinin üretim ile ilgili faaliyetten menine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amirin onayı ile karar verilir. İşyerine eksikliklerin giderilmesi için en fazla 30 gün süre verilir. Verilen süre sonunda yapılan denetim ve kontrol sonucuna göre eksikliklerin giderildiğinin tespit edilmesi halinde faaliyetinin devamına, eksikliklerin giderilmediğinin tespit edilmesi durumunda ise işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptaline karar verilir. Ağırlık puanı 3 olarak tespit edilen hususlardan puan toplamının 60’dan az olması durumunda eksikliğin giderilmesi için işyerine en fazla 30 gün süre tanınır. Verilen süre sonunda,

eksikliklerin giderilmediğinin tespiti halinde üretilen ürünlere el konularak yetkili idarenin teklifi üzerine işyerinin üretim ile ilgili faaliyetinden menine ve el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amir onayı ile karar verilir. Ayrıca işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptal edilir.”

Fırınlardan hiçbirinin ağırlık puanı 3 olarak tespit olan maddelerin toplamından aldığı puanın 60’ın altında bulunmaması (Tablo 7) bu açıdan fırınların hepsinin mevzuata uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. Fırınlardan ağırlık puanı 2 olan maddelere ve ağırlık puanı 1 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı (Table 8). Distribution of bakeries according to their suitability for items with a weight score of 2 and items with a weight score of 1

Madde	Fırınlardan ağırlık puanı 2 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı			
	Uygun		Uygun değil	
	s	%	s	%
B17	25	50	25	50
B18	42	84	8	16
E3	23	46	27	54
I10	21	42	29	58
J7	27	54	23	46
Madde	Fırınlardan ağırlık puanı 1 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı			
	Uygun		Uygun değil	
	s	%	s	%
B21	46	92	46	92
E6	47	94	47	94

İşletmelerin %84’ünün B18 maddesine (“işyeri yemekhanesi üretim ortamından ayrı ve hijyenik koşullara uygun olmalı”) ve %54’ünün J7 maddesine (“havalandırma girişleri filtreli veya korumalı olmalı”) uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 8).

İşletmelerin %92’sinin B21 maddesine (“işyerinde ilkyardım malzemeleri ve dolabı bulunmalı”) ve %94’ünün E6 maddesine (“üretim alanında üretimin gerektirdiğinden fazla miktarlarda ham, yardımcı madde, ambalaj materyali ya da katkı maddeleri muhafaza edilmemeli, üretim alanı depo olarak kullanılmamalı”) uygun olduğu tespit edilmiştir (Tablo 8).

“Gıda ve Gıda ile Temasta Bulunan Madde ve Malzemeleri Üreten İşyerlerine Ait Denetim ve Kontrol Formu”na göre (TKB, 2008);

“ağırlık puanı 2 ve 1 olarak tespit edilen hususlarda eksikliğin giderilmesi için iş yerine en fazla 30 gün süre tanınır. Verilen süre sonunda, eksikliklerin giderilmediğinin tespiti halinde üretilen ürünlere el konularak yetkili idarenin teklifi üzerine işyerinin üretim ile ilgili faaliyetinden menine ve el konulan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine 5179 sayılı Kanuna göre mahalli mülki amir onayı ile karar verilir. Ayrıca işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile çalışma izni ve gıda sicili iptal edilir.”

Ağırlık puanı 2 olan hususlardan I10 maddesine göre fırınların %58’inin uygun bulunmamasının (Tablo 8) personelin hijyen kurallarına uymamasından, kişisel eşyalarını gıdaların üretildiği alana koymalarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

3.3. Fırınlardan Ortam Havaasının Mikrobiyal Kalitesi

Fırınlardan ortam havaasının mikrobiyal kalitesi Tablo 9’da sunulmuştur. Fırınlardan hacimlerinin 76-334 m³ arasında

Fırınlardan ağırlık puanı 2 olan maddelere ve ağırlık puanı 1 olan maddelere uygunluğuna göre dağılımı Tablo 8’de sunulmuştur. İşletmelerin %50’sinin B17 maddesine (“mikrobiyolojik olarak hassas üretim bölgelerinde gerektiği hallerde pozitif hava basıncı sağlanmış olmalı”), %54’ünün E3 maddesine (“katkı maddeleri ve aromalar orijinal ambalajlarında muhafaza edilmeli”) ve %58’inin I10 maddesine (“personelle ait kişisel eşya ve giysi, gıdaların üretildiği alanlara konulmamalı”) uygun olmadığı saptanmıştır (Tablo 8).

değiştirdiği, fırınların ortam havaasındaki TMAB sayısının 0,11-141,09 kob/m³ (0,90-1128,75 kob/petri) ve MK sayısının 0,00-193,13 kob/m³ (0,00-1545,00 kob/petri) olduğu bulunmuştur (Tablo 9).

Havanın mikrobiyal kontaminasyonu hem işletme açısından önemli kayıplara yol açmakta hem de personel sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Gıda işletmelerinde açıkta bekletilen gıda ürünlerinin havadan mikrobiyal kontaminasyona maruz kalma riski oldukça fazladır (Çöl vd., 2007). İşletmedeki havalandırma sisteminin dizaynı, konumu ve çalışması havanın mikrobiyal yükünü etkileyen önemli faktörlerdendir (Lee vd., 2001).

Fungal kaynaklı kontaminasyon etmenleri, özellikle de küf sporları havada bulunan kontaminantlar içerisinde önemli bir yere sahiptir. Mayalar ve küfler işletme dışı ve işletme içi ortamlarda bulunmakta, nemli bölgelere yerleşerek ortama kolayca adapte olmaktadır. Geniş bir depolama sıcaklığı, su aktivitesi ve pH değeri aralığında gelişebilmektedir. Yüksek şeker ve konsantrasyonuna sahip gelişme ortamlarında da canlılıklarını korumaktadır. Çoğu yerde 18-25 °C olan iç ortam sıcaklığı fungal kaynaklı etmenlerin gelişimi için oldukça uygun olmaktadır. Ortam nemi fungal kaynaklı etmenlerin gelişimini etkilemekte ve düşük relatif nemde gelişebilen fungal kaynaklı etmenler de bulunmaktadır (Lin ve Li, 2000). Ortamdaki nem oranı %70’in üzerinde olduğunda küf gelişme riski artmaktadır (Çobanoğlu vd., 2005).

Bakteriyel kaynaklı etmenler de fungal kaynaklı etmenler gibi sıcak ve nemin daha yüksek olduğu ortamlarda olmayı tercih ederler. Bakteriler genellikle tuvalet, banyo ve mutfaktaki ekipmanlar, drenajlar ve havalandırma sistemleri gibi yerlerde daha yoğun bulunmaktadır. Et, süt ve meyve-sebze gibi çiğ ürünlerde birçok bakteri bulunduğu, insan aktiviteleri ve

ortamdaki hava hareketleri sayesinde çiğ gıda ürünlerindeki mikroorganizmalar havaya yayılmaktadır (Lee vd., 2001).

Tablo 9. Fırınlarda ortam havasının mikrobiyal kalitesi (Table 9. Microbial quality of ambient air of the bakeries)

Fırın No	Fırın Hacmi (m ³)	TMAB Sayısı (kob/m ³)	TMAB Sayısı (kob/petri)	MK Sayısı (kob/m ³)	MK Sayısı (kob/petri)
1	76	12,98	103,88	21,64	173,13
2	250	11,97	95,75	53,44	427,50
3	510	3,45	27,63	16,00	128,00
4	85	15,30	122,38	6,23	49,88
5	250	58,41	467,25	26,80	214,38
6	80,5	9,08	72,63	11,72	93,75
7	218	63,39	507,13	103,75	830,00
8	126	7,84	62,75	6,48	51,88
9	106	1,63	13,00	2,30	18,38
10	141	0,91	7,28	1,25	10,00
11	136,5	0,75	6,00	0,05	0,38
12	161	0,33	2,63	0,02	0,13
13	165	3,33	26,63	0,00	0,00
14	212	1,00	8,00	0,25	2,00
15	204	1,13	9,00	0,03	0,25
16	255	38,22	305,75	94,06	752,50
17	300	141,09	1128,75	193,13	1545,00
18	192	6,31	50,50	7,39	59,13
19	130	7,83	62,60	17,61	140,88
20	218	4,11	32,88	10,73	85,88
21	86	1,94	15,50	1,25	10,00
22	144	0,70	5,63	0,66	5,25
23	178	0,52	4,13	0,27	2,13
24	156	0,34	2,75	0,22	1,75
25	207	1,19	9,50	0,34	2,75
26	177	1,08	8,63	0,20	1,63
27	173	0,83	6,63	0,03	0,25
28	334	0,56	4,50	0,11	0,88
29	165	0,47	3,75	0,06	0,50
30	131	0,55	4,38	0,91	7,25
31	270	1,48	11,88	0,20	1,63
32	210	1,91	15,25	0,13	1,00
33	180	0,46	3,66	0,00	0,00
34	120	0,61	4,88	0,00	0,00
35	155	0,28	2,22	0,00	0,00
36	252	0,32	2,55	0,00	0,00
37	170	0,81	6,44	0,00	0,00
38	140	0,44	3,55	0,00	0,00
39	102	0,40	3,22	0,32	2,55
40	113	0,39	3,11	0,88	7,00
41	189	0,79	6,33	0,15	1,22
42	144	0,71	5,66	0,40	3,22
43	217	0,39	3,11	0,06	0,50
44	236	0,47	3,77	0,07	0,55
45	252	0,26	2,11	0,00	0,00
46	159	0,19	1,50	0,00	0,00
47	140	0,29	2,33	0,00	0,00
48	227	0,35	2,80	0,00	0,00
49	175	0,18	1,44	0,01	0,10
50	197	0,11	0,90	0,00	0,00

Birçok insan faaliyeti, mikroorganizmaların hava içerisinde ve tüm çevreye yayılmasını sağlayan risk faktörü içermektedir. Öksürerek ve hapsirarak bakteriler havaya dağılmaktadır. Vücut derisinin kıyafet giyilerek kapatılması havaya ve çevreye kontaminasyon olmasının engellenmesinde çok fazla etkili olmamaktadır. Erkekler (1008 kob) kadınlara (75 kob) nazaran havaya daha çok bakteriyel aerosol yaymaktadır. Farklı şekildeki kıyafetler, bakteriyel partiküllerin havaya yayılmasında bir kontrol oluşturmaktadır. Örneğin işletmede giyilen uniformaların günlük kıyafetlere nazaran daha çok bakteri yaydığı belirtilmiştir.

Bir fabrikada gerçekleştirilen araştırmada, dört kişinin bulunduğu oda içerisinde Staphylococcus sayısı 0,7-1,4 kob/petri ve ortalama bakteri sayısı 2,2-4,4 kob/petri olarak saptanırken, insanların daha yakınına konulan petrilere Staphylococcus sayısının 3-7 kob/petri olduğu bulunmuştur (Brown, 2001). Bu araştırmada TMAB sayısının en çok 1128,75 kob/petri olarak bulunması bahsedilen çalışmadaki değerin oldukça üzerinde olsa da sınır değeri (MEGEP, 2007) aşmamaktadır (Tablo 9).

Gıda işletmelerindeki havada bulunan mikroorganizma sayısının; örneğin alındığı ortamın nemi ve sıcaklığı, ortamdaki personel sayısı, örneklemede alınan havanın hacmi,

örneklemenin yapıldığı zaman, kullanılan besiyeri çeşidi ve inkübasyon süresi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Çobanoğlu vd., 2005).

Hava ortamında bulunan küfler; hematolojik, dermatolojik, bağışıklık, solunum ve sinir sistemleri ve çoğu organ üzerinde olumsuz etki yaratmakta ve bağışıklık sistemi baskılanmış kişilerde hayati tehlike oluşturan sistemik enfeksiyonların oluşmasına sebep olmaktadır. Havadaki küf konsantrasyonu için belirli bir standart olmadığı halde, küf kolonisi sayısının 150-1000 kob/m³ olmasının sağlık üzerinde problemlere yol açabildiği bildirilmektedir (Fischer vd., 2003). İncelenen fırınlardaki maya-küf sayısının 193,13 kob/m³ olarak

bulunduğu 17. fırının (Tablo 9) küf yükü açısından kısmen risk teşkil edebileceği söylenebilir.

Havadaki mikroorganizma sayısına göre ortamın kontaminasyon durumu değerlendirildiğinde (MEGEP, 2007) hem TMAB sayısı hem de MK sayısı açısından fırınların hepsinde düşük kontaminasyon olduğunun ortaya çıkması (Tablo 9) fırınlardaki ortam havasının hijyenik olduğunu göstermektedir.

Fırın hacmi ile TMAB sayısı, fırın hacmi ile MK sayısı ve TMAB sayısı ile MK sayısı arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için Pearson korelasyon analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Değişkenler için tanımlayıcı istatistikler ve korelasyonlar (Table 10. Descriptive statistics and correlations for variables)

Değişken	n	M	SD	1	2	3
1. TMAB Sayısı (kob/m ³)	50	8,17	23,18	—	0,937**	0,261
2. MK Sayısı (kob/m ³)	50	11,58	33,57	0,937**	—	0,306*
3. Fırın Hacmi (m ³)	50	184,30	74,40	0,261	0,306*	—

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

TMAB sayısı ile maya-küf sayısı arasında pozitif ve olumlu bir ilişki olduğu bulunmuştur, $r = 0,937$, $p < 0,01$. Pearson korelasyon testi sonucuna göre fırın hacmi ile maya-küf sayısı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir, $r = 0,306$, $p < 0,05$ (Tablo 10).

4. Sonuç

Sağlıklı ve güvenilir ekmek üretimi için fırınlarda gerekli teknolojik donanımın ve hijyenik şartların, işletmelerin kurulum aşamasında uygun planlamaların yapılmasıyla sağlanması gerekir. Ekmek üretiminin mesleki ve hijyen eğitimi almış tecrübeli ustalar tarafından gerçekleştirilmesi şarttır. Fırınların teknolojik ve hijyenik açıdan uygunluklarının ve fırınlarda çalışan personelin sosyo-ekonomik haklarının her zaman sürdürülmesi için denetimlerin/kontrollerin düzenli bir şekilde uygulanması son derece önemlidir.

Fırınların mevzuat yönetmeliklerine uygun hale getirilmesi için, denetimlerin/kontrollerin yönetmeliklerde belirtilen sıklıkta gerçekleştirilmesi ve denetim/kontrol sırasında belirlenen olumsuzlukların ortadan kaldırılıp kaldırılmadığının takip edilmesi, denetim/kontrolde tüketici topluluklarının da katılımına olanak sağlanması için ekmek üretim alanının satış yerlerinden görülebilecek şekilde, "vitrinde üretim" tarzında dizayn edilmesi, yöneticilere ve personele periyodik hijyen ve sanitasyon eğitimi verilmesi, büyük kapasiteli fırınlarda "HACCP sistemi"nin, küçük kapasiteli fırınlarda "İyi Üretim Uygulamaları"nın zorunlu kılınması, işletme içindeki üretim, depolama ve sosyal alanların, alet ve malzemeleri kapsayan rutin temizlik planının oluşturularak sürekli uygulanması gereklidir.

Fırınların ortam havasındaki toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı ve maya-küf sayısı farklı kaynaklarda belirtilen limitlerin altında tespit edilse de fırınlardaki personel sayısına ve üretim yoğunluğuna göre bu değerlerin değişkenlik gösterebileceği unutulmamalıdır. Ekmekte en sık görülen küflenme probleminin yaşanmaması ve bakteri kaynaklı hastalıkların ekmek aracılığıyla ortaya çıkmaması için fırınlarda havalandırma sisteminin her zaman etkin şekilde çalışması sağlanmalıdır. Havalandırma sistemindeki tüm ekipmanların periyodik bakım ve onarımları rutin olarak yaptırılmalıdır. Havaya yayılım gösterebilen bakteri ve

küf sporlarının oluşumunun önlenmesi için işletmelerin bütün alanlarının rutin temizliği aksatılmamalıdır.

5. Teşekkür

Bu projeyi BEBAP 2020.001 proje numarası ile destekleyen Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne çok teşekkür ederiz. Araştırmamıza gösterdikleri ilgiden dolayı katılımcı fırın işletmelerine teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Aksoylu, Z., Savlak, N.Y., Yanğıç, Ç., Çağındı, Ö., Köse, E. (2014). Manisa il merkezinde bireylerin ekmek çeşitlerini tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Gıda Dergisi*, 39(3), 147–154.
- Al-Mussali, M.S., Al-Gahri, M.A. (2009). Nutritive value of commonly consumed bread in Yemen. *E-Journal of Chemistry*, 6(2), 437–444.
- AIBI (2015). Association internationale de la boulangerie industrielle bread market report 2013. <http://www.aibi.eu/wp-content/uploads/draft-AIBI-Bread-Market-report-2013.pdf> (Erişim tarihi: 12.09.2022).
- Anonim (2005a). Merck gıda mikrobiyolojisi uygulamaları. Halkman AK. (Ed.), Başak Matbaacılık, Ankara.
- Anonim (2005b). Tesislerden neler istiyoruz. Antalya Tarım İl Müdürlüğü Kontrol Şubesi. <http://209.85.129.132/search?q=cache:YHDuvLsmmcYJ:www.aib.org.tr/duyuru/tarimmud.doc+tesislerden+neler+istiyoruz&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- Anonim (2008). Gıda sektöründe sorumlu yöneticinin el kitabı-50 soruda sorumlu yöneticilik. TMMOB Yayınları, Ankara.
- Anonim (2013). Türkiye'de ekmek israfı araştırması (ekmek tüketimiyle ilgili tutum ve davranışlar ile ekmek israfı ve israf üzerinde etkili olan faktörler araştırması. 2. Baskı, TMO, Ankara.
- Behera, S.S., Ray, R.C. (2015). Sourdough bread. In: C.M. Rosell, J. Bajerska, A.F. El Sheikha (Eds.), *Bread fortification for nutrition and health* (pp. 53–67). CRC Press, Boca Raton, UK, ISBN: 9780429172557.

- Bilici, S. (2008). Toplu beslenme sistemleri çalışanları için hijyen el kitabı. T.C. Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- Bulduk, S., Bulduk, E.Ö. (2014). Gıda ve personel hijyeni. 5. Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Brown, K.L. (2001). Evaluation of risks of airborne contamination of food products. Campden&Chorleywood Research Association, R&D Report No. 148.
- Cinemre, H.A., Bozoğlu, M. (1999). Samsun ili Merkez ilçesinde ekmek maliyetinin belirlenmesi ve ekmek fiyatını etkileyen faktörlerin ekonometrik analizi. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23(3), 649–655.
- Çatalkaya, C. (1997). Konya’da bulunan ekmek fırınları ile üretilen ekmeğin kalitesi ve hijyenik durumu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Konya.
- Çobanoğlu, N., Pekcan, S., Aslan, A., Kiper, N. (2005). Solunan havada tehlikeler. Astım Allerji İmmünoloji, 3(2), 77–85.
- Çöl, B.G., Aksu, H. (2007). Gıda işletmelerinde ortam havasının mikrobiyel yükü üzerine etkili faktörler ve hava örnekleme teknikleri. Journal of Istanbul Veterinary Sciences, 2, 24–47.
- Elgün, A., Ertugay, Z. (2002). Tahıl işleme teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 718, Ziraat Fakültesi No: 297, Ders Kitapları Serisi No: 52, Erzurum, 407 s.
- Erbil, S., Tümerdem, Y., Kıyak, M., Hacıoğlu, S. (2001). İstanbul Küçükçekmece ilçesinde fırınların hijyenik yönden değerlendirilmesi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 58(3), 93–96.
- Erkan, A.S. 2009. İstanbul İli’nde faaliyet gösteren ekmek fırınlarının mevcut durumlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Fischer, G., Dott, W. (2003). Relevance of airborne fungi and their secondary metabolites for environmental, occupational and indoor hygiene. Archives of Microbiology, 179(2), 75–82.
- Gül, H., Gül, M., Şirikçi, B.S., Acun, S., Hayıt, F. (2015). Isparta ilindeki geleneksel ve serbest tip ekmek üreten fırınların teknik ve ekonomik yönden değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(2), 11–21.
- Keskin, Y., Lüleci, N.E., Özyaral, O., Türk, E. (2005). İstanbul Maltepe İlçesi’ndeki fırınların yasal mevzuata uygunluklarının araştırılması. İçinde: 9. Ulusal Halk Sağlığı Günleri GATA (Çevre Sağlığı) Bildiri Özet Kitabı, Ankara, 28 Eylül–01 Ekim 2005, s. 215.
- Lee, S.C., Li, W.M., Chan, L.Y. (2001). Indoor air quality at restaurants with differnt styles of cooking in metropolitan Hong Kong. The Science of Total Environment, 279(1–3), 181–193.
- Lin, W.H., Li, C.S. (2000). Associations of fungal aerosols, air pollutants, and meteorological factors. Aerosol Science and Technology, 32(4), 359–368.
- Malakootian, M., Dowlathshahi, S.H. (2005). The quality of the manufactured bread and hygienic conditions of bakeries. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2(2): 99–108.
- MEGEP (2007). Hijyen ve sanitasyon kontrol numuneleri. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi Bireysel Öğrenme Materyalleri, Ankara.
- MEGEP (2010). Personel hijyeni. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi Bireysel Öğrenme Materyalleri, Ankara.
- MEGEP (2018). Gıda işletmelerinde hijyen ve sanitasyon. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi Bireysel Öğrenme Materyalleri, Ankara.
- Önsüz, M.F., Dokur, Ş., Topuzoğlu, A. (2005). Ekmek fırınlarının yönetmeliklere uygunluğunun değerlendirilmesi. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4(6), 303–312.
- Özkaya, H. (1992). Temel gıdamız ekmek. Bilim ve Teknik, 25(291), 43–45.
- SB (1996). Gıda Üretim ve Satış Yerleri Hakkında Yönetmelik. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete No: 22692, Ankara.
- SB (2014). Türkiye beslenme ve sağlık araştırması 2010. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Sağlık Bakanlığı Yayın No: 931, Ankara.
- Sümbüloğlu, K., Sümbüloğlu, V. (2002). Biyoistatistik. Hatipoğlu Basın ve Yayın, Ankara.
- Şalva, T., Söylemez, D., Gürbüz, Y., Yılmaz, G., Karavus, M. (2001). İstanbul Maltepe’deki fırınların teknik ve hijyenik donanımlarının değerlendirilmesi. 4. Ulusal Sağlık ve Hastane Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, 27–28 Eylül 2001.
- Tanık, O. (2006). Ekmek üretiminde kalite uygulamaları ve müşteri memnuniyet dinamiklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Taşçı, R., Karabak, S., Bolat, M., Pehlivan, A., Şanal, T., Acar, O., Külen, S., Güneş, E., Albayrak, M. (2017). Ankara ilinde ekmek fırınlarının üretim yapısı ve ekmek israfı. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 3(1), 1–16.
- Tayar, M. (2021). Gıda Endüstrisinde Hijyen ve Sanitasyon. Dora Yayıncılık, Bursa.
- TGK (2012). Türk Gıda Kodeksi Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği. Resmi Gazete No: 30257, Ankara.
- TGK (2013). Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği. Resmi Gazete No: 28693, Ankara.
- TKB (2008). Gıda Güvenliği ve Kalitesinin Denetimi ve Kontrolüne Dair Yönetmelik. Resmi Gazete No: 27009, Ankara.
- TKB (2010). Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu. Resmi Gazete No: 27610, Ankara.
- TOBB (1987). Ürün özellikleri-hububat unları-buğday unu. İçinde: Borsa muamelelerinde genel kaideler. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Ankara.
- Ünal, S. (1991). Hububat teknolojisi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın No: 29, İzmir.
- Yaman, K. (1999). Tekirdağ ilinde faaliyet gösteren ekmek fırınlarının mevcut durumları ve ekmekte ambalaj uygulamasının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yeter, N., Keskin, Y., Avcı, S. (2001). İstanbul, Pendik ilçesindeki fırınların sağlık açısından değerlendirilmesi ve mevzuata uygunluklarının araştırılması. 4. Ulusal Sağlık ve Hastane Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, 27–28 Eylül 2001.
- Yiğit, A.H., Doğan, İ.S. (2010). Ağrı ilindeki ekmek fırınlarının bazı özelliklerinin değerlendirilmesi üzerine

bir anket çalışması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 20(2), 75–87.



Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Geçitli Tekrarlayan Birim Modeli Kullanılarak Nehir Akım Tahmini: Ceyhan Havzası Örneği

Yunus Öztürk¹, Hüseyin Çağan Kılınç^{2*}, Ahmet Polat³

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8032-9292), ynsemre@kilis.edu.tr

^{2*} İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1848-2856),

huseyncagankilinc@esenyurt.edu.tr

³ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8135-3681), polatrom@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 16 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 22 Temmuz 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1131657)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, Y., Kılınç, H. Ç. & Polat, H. (2022). Hibrit Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Geçitli Tekrarlayan Birim Modeli Kullanılarak Nehir Akım Tahmini: Ceyhan Havzası Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 202-210.

Öz

Su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasının en önemli yöntemlerinden biri havza bazlı yönetimin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Su kaynaklarının sürdürülebilir olması, nehir akım tahminlerinin önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, nehir akım tahminine yardımcı olabilecek hibrit model kullanılmıştır. Derin öğrenme modellerinden olan kapalı tekrarlayan birim ve (GRU) ve parçacık sürüsü algoritması (PSO) hibritlenmiştir. Çalışmada Ceyhan Havzasının farklı kolları üzerinde yer alan Fırınz Deresi ve Aksu Çayı akım gözlem istasyonlarına ait 2001-2010 yıllarına ait günlük akış verileri kullanılmıştır. İstasyon verileri kıyaslama modeli (GRU) hibrit model (PSO-GRU) ve klasik yöntemlerden olan lineer regresyon (LR) ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında hibrit modelin kıyaslama ve lineer regresyon modellerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca değerlendirme kriterlerinden olan RMSE, MAE, MAPE, SD ve R² değerlerine göre de hibrit model bu başarıyı doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Parçacık sürüsü algoritması, nehir akımı, kapalı tekrarlayan birim, hibrit model.

River Flow Forecasting Using the Gated Recurrent Unit Model with Hybrid Particle Swarm Optimization: The Case Study of Ceyhan Basin

Abstract

One of the most important methods of efficient use of water resources is the effective implementation of watershed-based management. The sustainability of water resources reveals the importance of stream flow estimations. In this study, a hybrid model was proposed to river flow estimation. Deep learning methods named, gated recurrent unit (GRU) and particle swarm algorithm (PSO), are hybridized. In the study, daily flow data of the Fırınz River and Aksu River, flow measurement stations, which are located on different branches of the Ceyhan Basin, were used with the timespan of 2001-2010. Benchmark model (GRU) was compared with hybrid model (PSO-GRU) and linear regression (LR) which is one of the classical methods. Once the results were compared, it was observed that the hybrid model was more successful than the comparison and linear regression models. In addition, the hybrid model confirmed this success according to the RMSE, MAE, MAPE, SD and R² values, which are among the evaluation criteria.

Keywords: Particle swarm optimization, streamflow, gated recurrent unit, hybrid model.

1. Giriş

Su yaşamın kaynağıdır ve ekolojik döngüler ve sosyal faaliyetler için önemli bir temeldir. Su kaynaklarının içme, tarım, rekreasyon ve sanayi gibi çeşitli kullanım amaçları için kritik önem taşımaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda, ekonomik fayda sağlayan sayısız faktör çevreye zarar vermiştir ve Dünyadaki birçok ülke, hızlı ekonomik gelişme ile sınırlı tatlı su kaynaklarının önemli ölçüde azaldığını görmüştür (Zhou vd., 2022). Suyun Dünya üzerindeki dağılımı ve arzı düşünüldüğünde, sürdürülebilir kalkınmanın yanı sıra insanların tatlı su

kaynaklarına olan ihtiyaçları ciddi bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Bu durum su kaynakları yönetiminin önemini daha da arttırmıştır. Bu şartlar altında yeterli bir yönetim planının oluşturulması tarım endüstrisi, insan sağlığı ve şehir toplumu için hayati önem taşımaktadır. Diğer yandan, toplam sistemin yönetimi, bilgisayar destekli modeller için uygun bir görev olan verilerin sürekli izlenmesini ve işlenmesini gerektirir. Bununla birlikte, son yıllarda su kaynakları ile ilgili çalışmaların artma eğiliminde olduğu görülmektedir (Akdeğirmen, 2019). Su kaynaklarını sürdürülebilir kılmanın en etkin yollarından birisi de havza bazlı yönetimin gerçekleştirilmesidir. Özellikle su kıtlığı problemi ile karşılaşan ülkelerde havza, nehir akış tahmini, sel-

taşkın önleme gibi modellemeler üzerinde fazlasıyla durulmaktadır. Son yıllarda modellerin oluşum süreçlerine bakıldığında, kavramsal ve veriye dayalı modeller ile nehir akım tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller değişen dünyaya uyum sağlamak için yeni modelleri incelemeye odaklanmıştır. Kavramsal (fiziksel) modeller, insanların yüzeysel akış oluşum sürecini net bir şekilde anlamalarına yardımcı olsa da önemli hidrolojik ve meteorolojik parametrelere ve bir dizi matematiksel ve fiziksel denklemlere ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, bu tür modellerin uygulanmasında, zayıf tahmin performansı ve belirsizliğe neden olan birçok kısıtlayıcı faktör vardır (Bitelli vd., 2010). Ayrıca nehir akışlarının doğal karmaşıklığı, fiziksel modellerin kullanılmasını zorlaştırır. Son yıllarda, veriye dayalı akış tahmin modelleri geniş çapta çalışılmış ve uygulanmıştır. Bu tür modellerin akış sürecinin oluşum mekanizmasını derinlemesine anlaması gerekmez, yalnızca girdi ve çıktı örnekleri arasındaki doğrusal olmayan haritalama ilişkisini kurarak akışı tahmin etmesi gerekir. Bu nedenle, veriye dayalı tahmin modelleri giderek daha popüler hale gelmektedir (Xu vd., 2021). Veriye dayalı modeller, fiziksel modellere kıyasla daha basit model yapılarına sahiptir ve daha az modelleme verisine ihtiyaç duyar. Veriye dayalı modeller arasında otoregresif hareketli ortalama (ARMA), doğrusal regresyon (LR), otoregresif entegre hareketli ortalama modelleri gibi regresyon modelleri yer almaktadır. Ancak bu modeller nehir akışlarının doğrusal olmayışı ve belirsizlikleri nedeniyle istenilen başarıya ulaşamamaktadır (Sun vd., 2022; Chen vd., 2018).

Makine öğrenimine dayalı bir dizi veriye dayalı modelleme yöntemi akış tahminlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Örneğin yapay sinir ağları (YSA)'lar regresyon modellerine göre hidrolojik parametrelerin tanımlanmasında daha başarılı sonuçlar elde etmektedir. Bu modeller arasında; destek vektör makinesi (SVM), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), aşırı öğrenme makineleri (ELM), uzun kısa süreli bellek ağları (LSTM), kapalı tekrarlayan birim ağları (GRU) literatürde sıkça kullanılan modeller arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, nehir akış verileri yalnızca önceki girdi bilgisi ile geliştirildiğinde makine öğrenme modelleri tahmin başarısında zayıf kalabilmektedir (Mosavi vd., 2018). Akış verilerinin durağan ve doğrusal olmayışı nedeniyle bahsedilen modelleri geliştirmek amacıyla kullanılan metotlara bağlı olarak farklı optimizasyonlar uygulanmaktadır (Kılınç ve Haznedar, 2022). Optimizasyon, belirli bir problemin verilen şartlar altında tüm mevcut çözümleri arasından en uygun çözümü bulma sürecidir (Bunday, 1984). Optimizasyon algoritmaları ile hibritlenen modeller ile tahmin doğruluğundaki artışlar gözlemlenmektedir. Bu durum optimizasyonlara olan ilgiyi arttırmaktadır (Çelik vd., 2019).

Hidroloji ve akış tahmini gibi diğer çalışma alanları ile ilgili farklı süreçleri tahmin etmek için gerekli optimum parametreleri seçmek için YSA'ları çeşitli optimizasyon teknikleri ile birleştiren farklı hibrit modeller geliştirilmiştir (Yeraltı suyu kalitesinin modellenmesi (Kişi vd., 2019), yağış tahmini (Azad vd., 2019), yağış akış sürecini modelleme, akış deşarjını tahmin etme vb.). Bu optimizasyon teknikleri arasında optimuma yakın çözümler üretilebilmesi ve kolay uygulanabilir olması metasezgisel algoritmaları ön plana çıkarmaktadır (Samanataray ve Sahoo, 2021).

Literatürde yaygın olarak kullanılan birçok metasezgisel algoritma bulunmaktadır. Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Su Dalgaları Optimizasyonu (WVO), Klonal Seçim Algoritması (CLONALG), Kimyasal Reaksiyon

Optimizasyonu (CRO), Uyum Araması (HS) gibi popüler algoritmalar bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Kırtıl, 2022).

Mevcut çalışma, nehir akım tahminlerinde yüksek verimlilik için küresel ve hızlı yakınsamayı iyileştirmek amacıyla parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayalı, bir optimizasyon yaklaşımları geliştirmeye çalışmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan PSO algoritması GRU ile hibritlenmiştir. GRU ve LSTM birçok soruda çok benzer performans gösterse de bu çalışmada GRU tercih edilmiştir. GRU modeli daha az parametreye ve daha basit bir yapıya sahip olduğu için daha hızlı bir öğrenme eğrisine sahiptir (Zhang et al. 2018). GRU modelinin eğitim süresi LSTM modeline göre daha kısadır (Stergiou ve Karakasidis 2021). Birçok bilim adamı, hidrolojik tahminde GRU'yu uygulamış veya ilgili modeller kurmuş ve tatmin edici sonuçlar elde etmiştir.

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması, bir zekâ optimizasyon teorisidir ve en parlak optimizasyon yaklaşımlarından biridir, çünkü uygulama kolaylığı, küre yakınsama yeteneği ve sağlamlık açısından diğer optimizasyon yöntemlerinden daha fazla avantajlara sahiptir. Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında arama ve optimizasyon problemlerini azaltmak için sunulan balık gruplarının ve kuşların normal davranışları gözlemlenerek geliştirildi. Bu teknikte bir parçacık sürüdeki her bir üyeyi temsil eder ve her parçacığın bir hız ve konum vektörü vardır. Bu parçacıklar aynı şekilde davranırlar: Her parçacık, sürüdeki değeri hedefe en yakın olan optimum yere yeniden konumlanır (Abdolrasol vd., 2022; Alzerkani, 2022).

Litaretür çalışmaları incelendiğinde metasezgisel algoritmalar ile hibritlenmiş çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar hidroloji ve diğer alanlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu çalışmalar kısaca özetlenirse; Chaudhury vd., (2022) çalışmalarında, aylık yağış tahmini için hibrit ANFIS-PSO modelini geliştirmiştir. Oluşturulan hibrit model kıyaslama modeli olan ANFIS ile karşılaştırıldığında sonuçlar son derece başarılı olmuştur. Achite vd., (2022) meteorolojik kuraklık tahmininde bulunmak için PSO, SSA (salp sürü algoritması) ve sinüs kosinüs algoritması (SCA)'yı kullanmıştır. Bu algoritmalar ANN ile hibritlenerek model başarısı gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, üç algoritmanın da ANN modeline kıyasla performansı arttığı görülmüştür. Barutçu ve Erduman, (2022) PSO algoritması ile yenilenebilir enerji kaynaklarındaki güç kayıplarını incelemiştir. PSO algoritmasının sistem içerisindeki güç kaybını azaltmaya yönelik etkisinin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Muhammad vd., (2019) popüler derin öğrenme modellerinden olan LSTM ve GRU modellerini kullanarak nehir akım tahmininde bulunmuştur. Bu iki model model tahmin geliştirme parametre modeli (MOPEX) ile hibritlenmiştir. Önerilen hibrit modelin performansı, geleneksel LSTM ve GRU modelleriyle karşılaştırılmıştır. Önerilen hibrit modelin akış tahmini açısından geleneksel LSTM'den daha iyi performans göstermesine rağmen, performansın GRU ile hemen hemen aynı olduğunu ve bu nedenle hidrolojik alanlarda verimli ve güvenilir bir yaklaşım olarak şiddetle tavsiye edildiğini göstermektedir. Ahmed vd., (2022) konveksiyonel sinir ağları (CNN) ve GRU modellerini hem kendi aralarında hem de karınca koloni algoritması (ACO) ile hibritlemiştir. Hibrit CNN-GRU modeli diğer modellere göre daha iyi bir performans göstermiştir. Singh vd., (2022) destek vektör makinesi (SVM) ile arı kolonisi algoritması ile hibritlemiştir. Sonuçlar incelendiğinde hibrit

modelin kıyaslama modeline göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

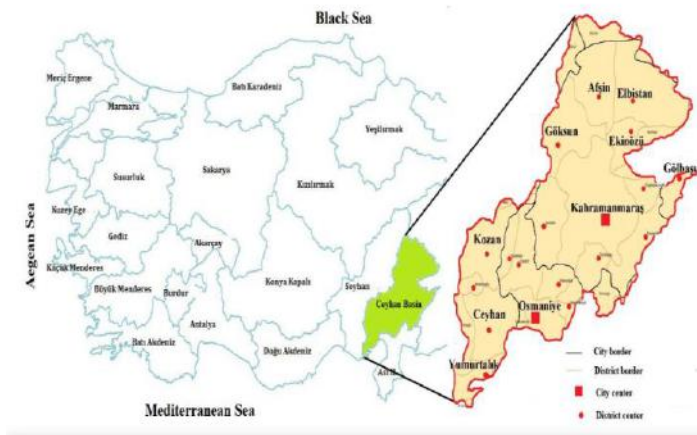
Bu çalışmanın amacı Ceyhan Nehri üzerinde bulunan iki farklı istasyonun günlük akım verileri ile tahminde bulunmaktır. Metasezgisel algoritmalarından olan PSO ve derin öğrenme modellerinden olan GRU ağları hibritlenerek, algoritmanın modele olan katkısı tartışılmaktadır. Ayrıca algoritmanın uygulanabilirliğini göstermek ve uygulandığında önerilerin tekniklerin doğruluğu ve verimliliği çalışmanın diğer amacıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Bölgesi

Şekil 1’de konumu gösterilen ve çalışma alanını oluşturan Ceyhan Havzası, Türkiye’deki 25 nehir havzasından birisidir. Kahramanmaraş ve Osmaniye İllerinin tamamına yakın kısmı; Adana İlinin Ceyhan ve Yumurtalık İlçeleri ile Merkez ilçe ve Kozan ilçelerinin bir bölümü Ceyhan Havzası sınırları içerisinde yer alır. Kuzey ve doğudan Fırat Havzası, batıdan Seyhan Havzası ve güneyden Asi Havzası ile komşu olan Ceyhan Havzasında, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Sivas ve Kayseri illerinin havzaya katkısı düşüktür. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,4’ünü kapsayan Ceyhan Havzası 26.875 km² yağış alanına sahiptir (ÇŞB, 2010).

Ceyhan Havzası’nda Akdeniz ve karasal iklim arasında kalan bir geçiş iklimi hakimdir. Havzanın güneyi Akdeniz İklimi etkisini yaşarken, kuzeyde ise karasal iklim özellikleri görülür. Yıllık toplam yağışın çoğu kış aylarında düşen Ceyhan Havzası’nda yazlar sıcak ve kurak geçmektedir (Çuhadar, 2019).

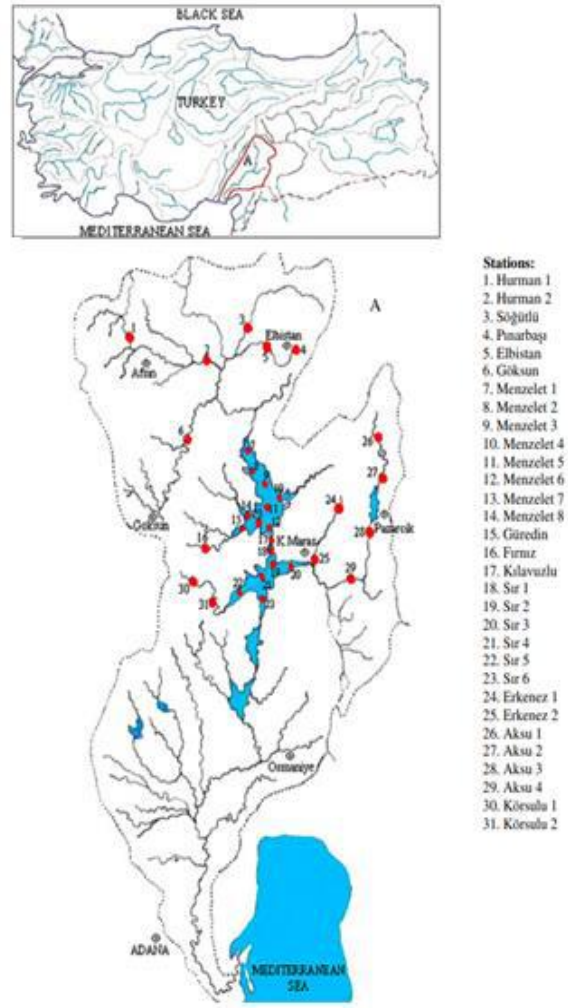


Şekil 1. Ceyhan Havzasının konumu

2.2. Veri Seti ve Akım Gözlem İstasyonları

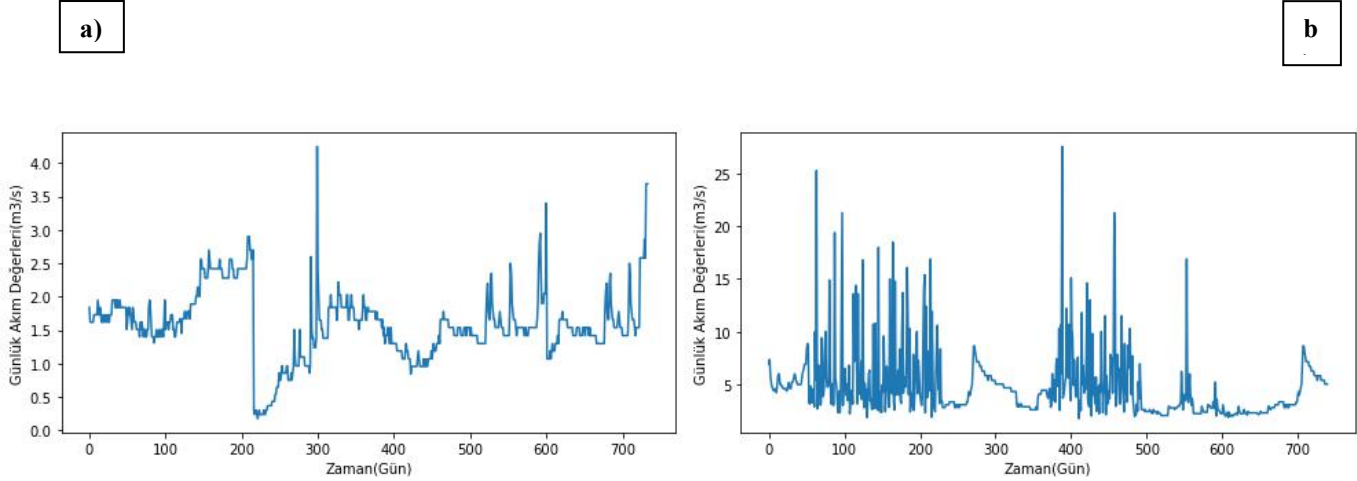
Bu çalışmada, Ceyhan Havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarından elde edilen veriler (Şekil 3’te görüldüğü gibi) kullanılmıştır. Ceyhan Nehrin’in dar ve derin vadiler içinde akıyor olması, üretim potansiyelleri açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’nin yayınladığı ‘Türkiye Kuraklık Değerlendirme’ raporlarına göre, Ceyhan Havzası, Dicle-Fırat Havzası ile birlikte en fazla sıcaklık artışına

maruz kalacak havzalar arasında gösterilmiştir. Bu durum havzada ilerleyen zamanlarda yaşanması muhtemel su kıtlığına karşı etkin bir su kaynakları ve havza yönetimi koşulunu ön plana çıkarmaktadır. Havzada gözlemlenen faktörler Ceyhan Havzası’nın çalışma konusu olarak belirlenmesinde etkili olmuştur. Elde edilen veriler, 2001-2010 yıllarına ait günlük akış verilerinden oluşmaktadır. Şekil 2’de havza üzerindeki konumları verilen AGİ’lerin farklı kollarda yer alması koşulu Ceyhan Havzasında bu lokasyonların seçilmesinde birincil etken olmuştur. Çalışmada yer alan iki istasyondan birisi olan Fırınz Deresi AGİ (D20A053), 36°41’56" doğu boylamı, 37°45’37" kuzey enlemi koordinatları arasında yer almaktadır. Diğer istasyon olan Aksu Çayı (D20A002), 37°26’52" doğu boylamı, 37°42’26" kuzey enlemi koordinatları arasında yer almaktadır.



Şekil 2. Ceyhan Havzası ve AGİ’lerin lokasyonu

AGİ’lere ait bazı karakteristik özelliklerin yer aldığı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 3’te istasyonlardan elde edilen verilerin dağılımı gösterilmektedir. Bu veriler test ve eğitim dağılımlarına göre verilmiştir. İstasyonlardaki veriler incelendiğinde maksimum akış verisi 28.2 m³/s ile Fırınz Deresi AGİ’sine, minimum akış verisi ise 0.372 m³/s ile Aksu Çayı AGİ’sine aittir.



Şekil 3. (a) Firnız Deresi ve (b) Aksu Çayı akım gözlem istasyonlarına ait günlük akım verilerinin test dağılımı

Tablo 1. Firnız Deresi ve Aksu Çayı istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon	Nehir	Koordinatlar		Yağış Alanı (km ²)	Yükseklik(m)	Gözlem(yıl)
		Doğu	Kuzey			
		(° ‘ ‘‘)	(° ‘ ‘‘)			
D20A053	Firnız Deresi	36 41 56	37 45 37	147	648	2001–2010
D20A002	Aksu Çayı	37 26 52	37 42 26	216	895	2001–2010

Oluşturulan modelde Python sürümlerinden 3.10 kullanılmıştır. Yorumlanmış bir dil olarak Python donanım belleğini verimli kullanır, hata ve ayıklaması kolaydır ve geliştiricilerin birkaç adımda karmaşık görevleri gerçekleştirmelerine, kodları hızlıca düzenlemelerine olanak tanımaktadır. Python dinamik bir progama dilidir. Python, çalışma zamanında, ancak derleme sırasında (kaynak kod makine koduna dönüştürüldüğünde) türleri ve hataları doğrular. Bu durum daha az kod, daha hızlı gelişme olarak açıklanabilir (Koç, 2019). Çalışmada yer alan GRU modeli, PSO algoritması ile hibritlenerek model doğrulukları test edilmiştir. Veriler analiz edilirken elde edilen günlük akış verilerinin eksiksiz olması ya da az kesintili olmasına özen gösterilmiştir. Havza bazlı çalışmalarda bu durum büyük önem taşımaktadır. Çünkü etkin planlama ve doğru tahmin analizleri gerçekleştirilebilir verilerin düzenli kayıtları ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle zaman aralığı her iki istasyon içinde kesintilerin en az gözlemlendiği 2001-2010 yılları olarak belirlenmiştir.

2.3 Metot

Çalışmanın bu bölümünde, parçacık sürüsü algoritması ile hibritlenen kapılı tekrarlayan birim modeline ait akış şemaları ve formülasyonlara ait bilgiler yer almaktadır.

2.3.1. Kapılı Tekrarlayan Birim

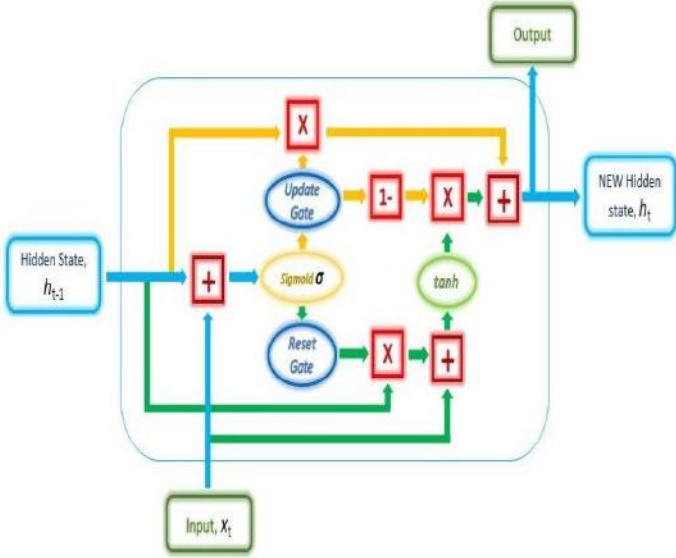
Cho vd. (2014) tarafından geliştirilen GRU modeli giriş ve unutma kapılarını güncelleme kapısında birleştiren yeni nesil LSTM'dir. Bu nedenle, LSTM'den daha az parametreye, daha hızlı çalışma süresine ve performansa sahiptir. Şekil 4, GRU'nun gizli katmanındaki nöronun yapısını göstermektedir. Bu gizli nöronun, LSTM'nin yapısını basitleştiren güncelleme ve sıfırlama kapıları adında iki kapısı vardır. Bu kapılar her adımda nöral durumu güncelleyerek bilgi akışı sağlamaktadır (Zhao vd., 2021; Wegayehu ve Muluneh, 2022). Güncelleme ve sıfırlama kapıları, GRU'da bulunan iki kapıdır. Güncelleme kapısı, değerli bilgilerin ezberlenmesini sağlayan mevcut belleği yenilerken sıfırlama kapısı, herhangi bir zaman adımında çok değerli bilgileri unutmak için mevcut belleği siler. GRU ağının yapısı ve gizli birimlerin ayrıntılı denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Z_t = \sigma(W_z X_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (1)$$

$$r_t = \sigma(W_r X_t + U_r h_{t-1} + b_r) \quad (2)$$

$$\hat{h}_t = \tanh(W_h X_t + (r_t \odot h_{t-1})) U_h + b_h \quad (3)$$

$$h_t = (1 - Z_t) \odot h_{t-1} + Z_t \odot \hat{h}_t \quad (4)$$



Şekil 4. GRU modeli

Bir GRU modeli, iki kapı işlevi içerir, yani bir güncelleme kapısı ve sıfırlama kapısı. Bunların arasında, x_t , t anındaki (Eşitlik 1) giriş verisidir. h_t , t (Eşitlik 4) zamanındaki çıkış verisi veya gizli katman birimi çıkışıdır, Eşitlik 3, bir aday aktivasyon vektörüdür. C iki vektör bağlantılı işlem anlamına gelir, X , giriş verisinin iki parçasının çarpılması anlamına gelir ve $1-$ verinin çıkarılması anlamına gelir modüle 1 ile giriş yapın u_t , ana işlevi önceki andan mevcut duruma durum bilgisinin derecesini kontrol etmek olan güncelleme kapısı anlamına gelir ve daha büyük bir değer, mevcut anın önceki durumdan daha fazla durum bilgisi içerdiği anlamına gelir. r_t , (Eşitlik 2) ana işlevi, önceki durumdan mevcut durum gizli hücre adayına h_t bilgi oranını kontrol etmektir. σ , çıkış aralığı (0, 1) olan *sigmoid* etkinleştirme işlevidir ve *tanh*, çıkış aralığı (-1, 1) olan hiperbolik tanjant etkinleştirme işlevidir (Zhou vd., 2022).

2.3.2 Parçacık Sürüsü Algoritması

Eberhart ve Kennedy (1995) popülasyon temelli sürü zekasına dayalı bir meta-sezgisel esnek evrimsel algoritma olan PSO'yu ilk öneren kişilerdir. PSO, kuşların yön tayininde birbirlerinden faydalanmalarından ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir (Roshanrayan, 2018). Şekil 5 üzerinde detayları verilen PSO algoritmasının, karmaşık doğrusal olmayan problemleri çözmek için anlık yakınsama, basit bir yapı ve yüksek esnekliğe sahip olduğu bilinmektedir (Eldem, 2014; Chi vd., 2015). Bu özelliği sayesinde nehir akım tahmini modellerinde, taşkın hesaplarında ve diğer hidrolojik parametrelerle ile yapılan tahmin modeli çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. PSO algoritmasının parçacık sürüsü, eldeki durumu ele almak için sürekli olarak en iyi çözümü arar.

Parçacık konumları karar değişkenleri olarak kabul edilir ve parçacıklar en iyi konumu bulmaya çalışır. İlk olarak, algoritma başlangıç konumlarını $P(k)$ dikkate alır ve bu şekilde parçacığın $x_i(k)$ konumu $P_i \in P_k$ eşittir ($k = 0$, k : düzey sayısı), ki bu ilk adım olarak bilinir. Her parçacığın F fonksiyonu aşağıdaki denkleme göre hesaplanır. PSO parçacıkları arama uzayını rastgele takip eder. Sürüdeki parçacıklar, kendi ve komşularının bilgilerine bağlı olarak arama uzayında hareket eder. Gruptaki parçacıklar öğrenmeleri birbirlerinden yaparlar ve bilgilerine bağlı olarak en iyi komşuya doğru hareket eder. PSO'nun, her

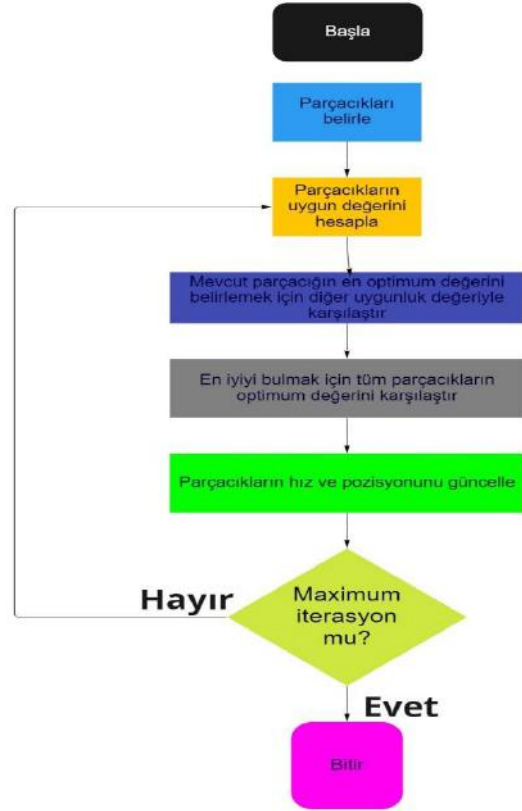
parçacık sürüsünün, şimdiye kadar bulunduğu en iyi konumu veya konumu ve komşusuna en yakın konumu bulmak için arama uzayında hareket ettiği öncülüne dayandığı söylenerek özetlenebilir (Islam vd., 2022).

$$\text{if } (F(x_i(k))) < pbest_i \rightarrow \text{then } \begin{cases} pbest_i = F(x_i^k) \\ x_{pbest_i} = x_i(k) \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{if } (F(x_i(k))) < gbest_i \rightarrow \text{then } \begin{cases} gbest_i = F(x_i^k) \\ x_{gbest_i} = x_i(k) \end{cases} \quad (6)$$

$$v_i^k = wv_i^{k-1} + r_1c_1(x_{pbest_i} - x_i^k) + r_2c_2(x_{gbest_i} - x_i^k) \quad (7)$$

Eşitlik (5), bireysel parçacıkların optimal verimliliğini incelemek için kullanılır. Burada $pbest_i$, i th. parçacığın en iyi konumudur. Her parçacığın hızı Eşitlik (6)'e göre hesaplanır. Burada $gbest_i$, farklı parçacık sürüleri tarafından elde edilen en iyi küresel konumdur. Eşitlik 7'de ifade edilen (r_1 ve r_2) rastgele parametrelerdir ayrıca ' w ' eylemsizlik ağırlığıdır ve (c_1 ve c_2) ivme katsayılarıdır.



Şekil 5. Parçacık sürüsü algoritması diyagramı

2.3.3 PSO-GRU Hibrit Modeli

GRU modelinde parametrelerin özellikleri analiz performansını etkilemektedir. Bu çalışmada modele ait önemli hiperparametreler arasında yer alan, katman sayısı ve gizli katmanlardaki nöron sayısı, pencere büyüklüğü, aktivasyon fonksiyonu gibi parametreleri iyileştirmek için PSO algoritmasından yararlanılmıştır. Test sonuçları onbeş kez rastgele parametreler ile eğitilmiş ve veriler karşılaştırılmıştır. Optimum

değere sahip sonuçlar kıyaslama (benchmark) modeli olarak kullanılmıştır. PSO algoritmasından elde edilen optimum sonuçlar ise bir parametre olarak GRU ağına eklenmiş ve oluşturulan yeni hibrit model tekrar eğitilmiştir. Şekil 6'da PSO algoritmasının GRU ağına eklenme safhaları akış şeması üzerinden açıklanmıştır. Hibrit modelin doğruluğu kıyaslama modeli ile karşılaştırılarak gözlemlenmiştir. Daha sonra klasik yöntemlerden olan lineer regresyon yönteminden de sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar hibrit ve kıyaslama modelleri ile kıyaslanmıştır.

Modelin eğitim aşaması için veriler ayıklanmış ve düzenlenmiştir. Veri seti değişik oranlarda eğitim ve test veri setlerine bölünerek analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde optimum değerlerin %80 eğitim %20 test veri setlerinden olduğu gözlemlenmiştir. Hibrit modelde her iki istasyona ait veri setindeki parametreleri optimize etmek için çeviri ve normalizasyon teknikleri uygulanmıştır. Elde edilen PSO sonuçları, GRU parametreleri olacak şekilde ayarlanarak eğitilen hibrit model, 1 dense 1 gizli katman ile eğitilmiştir.



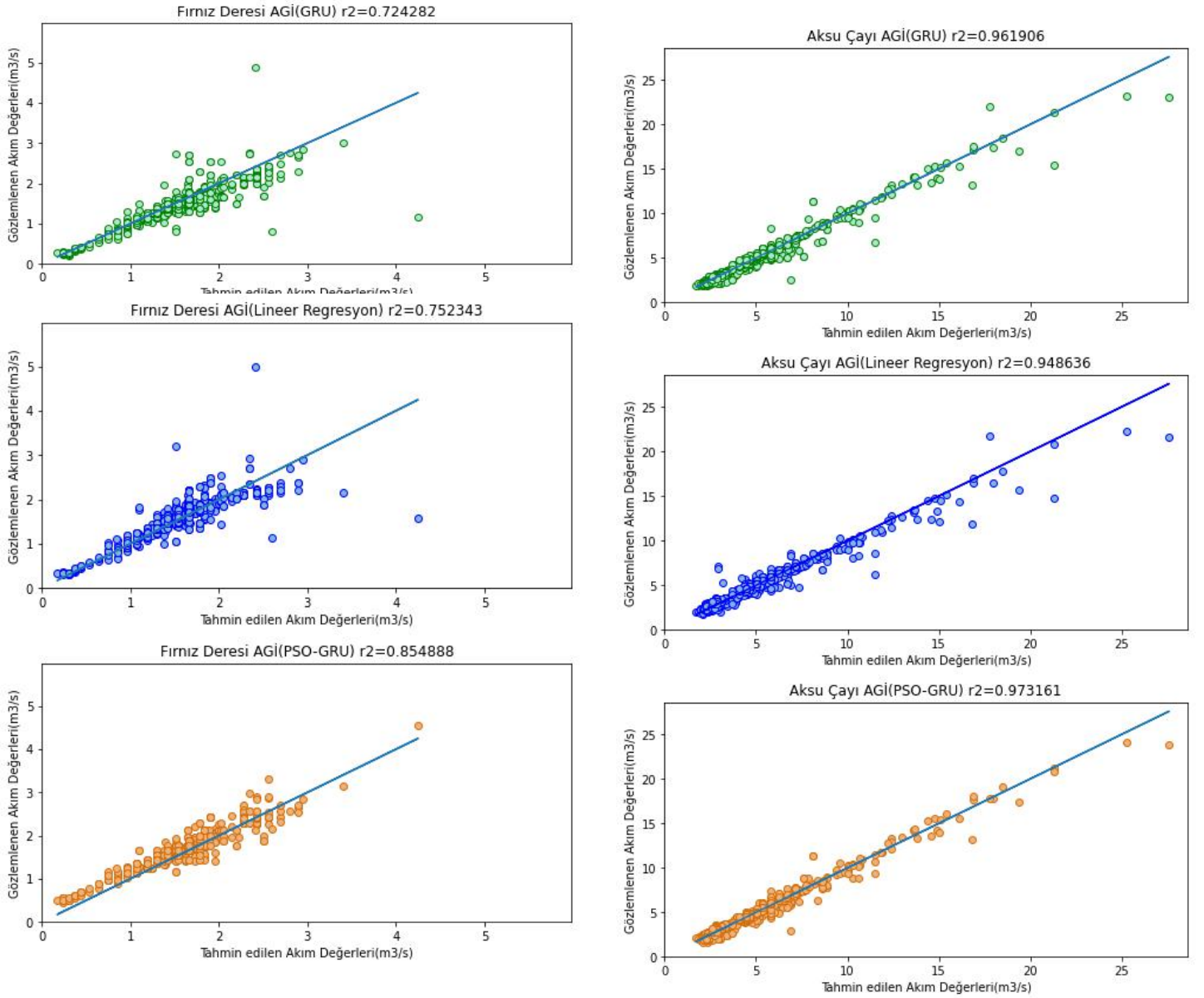
Şekil 6. Önerilen hibrit modele ait akış şeması

3. Analiz Sonuçları

Bu çalışmada, PSO ve GRU yapısındaki parametreler optimize edilerek Şekil 2'de lokasyonları verilen Fırız Deresi ve Aksu Çaylarına ait istasyonlara ait hidrolojik zaman serisi problemine çözüm aranmıştır. Bu kapsamda, derin öğrenme modellerinden kapılı tekrarlayan birim model, parçacık sürüşü algoritması ile hibritlenerek, klasik yöntemlerden olan lineer regresyon modeli ile kıyaslanmıştır. İyileştirici fonksiyonu olarak 'ADAM' iyileştiricisi uygulanmış, kayıp fonksiyonu ise 'MSE' olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin performans ölçümlerinde, ortalama karekök hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), determinasyon katsayısı (R^2) ve standart sapma (SD) istatistikleri kullanılmıştır. Bu değerlendirme metrikleri, günlük akış değerlerinin tahmin edilmesi ve etkinliğin belirlenmesinde birçok çalışmada yaygın olarak kullanılan ölçüm araçları olarak sunulmaktadır (Abyaneh vd., 2011; Arslan vd., 2019). Bu çalışmada kullanılan PSO-GRU, GRU ve Lineer regresyon yöntemlerine ait performans ölçümleri Tablo 2'de verilmiştir. Modellere ait saçılma grafikleri incelendiğinde Hibrit PSO-GRU modelinin, kıyaslama modeli ve lineer regresyon modeli karşısındaki performansının oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Ayrıca, AGİ'lerinden elde edilen test verilerinin uygulanan yöntemler ile elde edilen dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 7'de verilmektedir. Bu saçılma grafiklerine bakıldığında hibrit PSO-GRU yönteminin sonuçları gerçek nehir akım değerlerine daha yakın olup, Fırız Deresi istasyonu için 0,8548 R^2 değeri ve Aksu Çayı istasyonu için 0,9731 R^2 ile en yüksek başarı öngörüsüne sahiptir.

Ayrıca Tablo 2'de değerlendirme kriterleri verilen ölçümlerden, MAE istatistiksel değerlendirme kriterine göre Fırız Deresi ve Aksu Çayında GRU modeli, diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. RMSE değerlendirme kriterine göre, hibrit model olan PSO-GRU her iki istasyonda da başarılı olmuştur. MAPE değerlendirme kriterine göre her iki istasyonda da kıyaslama modeli diğer modelleri geride bırakarak daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart sapma değerlerine bakıldığında, Aksu Çayı istasyonunda lineer regresyon en başarılı sonucu verirken, Fırız Deresi istasyonunda hibrit model diğer modellere göre daha başarılı olmuştur.



Şekil 7. Firnız Deresi ve Aksu Çayı istasyonlarına ait modellerin saçılma grafikleri

Tablo 2. İstatiksel değerlendirme kriterleri

İstasyon	Model	RMSE	MAE	MAPE	SD	R ²
Firnız Deresi	PSO-GRU	0,1895	0,1041	10,4150	0,1202	0,8544
	GRU	0,2475	0,0901	9,0193	0,1388	0,7242
	Liner	0,2616	0,1028	10,2838	0,1738	0,7523
	Regresyon					
Aksu Çayı	PSO-GRU	0,5025	0,0755	7,5524	0,1141	0,9731
	GRU	0,6019	0,0634	6,3430	0,1153	0,9619
	Liner	0,6981	0,0702	7,0246	0,1071	0,9486
	Regresyon					

4. Sonuç

Bu çalışmada akış verilerini tahmin etmek PSO ve GRU'yu entegre eden bir hibrit yöntem önerilmektedir. Önerilen modelin performansı Fırtın Deresi ve Aksu Çayı akım gözlem istasyonu verileri üzerinde test edilmiştir. Temel olarak, GRU sinir ağı, zaman serisi tahminleri için başarılı bir öğrenme yeteneği gösterse de performansı bazı hiper parametrelerin etkisiz kalması nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Örneğin, GRU modellerinde hala yavaş yakınsama hızı ve düşük öğrenme verimliliği gibi sorunlar vardır, bu da çok uzun eğitim süresine ve hatta yetersiz uyumla sonuçlanır. Bu nedenle PSO parametrelerinin etkin güçlerinden yararlanılmıştır. GRU parametrelerinin uygun değerlerini aramak için PSO kullanılmıştır. RMSE, MAE, MAPE, SD, R² gibi istatistiksel ölçüm kriterleri özellikle tahmin ölçümleri ve modelin performansını gözlemek için temel kriterlerdir. Bu kriterler önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen PSO-GRU yaklaşımı ile akış verilerinin tahmin hatasının kıyaslama modeline göre daha başarılı bir şekilde azaltıldığını göstermiştir. Sonuç olarak, yaklaşımın düşük ölçümlere sahip olduğu tespit edilmiştir ve değerlendirme kriterleri ile bu sonuçlar anlamlı hale gelmiştir. Bu durum hibrit model yaklaşımının kıyaslama modelini iyileştirebildiğini göstermektedir. Değerlendirme kriter sonuçlarının yer aldığı Tablo 2 modelin verilere olan uyumunu belirtmektedir. Popülasyon tabanlı algoritmalar için yüksek olasılık tabanlı arama stratejileri nedeniyle, küresel optimumun bölgesine erişmek için genellikle uzun bir hesaplama süresi gerekir. Bu sebeple, GRU ağının diğer meta-sezgisel arama tekniklerini kullanarak eğitilmesi ve ilgili ağlardaki performansının incelenmesi için gelecekte yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Ayrıca, küresel ısınma, iklim değişikliği ve su kıtlığı gibi çarpıcı etkilere maruz kalan ülke içerisindeki farklı havzaların da yeni hibrit modeller ile incelenmesi, gelecek için planlamaya esas projelere katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Zhou, S.; Song, C.; Zhang, J.; Chang, W.; Hou, W.; Yang, L. A Hybrid Prediction Framework for Water Quality with Integrated W-ARIMA-GRU and LightGBM Methods. *Water* 2022, 14, 1322. <https://doi.org/10.3390/w14091322>

Akdeğirmen, Ö. (2019). SCS Curve Number ve Soil Moisture Accounting Yöntemleriyle HEC-HMS Havza Modellemesi: Alaşehir Havzası Örneği. Yüksek lisans Tezi. İzmir, Türkiye: İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi.

Xu, Z., Zhou, J., Mo, L., Jia, B., Yang, Y., Fang, W., Qin, Z. (2021). A Novel Runoff Forecasting Model Based on the Decomposition-Integration Prediction Framework. *Water*, 13, 3390. <https://doi.org/10.3390/w13233390>

Bittelli, M., Tomei, F., Pistocchi, A., Flury, M., Boll, J., Brooks, E.S., Antolini, G. (2010). Development and testing of a physically based, three-dimensional model of surface and subsurface hydrology. *Adv. Water Resour.* 33, 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.10.013>

Kilinc, H.C.; Haznedar, B. (2022). Hybrid Model for Streamflow Forecasting in the Basin of Euphrates. *Water*, 14, 80. <https://doi.org/10.3390/w14010080>

Chen, L.; Sun, N.; Zhou, C.; Zhou, J.; Zhou, Y.; Zhang, J.; Zhou, Q. (2018). Flood Forecasting Based on an Improved Extreme Learning Machine Model Combined with the Backtracking Search Optimization Algorithm. *Water*, 10, 1362. <https://doi.org/10.3390/w10101362>

Sun, N., Zhang, S., Peng, T., Zhang, N., Zhou, J., Zhang, H. (2022). Multi-Variables-Driven Model Based on Random Forest and Gaussian Process Regression for Monthly Streamflow Forecasting. *Water*, 14, 1828. <https://doi.org/10.3390/w14111828>

Mosavi, A., Ozturk, P., Chau, K. W. (2018). Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*, 10, 1536. <https://doi.org/10.3390/w10111536>

B. Bunday, Basic Optimization Methods, London: Edward Arnold Ltd, 1984.

Çelik, Y., Yıldız, İ., Karadeniz, A. T. (2019). Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 463-477. <https://doi.org/10.31590/ejosat.638431>

Samanataray, S., Sahoo, A. (2021). A Comparative Study on Prediction of Monthly Streamflow Using Hybrid ANFIS-PSO Approaches. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(10), 4032–4043. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-2223-y>

Chaudhury, S., Samantaray, S., Sahoo, A., Bhagat, B., Biswakalyani, C., Satapathy, D.P. (2022). Hybrid ANFIS-PSO Model For Monthly Precipitation Forecasting. In: Bhateja, V., Tang, J., Satapathy, S.C., Peer, P., Das, R. (eds) *Evolution in Computational Intelligence. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 267. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6616-2_33

Kırtıl, H. S. (2022). Mobil Lokalizasyon Problemine Uygulanan Yeni Bir Hibrit Metasezgisel Algoritma. Yüksek lisans Tezi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi.

Zhang, D., Lindholm, G., Ratnaw, E., R. H. (2018). Use long short-term memory to enhance Internet of Things for combined sewer overflow monitoring. *Journal of Hydrology* 556: 409-418.

Stergiou, K., Karakasidis, T. E. (2021) Application of deep learning and chaos theory for load forecasting in Greece. *Neural Computing and Applications*.

Abdolrasol, M. G. M., M. A. Hannan, S. M. S. Hussain, and T. S. Ustun. (2022). Optimal PI controller based PSO optimization for PV inverter using SPWM techniques. *Energy Reports*, 8, 1003–1011.

Alzerkani, L. A. R. (2022). Control The Maximum Power Point (MPP) During Rapidly Change of Irradiation in Partially Shaded Photovoltaic System Using Particle Swarm Optimization (PSO). Yüksek lisans Tezi. İstanbul, Türkiye: Altınbaş Üniversitesi.

Achite, M., Banadkooki, F.B., Ehteram, M. *et al.* Exploring Bayesian model averaging with multiple ANNs for meteorological drought forecasts. *Stoch Environ Res Risk Assess* (2022). <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02150-6>

Barutcu, İ. Ç. & Erduman, A. (2022). Analysis of the Uncertainty Effect in Power System Losses: Uncertainties of Renewable Energy and Load. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 62-71. DOI: 10.31590/ejosat.1051410

Muhammad, A.U., Li, X., Feng, J. (2019). Using LSTM GRU and Hybrid Models for Streamflow Forecasting. In: Zhai, X., Chen, B., Zhu, K. (eds) *Machine Learning and Intelligent Communications. MLICOM 2019. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 294. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32388-2_44

Ahmed, A.A.M., Deo, R.C., Feng, Q. *et al.* Hybrid deep learning method for a week-ahead evapotranspiration forecasting. *Stoch Environ Res Risk Assess* 36, 831–849 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02078-x>

- Singh, U.K., Kumar, B., Gantayet, N.K., Sahoo, A., Samantaray, S., Mohanta, N.R. (2022). A Hybrid SVM–ABC Model for Monthly Stream Flow Forecasting. In: Chakravarthy, V.V.S.S.S., Flores-Fuentes, W., Bhateja, V., Biswal, B. (eds) *Advances in Micro-Electronics, Embedded Systems and IoT. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 838. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8550-7_30
- Cho, K.; van Merriënboer, B.; Gulcehre, C.; Bahdanau, D.; Bougares, F.; Schwenk, H.; Bengio, Y. Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation. In *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, Doha, Qatar, 25–29 October 2014; 1724–1734.
- Zhao, X.; Lv, H.; Wei, Y.; Lv, S.; Zhu, X. Streamflow Forecasting via Two Types of Predictive Structure-Based Gated Recurrent Unit Models. *Water* 2021, 13, 91.
- Wegayehu, E.B., Muluneh, F. B. Short-Term Daily Univariate Streamflow Forecasting Using Deep Learning Models, *Advances in Meteorology*, 2022, 1860460, 21.
- Zhou, S.; Song, C.; Zhang, J.; Chang, W.; Hou, W.; Yang, L. A Hybrid Prediction Framework for Water Quality with Integrated W-ARIMA-GRU and LightGBM Methods. *Water* 2022, 14, 1322.
- Kennedy, J.; Eberhart, R. Particle swarm optimization. In *Proceedings of the ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, 27 November–1 December 1995; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 1995; Volume 4, pp. 1942–1948.
- Roshanravan, B.; Aghajani, H.; Yousefi, M.; Kreuzer, O. Particle Swarm Optimization Algorithm for Neuro-Fuzzy Prospectivity Analysis Using Continuously Weighted Spatial Exploration Data. *Nonrenew. Resour.* 2018, 28, 309–325.
- Chi, S.; Ni, S.; Liu, Z. Back Analysis of the Permeability Coefficient of a High Core Rockfill Dam Based on a RBF Neural Network Optimized Using the PSO Algorithm. *Math. Probl. Eng.* 2015, 2015, 1–15.
- Eldem, H. (2014). Karınca koloni optimizasyonu (KKO) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) Algoritmaları Temelli Bir Hiyerarşik Yaklaşım Geliştirilmesi. Yüksek lisans Tezi. Konya, Türkiye: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abyaneh, H.Z.; Nia, A.M.; Varkeshi, M.B.; Marofi, S.; Kisi, O. Performance Evaluation of ANN and ANFIS Models for Estimating Garlic Crop Evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2011, 137, 280–286.
- Arslan, N.; Sekertekin, A. Application of Long Short-Term Memory neural network model for the reconstruction of MODIS Land Surface Temperature images. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 2019, 194, 105100.
- Çuhadar, M., Atış, E. (2019). Drought Analysis in Ceyhan Basin Using Standardized Precipitation Index. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9, 2303-2312.
- Tanriverdi, Ç., Alp, A., Demirkıran, A. R., Üçkardeş, F. (2009). Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1-4), 175–184. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1040-4>
- Çuhadar, M. (2019). Mobil Lokalizasyon Problemine Uygulanan Yeni Bir Hibrit Metasezgisel Algoritma. Yüksek lisans Tezi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi. Doktora Tezi. İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi.
- Koç, K. O. (2019). Phyton Üzerinden Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Deri Görüntüsünden Cilt
- Hastalıklarının Tespit Edilmesi. Yüksek lisans Tezi. Bolu, Türkiye: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi.



Examining Fraudulent Financial Statements of Small and Medium Sized Enterprises (SMEs) from Different Sectors in Turkey

Ozlem Senvar¹, Serhan Hamal^{2*}

^{1*} Marmara University, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-3648-9445), ozlemsenvarresearch@gmail.com

² Marmara University, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-0086-1025), serhanhamal@gmail.com

(First received 27 January 2022 and in final form 18 September 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1063728)

ATIF/REFERENCE: Hamal, S. & Senvar, O. (2022). Examining Fraudulent Financial Statements of Small and Medium Sized Enterprises (SMEs) from Different Sectors in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (41), 211-220.

Abstract

Financial statement fraud has negative effects on sustainable financial development of businesses and industries. In this study, Turkish SMEs from different sectors have been examined in terms of fraud detection in financial statements. Banks, which assess the credit demands of SMEs, must be vigilant and innovative to combat financial accounting fraud. From these standpoints, comprehensive comparison study is conducted by examining 341 Turkish SMEs' financial statements from different sectors (manufacturing, construction, transportation, agricultural). The data of these SMEs are collected from one of the largest banks, based on total assets, in Turkey in which the bank provide them loans for funding. Results show that firms in construction sector mostly manipulate Cash (100), Due from Shareholders (131) financial accounts more than firms in other sectors (with rate of 56 %). This study can be guideline to comprehend on sectoral basis which financial accounts are mostly used in fraudulent financial reporting in which it can be useful to reduce fraud risks for SMEs along with to protect and prevent against fraud for all players in financial reporting system.

Keywords: Fraudulent financial statement, SME, Financial Accounting Fraud.

Farklı Sektörlerden Türkiye'deki Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin(KOBİler) Hileli Finansal Tablolarının İncelenmesi

Öz

Finansal tablolarda hile, işletmelerin ve endüstrilerin sürdürülebilir finansal gelişimi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu çalışmada, finansal tablolardaki hile tespiti açısından farklı sektörlerdeki Türk KOBİ'leri incelenmiştir. KOBİ'lerin kredi taleplerini değerlendiren bankaların finansal muhasebe dolandırıcılığı ile mücadele konusunda ihtiyatlı ve yenilikçi olmaları gerekmektedir. Bunlara dayanarak, farklı sektörlerden (imalat, inşaat, ulaşım, tarım) 341 Türk KOBİ'sinin finansal tabloları incelenerek kapsamlı bir karşılaştırma çalışması yapılmıştır. KOBİ'lerin verileri, Türkiye'nin aktif bazda en büyük bankalarından biri olan ve kendilerine finansman sağlamak için kredi sağladığı bir bankadan alınmıştır. Sonuçlar, inşaat sektöründeki firmaların (% 56 oranında) Kasa (100), Ortaklardan Alacaklar (131) finansal hesaplarını diğer sektörlerdeki firmalardan daha fazla manipüle ettiğini göstermektedir. Bu çalışma, hileli finansal raporlamada en çok hangi finansal hesapların kullanıldığını sektörel bazda anlamada, KOBİ'ler için dolandırıcılık risklerini azaltmak ve finansal raporlama sisteminin tüm oyuncularını için dolandırıcılıktan korunmak ve önlemek için faydalı olabileceği için yol gösterici olabilir.

Anahtar Kelimeler: Hileli finansal tablo, KOBİ, Finansal Muhasebe Hilesi.

1. Introduction

International Auditing and Assurance Standards Board (IAASB) (2009) published International Standard on Auditing 240 (ISA 240) and defined fraud as "An intentional act by one or more individuals among management, those charged with governance, employees, or third parties, involving the use of deception to obtain an unjust or illegal advantage". According to ISA 240, fraud causes two sorts of misstatements: fraudulent financial reporting and misstatements resulting from asset misappropriation. Fraudulent financial reporting activities require higher levels of awareness and comprehensive understanding of financial statement fraud (Rezaee and Riley, 2010).

Intentional misstatements in financial statements, such as omissions of amounts or disclosures, are defined as financial statement fraud. Overstating assets, understating expenses or liabilities, overstating revenues, misappropriating assets, and other various methods are commonly utilized to deceive financial statement users (Tazilah and Hussain, 2015).

Financial fraud can take numerous forms, involving management fraud, credit card fraud, and money laundering. Financial fraud is divided into four categories by Ngai et al. (2011): Securities and commodities fraud, Insurance fraud, Bank fraud, and other associated financial fraud. Financial fraud is also divided into three categories by West and Bhattacharya (2015): Bank fraud, Corporate fraud, and Insurance fraud. Financial statement fraud can be referred to as corporate fraud when the financial reports include misstatements or omissions of accounts (Kassem, 2016). Financial statement fraud can also be categorised as management fraud, since management may manipulate financial accounts like as cash, accounts receivable, inventories, and net sales (Kassem, 2016; Thiruvadi and Patel, 2011).

According to Aladejebi and Oladimeji (2019), SMEs have smaller resources to both prevent and recover from financial fraud, and these businesses have fewer anti-fraud controls. Therefore, they are more vulnerable to fraud. To reduce fraud and manage risks proactively, SMEs should first identify the factors which may cause fraudulent activities. The weakening of societal values and financial pressure are the primary causes of fraud. Fraud prevention measures including societal values (integrity), strong internal and external control systems, and employee training programs should be implemented by SMEs for effective fraud management. While anti-fraud processes and controls, as well as appropriate oversight functions, have significant and positive effects on fraud prevention mechanisms, the development of an effective fraud prevention mechanism requires the full commitment of top management to establish a culture of honesty and high integrity (Sow et al., 2018a). European Federation of Accountants (2005) emphasized some measures such as establishing the ethical culture, identifying risk areas, establishing policies and procedures and providing a channel for reporting suspected fraud should be implemented in order to minimise the risk of fraud. Hess and Cottrell (2016) offered seven practical recommendations for small businesses to manage fraud risks as follows: (1) showing ethics matters, (2) making reporting easier, (3) trusting and verifying, (4) Beware of the slippery slope, (5) looking for suspicious patterns, (6) bad decision making with good outcomes, (7) giving employees what they need to reach for their goals. These strategies help them strengthen their defenses against fraud risks.

In the context of Turkish SMEs, both weak internal and external controls, weakling of societal values (honesty, trust etc.), weak financial conditions, tax avoidance and the loopholes within government regulations and laws are the major causes of fraudulent activities. Accordingly, identification of fraud risk indicators that consider above causes is crucial for establishing an effective fraud risk management approach.

Implementing audit procedures helps detecting fraud risk in financial statements, but financial fraud detection is a complex problem that requires more attention than conventional audit approaches (Chen et al., 2014). Statistical sampling, the Audit Risk Modeling, Business Risk Auditing and Big Data and Data Analytics in audit methodology has strengthened impact of auditing (Salijeni et al., 2019). However, the above developments in audit technology are not beneficial in financial accounting fraud detection for Turkish SMEs. Since, auditing has not been made mandatory for SMEs in Turkey.

Notably, more than 98% of the enterprises operating in Turkey are small and medium sized enterprises (SMEs) (Halıcı and Erhan, 2013), and the Cabinet Decree specifies which companies are subject to audit. The majority number of the SMEs do not comply the Cabinet Decree's restrictions (Karahan et al., 2017).

The companies, which are subject to audit, are determined by the Cabinet Decree published in the Official Gazette on 22.03.2018. According to the criteria; balance sheet total of 35 million ₺; annual net turnover of 70 million ₺; employee headcount of 175.

It is specified that companies providing at least two of the above criteria within the two consecutive accounting periods are subject to audit. In addition to these criteria, public interest entities including (but not limited to) Publicly held companies; Banks; Insurance reinsurance and pension companies; Factoring companies; Financing companies; Financial lease companies; Asset management companies are subject to audit (Public Oversight Accounting and Auditing Standards Authority, 2018).

As a matter of fact, small businesses encountered specific fraud risks which are known to be different from the risks which are encountered by larger businesses. SMEs should be more concerned because businesses with fewer than 100 employees are experiencing fraud cases than larger businesses statistically (Aris et al., 2015). Cobo et al. (2017) emphasized that deepen the study of auditing role in terms of decision making in the banking sector, especially paying attentions to SMEs is required.

Few researchers have focused on fraud risks for SMEs. Johnson and Rudesill (2001) made an investigation into fraud prevention and detection of small businesses in the United States. They offered small businesses owners and managers to be proactive in preventing fraud, since small businesses are more vulnerable than large businesses and losses more devastating. Shanmugam et al. (2012) considered the issues of the internal controls, risk management, and fraud prevention on SMEs performance. Effective internal control, risk management, and the presence of adequate fraud prevention measures were found to help SMEs enhance their performance. Aris et al. (2015) assessed the possibility of fraudulent financial statements in a small medium automotive company in Malaysia.

Mekic et al. (2017) examined manipulative accounting of SMEs in Bosnia and Herzegoviana. They concluded that forensic accounting is vital and useful in pointing out incorrectly given

information. Following table summarizes some of studies that consider fraud risks for SMEs.

Table 1. Some of studies that consider fraud risks for SMEs.

Authors	Title
Johnson and Rudesill (2001)	An Investigation into Fraud Prevention and Detection of Small Businesses in the United States: Responsibilities of Auditors, Managers and Business Owners
Shanmugam et al. (2012)	Internal Control, Risk Management and Fraud Prevention Measures on Smes: Reliability and Validity of Research Instrument
Aris et al. (2015)	Fraudulent Financial Statement Detection Using Statistical Techniques: The Case of Small Medium Automotive Enterprise
Tazilah and Hussain (2015)	The Importance of Internal Control in SMEs: Fraud Prevention and Detection
Mekic et al. (2017)	Forensic Accounting as a Solution to Manipulative Accounting of Sme's in Bosnia and Herzegovina
Omar et al.(2017)	Predicting Fraudulent Financial Reporting Using Artificial Neural Network
Sow et al. (2018a)	Fraud Prevention in Malaysian Small and Medium Enterprises (SMEs)
Andoh et al. (2018)	Impact of Fraud on Ghanaian SMEs and Coping Mechanisms
Sow et al. (2018b)	Understanding Fraud in Malaysian SMEs
Aladejebi and Oladimeji (2019)	Fraud Management among Small and Medium Enterprises in Lagos, Nigeria

Similarly, few studies have examined fraud risks on a sectoral basis. Gunduz and Onder (2013) considered corruption and internal fraud in the Turkish construction industry. They offered some improvement opportunities in order to reduce internal fraud risks. To limit the possibility of internal fraud, they emphasized the significance of having defined written workflows, job descriptions, open organizational structure, and extensive policies and procedures. They also advocated for the implementation of internal controls to ensure the effectiveness and efficiencies of operations, as well as compliance with laws and regulations. Fidan and Mumcu (2019) investigated fraud risks in the mining sector on an example marble firm. They found that the internal control system of the enterprise is not given the necessary importance, the distribution of duties of the employees is not made, the net rules are not applied in recruitment and promotion. In addition, it is stated that a lack of communication exists between the production department, marketing and sales departments and the senior management. It is also determined that an effective reporting system has not been established in the accounting department and that the accounting information system is not reliable. Aris et al. (2015) studied fraud risks in a small medium automotive company in Malaysia. According to their findings, there are some hazardous zones that need to be studied further by management. They recommended that the company set up an internal audit unit to ensure that the company's operations and financial reporting are accurate.

Financial ratios are commonly used as fraud risk indicators to detect financial statement fraud. For financial statement fraud detection, numerous studies have utilized a variety of financial ratios. Financial ratios involved falsified accounts will differ from usual patterns and indicate signals of accounting fraud if a fraudulent operation is conducted (Jofre, 2017). Therefore, it is

important to examine the most used financial items for financial accounting fraud. These are as follows.

Cash (100)

Cash (100) is a part of the current assets section of the balance sheet and contribute to a company's net working capital. It includes legal tender, bills, coins, and savings accounts. Expenses and losses, which are not transferred to the income statement, can be hidden in this account.

Accounts Receivable (120)

Accounts receivable is more likely to be manipulated by management (Loebbecke et al., 1989; Persons, 1995; Fanning and Cogger, 1998). Sales can be recorded before they are earned because of the differences of timing in revenue recognition, and this increase accounts receivable.

Allowance for Doubtful Accounts (129)

The allowance for doubtful accounts is subject to manipulation as it is open to management's judgment (Fanning and Cogger, 1998).

Due from Shareholders (131)

One of the common transactions in a company is borrowing funds from the company. When a shareholder needs personal funds, he/she can withdraw funds from the company. However, this account is open to management manipulation.

Inventories (15)

Many researchers such as Persons (1995), Summers and Sweeney (1998), Fanning and Cogger (1998) and Spathis (2002) claim that management may manipulate inventories. Summers

and Sweeney (1998) indicate that inventory is open for preferences and interpretation, and manipulations on this account can be performed more easily. Obsolete inventories are important part of such manipulations. Companies eager to commit fraud do not properly disclose the amount of obsolete inventory (Fanning and Cogger,1998). Another type of manipulation is stating inventory at a reduced cost, or selling price (Birol, 2017; Spathis, 2002).

Due to Shareholders (331)

It is the account in which all payments except the capital that shareholders of the firm transfer to firm, are examined. In addition, non official receivables and sales can be hidden in this account (Turkmen,2016).

There are absolutely manipulated accounts which are not mentioned in this article. Since there are many financial accounts, the most used financial items for financial accounting fraud are handled in this study.

Fraud risk indicators are important for fraudulent financial reporting and they are useful to detect the underlying causes of fraudulent financial reporting (Rezaee, 2002). Financial ratios are used as fraud risk indicators to detect financial statement fraud (Kaminski et al., 2004; Ravisankar et al., 2011; Chen,2016; Omar et al, 2017). For financial statement fraud detection, many studies have employed various financial ratios. According to Girgenti and Hedley (2011), an effective fraud risk management strategy involves three controlled objectives: to prevent, to detect and to respond.

From these standpoints; in this study, we mainly focused on 'to detect' objective to establish an effective fraud risk management for SMEs in Turkey. In this study, financial ratios that include "Cash" , "Due from Shareholders" and "Due to Shareholders" accounts are taken into consideration for financial statement fraud detection. These financial accounts are handled in terms of management along with corporate financial statement fraud. The study's scope includes a complete comparison analysis of 341 Turkish SMEs from various sectors using financial statements (manufacturing, construction, transportation, agricultural, and etc.). The data of these SMEs are collected from one of the largest banks, based on total assets, in Turkey. This research intends to shed light on the financial statements of Turkish SMEs operating in a variety of industries with high loan demand. Banks, which assess the credit demands of these SMEs, must be constantly vigilant and innovative in their approaches to combat financial accounting fraud. Results of the our examinations revealed that the most manipulated financial accounts as fraud risk indicators in financial statements were obtained as Cash (100), Due from Shareholders (131), Inventories (15) , Due to Shareholders (331), Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280) for 341 Turkish SMEs.

To the best of our knowledge, financial ratios of "Cash" , "Due from Shareholders" and "Due to Shareholders" accounts have not been examined for detecting financial statement fraud, yet. We believe that this study can be a guideline to reduce fraud risk for SMEs as well as to protect and prevent against fraud for all players in the financial reporting system. The rest of the study is organized as follows: Section 2 covers Material and Method. Results and Discussion are given in Section 3. Section 4 provides conclusion, recommendations for further directions.

2. Material and Method

In this study, it is aimed to extend existing literature by examining financial accounts which can indicate fraud risk in financial statements of SMEs on a sectoral basis. To the best of our knowledge, financial ratios, which include Cash (100) , Due from Shareholders (131) and Due to Shareholders (331) accounts have not been examined for detecting financial statement fraud in previous studies. We look to fill this gap in the literature by examining the manipulated financial accounts by SMEs.

2.1. Data Collection

The financial statements of 341 Turkish SMEs from various industries (manufacturing, construction, transportation, agriculture, and etc.) have been analyzed. This data are collected from one of the largest banks, based on total assets, in the sector. Microsoft Excel and Minitab Statistical Software 17 were used for data analyses.

Notably, the codes and corresponding accounts in Uniform Chart of Accounts of Turkey published in the Official Gazette on 26.12.1992 are considered in this study. The Uniform Chart of Accounts is a set of rules that regulates accounting's fundamental concepts and principles. The firms in Turkey are required to comply with the procedures and accounting principles specified in this communique.

In this study, after examination of all financial accounts in financial statements of 341 Turkish SMEs, manipulated financial accounts are detected and determined.

2.2. Descriptive Statistics

After data collection, the firms, which have been analyzed for fraud detection in this study, have been classified into six sectors according to the European Union official classification of economic activities, called NACE (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne) (Eurostat, 2008): Wholesale and Retail Trade, Agricultural, Transportation, Manufacturing, Construction and Accomodation and Food Service. Then, the share of each sector in the sample has been calculated. For instance, the share of Wholesale and Retail Trade sector in the sample has been computed as 40 percent. The similar computations are performed for other sectors, respectively. The share of each sector in the sample is shown in Figure 1.

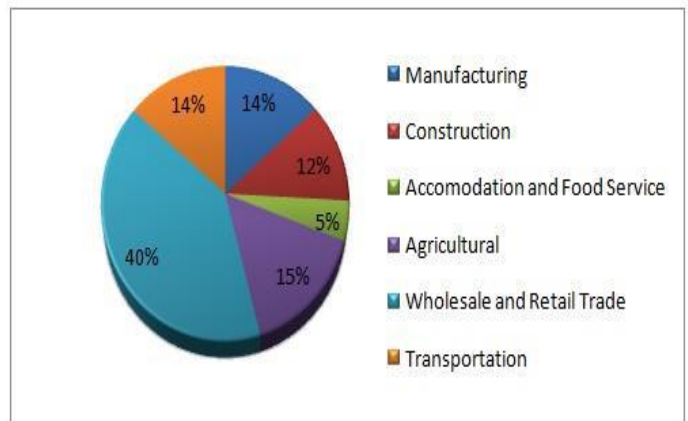


Figure1.Sectoral Distribution of SMEs

After above calculations, deeper examinations have been performed by using financial statements of Turkish SMEs. In total, 64 percent of the firms are found as non fraudulent and 36 percent are found as fraudulent (Figure 2).



Figure 2. Relative Frequency of SMEs

Then, examinations have been extended within the context of sectoral basis. In terms of Wholesale and Retail Trade sector, 65 percent of them are found as non fraudulent, 35 percent of them are found as fraudulent. Moreover, relative frequencies of both fraudulent and non fraudulent financial statements are evaluated for each corresponding sector. In regard to Agricultural sector, 85 percent of the firms have non fraudulent financial statements, 15 percent of them have fraudulent financial statements. With respect to Transportation sector, 54 percent of firms have non fraudulent financial statements, 46 percent of them have fraudulent financial statements. In terms of Manufacturing sector, 72 percent of firms have non fraudulent financial statements, 28 percent of them have fraudulent financial statements. In the matter of Construction sector, 44 percent of firms have non fraudulent financial statements, 56 percent of them have fraudulent financial statements. With respect to Accommodation and Food Service sector, 50 percent of firms have non fraudulent financial statements, 50 percent of them have fraudulent financial statements. Relative frequency of fraudulent firms and non fraudulent firms can be seen from Table 2.

Table 2. Relative Frequency of Fraudulent Firms and Non Fraudulent Firms

Sectors	Non Fraud	Fraud	Total
Manufacturing	72%	28%	100%
Construction	44%	56%	100%
Accommodation and Food Service	50%	50%	100%
Agricultural	85%	15%	100%
Wholesale and Retail Trade	65%	35%	100%
Transportation	54%	46%	100%

Frequency distribution of fraudulent firms and non fraudulent firms can be seen from Table 3. As can be seen in Table 3, non fraudulent firms are in the majority in all sectors except Construction and Accommodation and Food Service sectors. In Accommodation and Food Service sector, the number of non-fraudulent firms and fraudulent firms are found as equal.

Table 3. Frequency Distribution of Fraudulent Firms and Non Fraudulent Firms

Sectors	Non Fraud	Fraud	Total
Manufacturing	34	13	47
Construction	18	23	41
Accommodation and Food Service	8	8	16
Agricultural	44	8	52
Wholesale and Retail Trade	89	48	137
Transportation	26	22	48
Total	219	122	341

In Construction sector, fraudulent firms are in the majority. Figure 3 also shows relative frequencies of fraudulent firms on a sectoral basis.



Figure 3. Relative Frequency of Fraudulent Firms on a Sectoral Basis

A firm may commit fraud over only one year, non-consecutive years or consecutive years. Figure 4 shows distribution of fraudulent firms by number of years in which committing fraud. Of 122 firms, 39 committed fraud for only one year. 22 firms committed fraud for two years, 23 firms committed fraud for three years. For the five years from 2013 to 2017, a total of 321 fraudulent cases are identified across 122 fraudulent firms. This dataset comprises 1384 non fraudulent cases and 321 fraudulent cases in total (Figure 5). Figure 6 presents distribution of fraudulent cases by year. Figure 6 also reveals that the number of fraud cases increased dramatically between 2013 and 2017, having peaked in 2017.

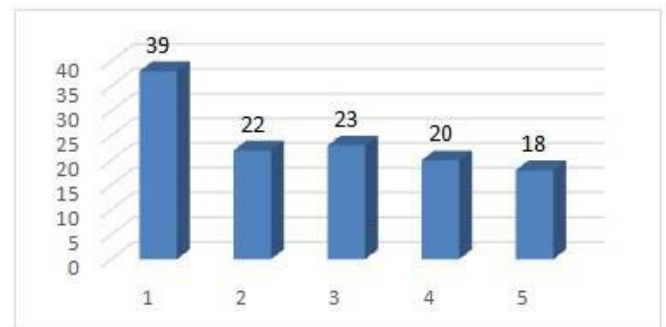


Figure 4. Distribution of fraudulent firms by number of years in which committing fraud

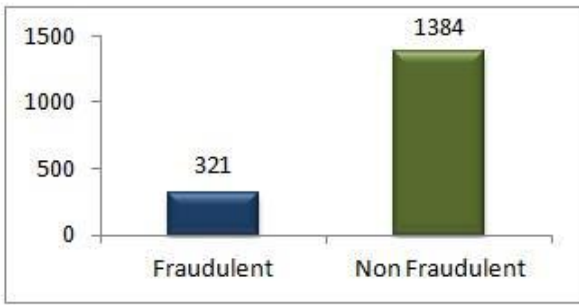


Figure 5. Distribution of cases

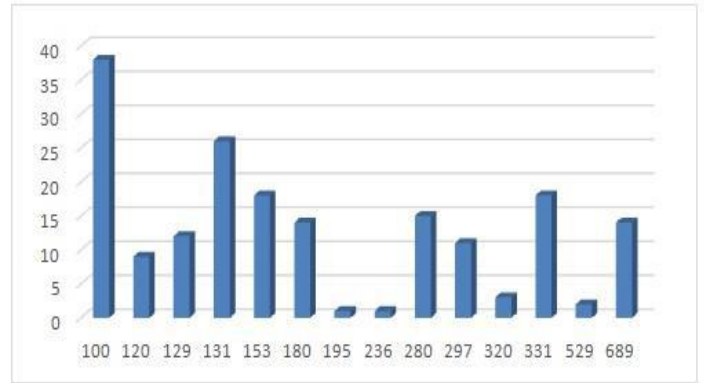


Figure 7. Frequency distribution of financial accounts which are used for fraudulent financial reporting activities

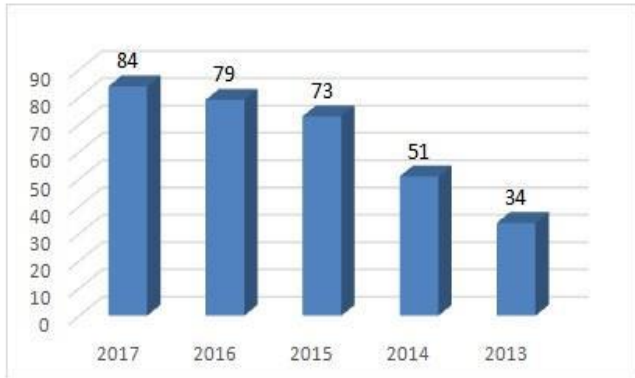


Figure 6. Distribution of fraud cases by year

Figure 7 shows financial accounts, which are used for fraudulent financial reporting activities. Accordingly, the most commonly used financial accounts for financial statement fraud are found as cash (100), Due from Shareholders (131), Inventories (15) , Due to Shareholders (331), Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280).

The most commonly used financial accounts for financial statement fraud on a sectoral basis are shown in Figure 8. Fraudulent firms in the manufacturing sector mostly manipulated Cash (100), Doubtful Trade Receivables (128) and Due from Shareholders (131) financial accounts. In the Accomodation and Food Service sector, Cash (100) and Due to Shareholders (331) financial accounts were mostly used for fraudulent activities. Fraudulent firms in the construction sector mostly manipulated Cash (100) and Due from Shareholders (131) financial accounts. In the Agricultural sector, Doubtful Trade Receivables (128), Due from Shareholders (131) and Inventories (15) financial accounts were mostly used for fraudulent activities. In the Wholesale and Retail Trade sector, Cash (100) and Inventories (153) financial accounts were mostly used for fraudulent activities. Fraudulent firms in the transportation sector mostly manipulated Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280) financial accounts.

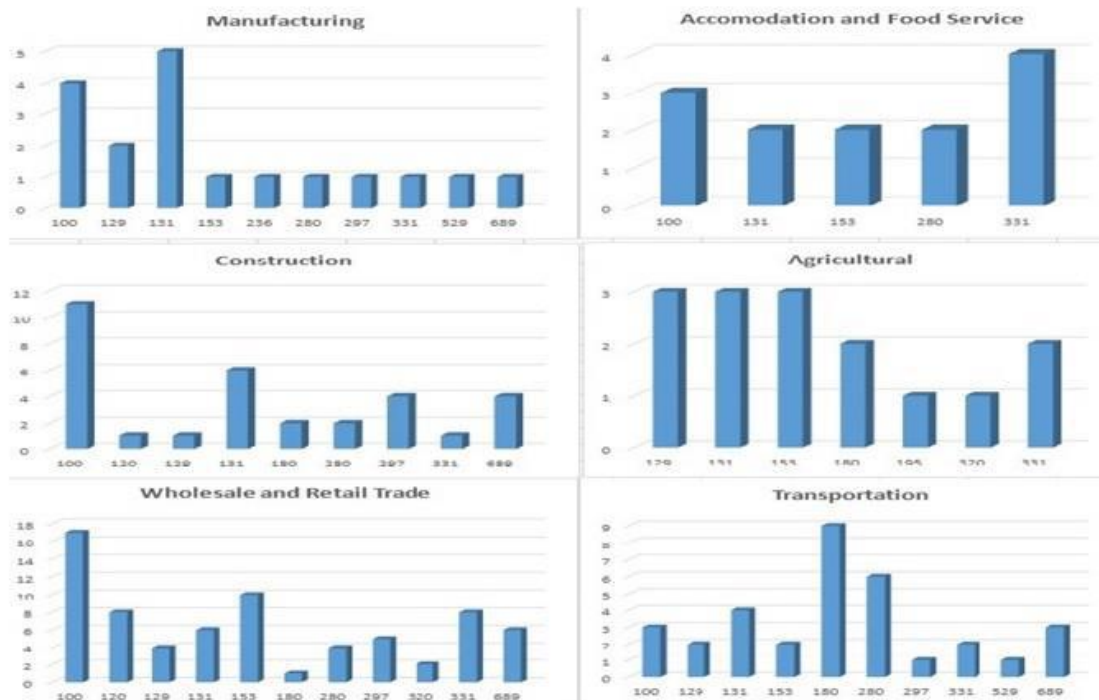


Figure 8. The most commonly used financial accounts for financial statement fraud on a sectoral basis

2.3. Inferencial Statistics

In order to find out whether the difference in averages of manipulated financial accounts is statistically significant or not, t-test for independent samples is conducted between non fraudulent firms and fraudulent firms. Standard deviations, means, p-values, and t-values for each manipulated financial account in this data set are presented in Table 4.

As can be seen in Table 4, all the manipulated financial accounts present low p-values ($p \leq 0.05$). In other words, the difference in averages of manipulated financial accounts is statistically significant between non fraudulent firms and fraudulent firms. There is sufficient evidence that the manipulated accounts differ from the usual patterns and indicate signals of accounting fraud.

Table 4. Standard Deviations, Means, P-values and T-values for Manipulated Financial Items

Category	Financial Accounts	NonFraudulent Firms		Fraudulent Firms		t-statistic		
		Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	t-value	p-value	
Balance Sheet	Current Assets	Cash (100)	99,946	50,211	1,401,232	1,621,813	10.03	0.000
		Accounts Receivable (120)	2,183,268	2,158,464	2,770,517	9,394,563	13.94	0.000
		Doubtful Trade Receivables (128)	59,228	12,985	841,926	1,738,804	10.25	0.000
		Due from Shareholders (131)	108,666	18,973	1,473,028	2,471,783	13.73	0.000
		Inventories (15)	2,030,495	1,140,014	3,110,386	6,412,806	11.91	0.000
		Prepaid Expenses for Future Months (180)	126,828	34,271	1,020,907	1,747,432	7.87	0.000
	Long-Term Assets	Work Advances (195)	230,808	26,769	977,684	2,509,569	5.68	0.005
		Other Miscellaneous Receivables (236)	21,832	1,865	803,045	3,162,690	7.87	0.004
		Prepaid Expenses for Future Years (280)	172,72	64,148	1,044,036	1,453,295	7.52	0.000
		Other Fixed Assets (297)	99,537	8,339	1,432,269	2,407,272	6.04	0.000
Liabilities	Accounts Payable (320)	2,257,685	1,646,648	2,254,619	9,922,304	6.34	0.000	
	Due to Shareholders (331)	1,369,503	445,25	2,922,639	3,680,307	7.64	0.000	
Shareholder's Equity	Other Capital Reserves (529)	661,706	155,724	3,241,836	7,671,716	6.13	0.001	
Income Statement	Other Expenses	Other Extraordinary Expenses and Losses (689)	271,85	73,166	1,296,676	2,372,291	6.87	0.000

3. Results and Discussion

3.1. Findings by Sectors

It has been revealed that SMEs operating in the Construction sector, manipulate their financial accounts considerably more than firms operating in other sectors (with a rate of 56 %). Understatement of expenses is a common fraudulent technique used by firms operating especially in the construction sector. Profitability can be overstated by using this technique, and so these firms may provide credit facilities above their true borrowing capacities from banks and financial institutions. Based on this finding, it is possible to recommend that there would be reduction in fraudulent activities if governmental regulations and laws would be provided and imposed for auditing of operations in this sector and hence enhancement of efficiencies and effectiveness can be achieved, accordingly.

Accommodation and Food Service is the second sector that mostly manipulate financial statements. Unrecorded sales is a

common fraudulent technique used in this sector. This type of fraud takes place when an individual sells goods or services to a customer and receives payment, but does not keep track of the transaction. Firms use this method for tax avoidance, and this method is commonly used by Turkish SMEs.

Fraudulent financial statements are also common in the transportation sector (with a rate of 46%). In this sector, prepaid expenses are generally used for overstatement of assets. Because the payment indicates a benefit that will be utilised in future periods, prepaid expenses are recognized as an asset on a balance sheet of a company. However, the company may delay the recognition of some expenses, and this violates the expense recognition principle.

According to our data set, it is found that fraudulent activities in wholesale and retail trade, manufacturing and agricultural sectors are less than other sectors (construction, accommodation and food service, transportation). However, it should be noted here that this situation may vary according to different data sets.

3.2. Findings by Financial Accounts

The findings of this study revealed that manipulated financial accounts may change on a sectoral basis. For instances, Cash(100) and Due from Shareholders (131) are found as the most manipulated financial accounts in the construction sector. It is found that fraudulent firms in the transportation sector mostly manipulated financial accounts of Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years(280). In all sectors, the most commonly used financial accounts for financial statement fraud were found as Cash (100), Due from Shareholders (131), Inventories (15), Due to Shareholders (331), Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280).

t-test for independent samples was conducted in order to find out whether there is significant difference in averages of manipulated financial accounts between non fraudulent firms and fraudulent firms. The results of the study demonstrated that the difference in averages of manipulated financial accounts is statistically significant between non fraudulent firms and fraudulent firms. This situation shows that the manipulated accounts differ from the usual patterns and indicate signals of accounting fraud.

Cash (100) is a part of the current assets section of the balance sheet and contributes to company's net working capital. It has been found that this account is the most manipulated financial account by Turkish SMEs. Expenses and losses, which are not recognized in the period that appear on the income statement, can be hidden in this account. It is likely to say that this account is more susceptible for recording expenses improperly to overstate profitability.

According to our data, it is found that Due from Shareholders (131) is the second most manipulated account by Turkish SMEs. This account is used to record transactions of borrowing funds from the company by a shareholder. However, this account is liable to management manipulation.

Other financial accounts of Inventories (15), Due to Shareholders (331), Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280) are found as mostly manipulated for fraudulent activities. Fraudulent firms utilize these financial accounts for capitalizing the expenses, understating expenses, overstating assets or other fraudulent techniques.

4. Conclusions and Recommendations

SMEs are the locomotives that accelerate economic growth. In other words, SMEs play a vital role in economic development. It has to be emphasized that SMEs rely heavily on the banking system to meet their loan requirements and obtain funding.

The purpose of this study is to examine fraud risk indicators in financial statements for SMEs. The financial statements of 341 Turkish SMEs from different sectors (manufacturing, construction, transportation, agricultural, and etc.) have been examined and analyzed.

In order to examine whether there is significant difference in averages of manipulated financial accounts between non

fraudulent firms and fraudulent firms, t-test for independent samples is performed. The results showed that the difference in averages of manipulated financial accounts is statistically significant between non fraudulent firms and fraudulent firms. It has to be emphasized that there is sufficient evidence to say that the manipulated accounts differ from the usual patterns and indicate signals of accounting fraud.

In general, according to the results, it is possible to say that Turkish SMEs are highly vulnerable to fraud risks. In total, 64 percent of the firms are found as non fraudulent and 36 percent are found as fraudulent. Besides, results pointed out that firms in the construction sector manipulate their financial accounts more than firms in other sectors (with a rate of 56 %). In the construction sector, Cash(100) and Due from Shareholders(131) were identified as mostly used financial accounts for fraudulent activities. In all sectors, the most commonly used financial accounts for financial statement fraud were obtained as Cash (100), Due from Shareholders (131), Inventories (15) , Due to Shareholders (331), Prepaid Expenses for Future Months (180) and Prepaid Expenses for Future Years (280).

Principally, financial ratios can be used for financial statement fraud detection. For further directions, determination and selection of financial ratios, which include the most commonly used financial accounts for financial statement fraud, can be considered as fraud risk indicators. Since this study have not focused on any specific industries, future researches can also consider examination of fraudulent firms in specific industries especially construction sector for evaluating specific fraud risks.

Independent internal and external audit programs should be implemented to reduce fraud risks for SMEs in Turkey. It's crucial to assess how effective the controls are. Effective reporting systems should be established in the accounting department. Employees should be trained about fraud risks, ethic policies of the firm, code of conduct and internal controls. Government regulations and laws can be improved for auditing the effectiveness and adequacy of operations.

5. Acknowledge

This research received no specific grant from public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors would like to express their sincere gratitude to Can Tansel Kaya (Prof. at Yeditepe University) for his valuable comments.

References

- Aladejebi, O., & Oladimeji, J. A. (2019). Fraud Management among Small and Medium Enterprises in Lagos, Nigeria. *The International Journal Of Business & Management*, 7 (3), 227-236. DOI: [10.24940/theijbm/2019/v7/i3/BM1903-048](https://doi.org/10.24940/theijbm/2019/v7/i3/BM1903-048)
- Andoh, C., Quaye D., & Frimpong, I.A. (2018). Impact of fraud on Ghanaian SMEs and coping mechanisms. *Journal of Financial Crime*, 25 (2), 400-418. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFC-05-2017-0050>
- Aris, N.A., Arif, S.M.M., Othman,R., & Zain, M.M. (2015). Fraudulent financial statement detection using statistical techniques: The case of small medium automotive enterprise. *The Journal of Applied Business Research*, 31 (4), 1469-1478. DOI: <https://doi.org/10.19030/jabr.v31i4.9330>
- Biol, B. (2017). Corporate Governance and Fraud Detection: A Study from Borsa Istanbul. PhD Thesis, Yeditepe University, Turkey, 103-112.

- Chen, S. (2016). Detection of fraudulent financial statements using the hybrid data mining approach, *Springer Plus*, (2016) 5-89. <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-1707-6>
- Chen, S., Goo, Y.J., & Shen, Z.D. (2014). A hybrid approach of stepwise regression, logistic regression, support vector machine, and decision tree for forecasting fraudulent financial statements. *The Scientific World Journal*, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/968712>
- Cobo, E. P., Crespo, A.H., & Corte, J.M. (2017). Are credit risk analysts concerned about the audit of the financial statements of SMEs? *Universia Business Review*, 2017 (1), 1698-5117. DOI: [10.3232/UBR.2017.V14.N1.04](https://doi.org/10.3232/UBR.2017.V14.N1.04)
- European Federation of Accountants (2005). How SMEs can reduce the Risk of Fraud. Retrieved from <https://www.pibr.org.pl/assets/file/943,FEE-How-SMEs-can-reduce-the-Risk-of-Fraud.pdf>
- European Statistics (2008). NACE Rev. 2 Introductory Guidelines. Retrieved from <https://circabc.europa.eu/sd/a/aaea2438-5405-43ae-866f-904923ab8ec2/NACE%20Rev.%20%20Introductory%20guidelines%20-%20EN.pdf>
- Fanning, K.M., & Cogger, K.O. (1998). Neural network detection of management fraud using published financial data. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance & Management*, 7(1998), 21-41. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1174\(199803\)7:1<21::AID-ISAF138>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1174(199803)7:1<21::AID-ISAF138>3.0.CO;2-K)
- Fidan, M. E., & Mumcu, E. Ş. (2019). Internal Control and Fraud Risks in Mining Companies: A Study on a Marble Enterprise. *KMU Journal of Social and Economic Research*, 21(37), 61-81. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmusekad/issue/51332/615845>
- Girgenti, R.H.J.D., & Hedley, T.P. (2011). *Managing the risk of fraud and misconduct: meeting the challenges of a global, regulated, and digital environment*. McGrawHill, New York.
- Gunduz, M., & Önder, O. (2013). Corruption and internal fraud in the Turkish construction industry. *Science and Engineering Ethics*, 19(2), 505-528. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-012-9356-9>
- Hacı, A., & Erhan, D.U. (2013). Structuring strategic management with ratio analysis method: A case study in the transition to SME TFRS process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 947 - 955.
- Hess, M. F., & Cottrell Jr., J. H. (2016). Fraud risk management: A small business perspective. *Business Horizons*, 59(1), 13-18. DOI: [10.1016/j.bushor.2015.09.005](https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.09.005)
- International Auditing and Assurance Standards Board (IAASB) (2009). International Standard on Auditing 240 (ISA 240): The Auditors' Responsibilities Relating to Fraud in an Audit of Financial Statement, <http://www.ifac.org/system/files/downloads/a012-2010-iaasb-handbook-isa-240.pdf>.
- Johnson, G.G., & Rudesill, C.L. (2001). An investigation into fraud prevention and detection of small businesses in the United States: Responsibilities of auditors, managers and business owners. *Accounting Forum*, 25(1), 56-78. DOI: [10.1111/1467-6303.00055](https://doi.org/10.1111/1467-6303.00055)
- Jofre, M. (2017). *Fighting Accounting Fraud through Forensic Analytics*. Doctoral Dissertation, The University Of Sydney Business School, Australia, 42-119. <http://hdl.handle.net/2123/17826>
- Kaminski, K.A., Wetzel, T.S., & Guan, L. (2004). Can financial ratios detect fraudulent financial reporting? *Managerial Auditing Journal*, 19(1), 15-28. DOI: <https://doi.org/10.1108/02686900410509802>
- Karahan, M., İgde, M., & Özbezek, D. (2017). Evaluation of International Financial Reporting Standards in Terms of SMEs-Turkey Application. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 16 (2), 330-344. DOI: <https://doi.org/10.21547/jss.299362>
- Kassem, R. (2016). *Detecting Financial Reporting Fraud: The Impact and Implications of Management Motivations for External Auditors – Evidence from the Egyptian Context*. Doctoral Dissertation, Loughborough University, Loughborough Leicestershire, UK, 1-11.
- Loebbecke, J.K., Eining, M.M., & Willingham, J.J. (1989). Auditors' experience with material irregularities-frequency, nature, and detectability. *Auditing- A Journal of Practice & Theory*, 9(1), 1-28.
- Mekic, A., Halilbegovic, S., & Huric, A. (2017). Forensic Accounting as a Solution to Manipulative Accounting of Sme's in Bosnia and Herzegovina. *Ecoforum*, 2 (11). <http://www.ecoforumjournal.ro/index.php/eco/article/view/634>
- Ngai, E.W.T., Hu, Y., Wong, Y.H., Chen, Y., & Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. *Decision Support Systems*, 50 (2011), 559-569. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.08.006>
- Omar, N., Johari, Z.A., & Smith, M. (2017). Predicting fraudulent financial reporting using artificial neural network. *Journal of Financial Crime*, 24(2), 362-387. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFC-11-2015-0061>
- Persons, O.S. (1995). Using financial statement data to identify factors associated with fraudulent financial reporting. *Journal of Applied Business Research*, 11(3), 38-46. DOI: <https://doi.org/10.19030/jabr.v11i3.5858>
- Public Oversight Accounting and Auditing Standards Authority (2018). Regulations, <http://www.kgk.gov.tr/DynamicContentDetail/7954/Regulations>.
- Ravisankar, P., Ravi, V., Rao, G.R., & Bose, I. (2011). Detection of financial statement fraud and feature selection using data mining techniques. *Decision Support Systems*, 50 (2011), 491-500. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.11.006>
- Rezaee, Z. (2002). The three Cs of fraudulent financial reporting. *Internal Auditor*, 57-61.
- Rezaee, Z., & Riley, R. (2010). *Financial statement fraud prevention and detection*. Second Edition, John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey and Canada.
- Salijeni, G., Taddei, A.S., & Turley, S. (2019). Big Data and changes in audit technology: contemplating a research agenda. *Accounting and Business Research*, 49(1), 95-119. DOI: <https://doi.org/10.1080/00014788.2018.1459458>
- Shanmugam, J.K., Ali, A., & Haat, M.H.C. (2012). Internal control, risk management and fraud prevention measures on SMEs: reliability and validity of research instrument. *3rd International Conference on Business and Economic Research*, 12 - 13 March, Indonesia.
- Sow, A.N., Basiruddin, R., Mohammad, J., Abdul & Rasid, S.Z. (2018a). Fraud prevention in Malaysian small and medium

- enterprises (SMEs). *Journal of Financial Crime*, 25(2), 499-517. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFC-05-2017-0049>
- Sow, A.N., Basiruddin, R., Abdul Rasid, S.Z., & Husin, M. M. (2018b). Understanding fraud in Malaysian SMEs. *Journal of Financial Crime*, 25(3), 870-881. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFC-08-2017-0077>
- Spathis, C.T. (2002). Detecting false financial statements using published data: some evidence from Greece. *Managerial Auditing Journal*, 17(4), 179-191. DOI: <https://doi.org/10.1108/02686900210424321>
- Summers, S.L., & Sweeney, J.T. (1998). Fraudulently misstated financial statements and insider trading: An empirical analysis. *Accounting Review*, 73(1), 131-146.
- Tazilah, M.D.A.B.K., & Hussain, N.B.C. (2015). The importance of internal control in SMEs: Fraud prevention & detection. *International Conference on Business, Accounting, Finance, and Economics, Malaysia, 9th October*.
- Thiruvadi, S., & Patel, S. C. (2011). Survey of data mining techniques used in fraud detection and prevention. *Information Technology Journal*, 10 (4), 710-716. DOI: [10.3923/itj.2011.710.716](https://doi.org/10.3923/itj.2011.710.716)
- Turkmen, B. (2016). Errors and abuses in financial accounting and results. *Procedia Economics and Finance*, 38(2016), 77-83. DOI: [10.1016/S2212-5671\(16\)30179-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30179-4)
- West, J., & Bhattacharya, M. (2016). Intelligent financial fraud detection: a comprehensive review. *Computers & Security*, 57, 47-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2015.09.005>



ST-PRA+FMEA Hybrid Risk Analysis Application for Catastrophic Events at Hospitals

Hatice Semrin Timlioglu Iper.^{1*}, Mucize Sarihan², Efe Serkan Boz³ Onur Yazar⁴, Halil Soyal⁵

^{1*} İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-00003-2112-0602), timlioglu@gmail.com

² İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8013-7370) mucize.sarihan@okan.edu.tr

³ ,Biochemistry Laboratory of Haydarpaşa Numune Training and Research Hospital, Manager of Central Laboratory, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000 0002 7980 1032) efeserkanboz1980@gmail.com

⁴ İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9543-6891) onur.yazar@okan.edu.tr

⁵ İstanbul Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3252-5923) halil.soyal@okan.edu.tr

(First received 17 March 2022 and in final form 1 September 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1018034)

ATIF/REFERENCE: Timlioglu Iper H.S., Sarihan M., Boz E., Yazar O., Soyal H. (2021). ST-PRA+FMEA Hybrid Risk Analysis Application for Catastrophic Events at Hospitals. *European Journal of Science and Technology*, (41), 221-228.

Abstract

Healthcare; albeit with low frequency, is an industry more prone to critical errors, than other industries due to its matrix structure and the numerous factors involved such as patients, professionals, and other external factors. Since multiple factors also mean multiple error sources, methods such as system analysis, process evaluation and error-and near-error notifications are implemented to pinpoint factors that could cause daily errors, and more specifically, to prevent any harmful end use effects to patients. Though unusual, catastrophic external factors (Earthquakes, fires, floods and civic occurrences) have the potential to cause difficulties in hospital due processes as well as shortages, thus requiring measures other than the usual practices.

The purpose of this study is discovering the best way out of a cathastrophic event using analytic tools to decide on an intervention by removing the greatest risk by a single and powerful shot. In this study, the management and maintenance of patient security was carried out via quantitative analysis; the ST-PRA method was used, along with the FMEA scale developed by our hospital to determine risks and intervention priorities/actions generated by the ST-PRA(Sociotechnical-Probabilistic Risk assessment) method for a hospital with 780 beds the operation of which was impacted by demolition and construction hazards in 2015. Through a hybrid ST-PRA + FMEA method, the “zero error – zero collateral effect” goal was attained.

Keywords: ST-PRA, Patient Security, FMEA, Risk Analysis.

Hastanelerde Felaket Getiren Olaylar İçin ST-PRA+FMEA Hibrit Risk Analizi Uygulaması

Öz

Sağlık hizmetleri, frekansı düşük olmakla birlikte etkileri yönünden en ağır hataların görülebildiği endüstrilerden biri kabul edilmektedir. Diğerlerinden farklı olarak karmaşık matris bir yapıdadır ve işleyişine hem profesyoneller hem hastalar hem de dışsal pek çok etki bir arada hükmeder. Çoklu etki çoklu hata kaynağı anlamına da geldiği için günlük düzende hataya neden olabilecek etkenlerin ayrıştırılması ve özellikle kişilere ulaşan etki görülmeden engellenmesi amacı ile sistem analizleri, süreç değerlendirmeleri, hata veya neredeyse olay bildirimleri gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Ancak nadiren görülsede katastrofik dış etkiler (deprem, yangın, sel, toplumsal olaylar vb) hastane işleyiş sisteminde beklenmedik zorlanmaların ve kesintilerin ortaya çıkabilmesine neden olma potansiyeli taşırlar. Böyle anlarda standartları ve işleyişi korumak için her zaman ki yöntemlerden farklı çalışmalara ihtiyaç duyulabilir.

Bu çalışmamızda da 2015 yılında çevresel bir yıkım ve inşaat çalışması nedeni ile 780 yataklı bir eğitim araştırma hastanesinin öngörülmemiş şekilde karşı karşıya kaldığı beklenmedik hasta güvenliği tehditlerine karşı durumu kontrol altına almak için risklerin kantitatif olarak ortaya konmasını sağlamak amacı ile ST-PRA yöntemi, bu yöntemin belirlediği risklerin müdahale önceliklerinin ve müdahale şeklinin kararlaştırılmasında ise hastanemiz tarafından geliştirilen FMEA ölçeği kullanıldı. Uygulanan Hibrit ST-PRA +FMEA yöntemi ile hedef olan “sıfır hata-sıfır yan etki” sonucuna ulaşılmasını sağlandı.

Anahtar Kelimeler: ST-PRA, Hasta güvenliği, FMEA, Risk analizi

* Corresponding Author: timlioglu@gmail.com

1. Introduction

An individual in need of health care services faces numerous unfamiliar processes, personal interactions and seemingly incomprehensible technologies. Besides the failure potential of each technological tool, each stage of the processes themselves has unique failure potentials. The identification of the probability of such failure modes before they impact patients is referred to as patient safety.

The most challenging aspect here is that the interactions among these complex processes as well as the social, societal, environmental circumstances have failure potentials that could affect patient safety on many levels at the same time; and most health care professionals responsible for maintaining patient safety lack sufficient knowledge of the steps of each process and their effects beyond their own area of expertise (Slomin, 2014; Marx, 2003). Any external factors additionally challenging service could worsen the ramifications (Modaresse, 2006). Therefore, the use of rational, comprehensible and accessible methods for assessing patient risk is crucial. There are cases and fields where assessment methods fall inadequate due to the matrix structure of health care services, regardless of whether they are retrospective (failure analysis, root cause analysis, examination of near-misses) or prospective (FMEA, Risk analysis). Marx and Slonim defined the ST-PRA (Sociotechnical-Probabilistic Risk assessment) method in 2003, instead of the PRA method which also is a hybrid, mathematical engineering model (Modaresse, 2006) that integrated risk analysis and decision supporting systems where FMEA and RCA methods were inadequate for matrix interactions, and was formerly utilized for risk mapping processes in nuclear substance production and aviation fields.

Researchers have demonstrated that the ST-PRA is capable of establishing a system sensitive to multiple failures compared to the Failure Effects Analysis (FMEA) method, which investigates the steps of a single process (Franklin, 2012); and Root Cause Analysis (RCA), which investigates a single occurrence (Slomin, 2014; Marx, 2003; Modaresse, 2006). On the other hand, this method has certain disadvantages compared to other methods such as its dependence on software for application in the healthcare industry and that the lack of familiarity on the part of healthcare personnel (Slomin, 2014). Nevertheless, the logic underlying this method provides useful and convenient clues for the healthcare institutions for identifying risks.

2. Material and Method

Our hospital experienced a certain external exposure in the year 2015 that led to a probable interruption to services and more importantly, the potential to severely harm patients. The ST-PRA method was utilized by the hospitals top management and patient safety personnel to quantitatively identify the risks to ensure fast, accurate and sustainable decisions, their flawless implementation, and demonstrating sound evidence via objective and scientific

reasoning throughout; whereas the FMEA was utilized to agree upon the prioritization and method of interventions defined by this method.

Distinct from other methods, the ST-PRA enables us to define the probability of results generated on the same output by the interaction of multiple failures of varying levels of importance resulting from separate processes on the same grounds, and to evaluate any effects of these processes. It enables the construction of a three-dimensional risk map in an industry which is open to numerous internal and external factors along with human-system-technology network. On the other hand, since the ST-PRA is basically a mathematical engineering model, there are challenges to applying this method in fields where human factors play a major role such as the healthcare industry.

Though identified as the most convenient method for identifying the multiple risks of the catastrophic events taken as the basis of our study, the FMEA was chosen for the sensitivity analysis and definition of interventions with respect to risk priorities, which were the last stages of the ST-PRA after the construction of the fault tree.

The ST-PRA consists of 6 steps as defined by Slonim ⁽¹⁾. These steps are: the identification of risks based on data located at the center (data gathered from literature, site visits and technical assessments, focus group meetings, etc.), review of interactions among processes and risks, the construction of the fault tree and the review of its validity by expert teams, the presentation of AND/OR questions for each risk factor identified and process steps for probabilities, i.e, the multiple failures, evaluation of structural sensitivity, listing interventions and execution of risk prevention interventions. (Figure 1)

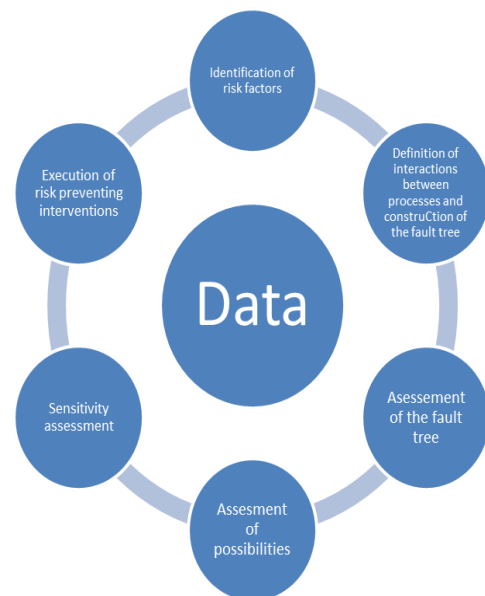


Figure 1: Risk Management circle

According to the method utilized during our study, all of the steps of the initial data collection, identification of risk factors, determination of process-risk factor interactions and construction of the fault tree, and consequent review of AND/OR outputs were carried out based on same operational principles. On the other hand, each risk was quantified by utilizing the FMEA risk priority coefficient table consequent to the review of the fault tree by the focus groups, and an RPN (risk priority number) was allocated to each of these risks. Method for the Hybrid ST-PRA (Figure 2)

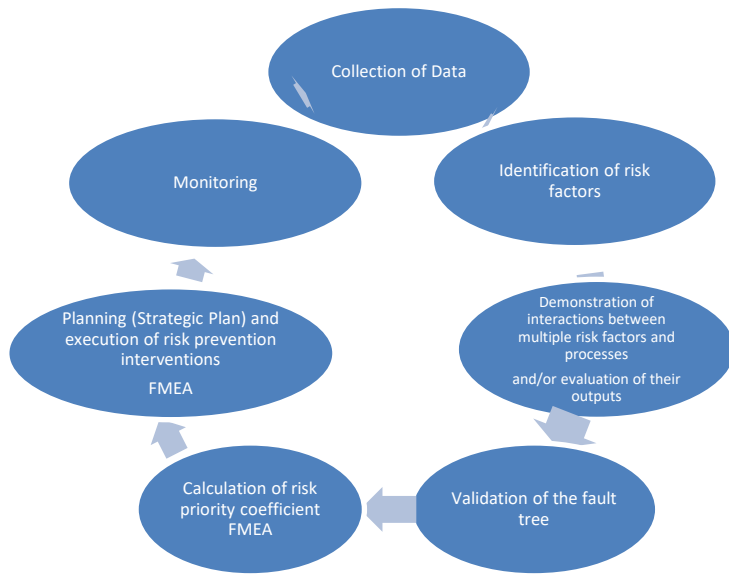


Figure 2: Steps of the Method

The study comprised 7 steps. First of all, it was demanded that the demolition and construction work that threatened all units of the hospital be terminated, and this goal was achieved.

Step 1: A multidisciplinary board was urgently called for a meeting. This board consisted of the Head Physician, Head of

Infection Control Committee and committee members, Head of Administrative and Financial Affairs, Management of Maintenance Services, Director of Quality Management, Technical Services Engineer in Charge, Hospital Biomedical Service in Charge and Environmental Engineer, Operation Theaters’ Manager, Intensive Care Units’ Manager, Press Council, Managers of Internal and Surgical Clinics and Legal Counsel.

This board made an assessment of the situation and established an expert committee for the construction of the fault tree.

The goal was defined as the establishment of a graphical representation of failure mode estimates for processes that might be the cause or collaborator of a specific risk, and to monitor the execution status of interventions through simple monitoring methods.

Step 2: The ST-PRA study was initiated to identify the possible risks. All technical data, literature data, reports related to the field (quality reports, technical reports, safety reports), hospital processes and interaction maps were examined.

Step 3: Risk assessment took place for each step of the process to determine any intersection points and inherent risks of processes at varying levels of importance.

For instance; the interactions between emergency and in-patient units’ operations were considered along with operating theater processes and patient transfer processes while assessing the risk of dust from the construction permeating the surgical buildings.

AND/OR questions were presented to identify all adverse factors that might contribute to the outcomes of the event by determining interactions among multiple risk factors. The probability of occurrence of both cases is demonstrated in the process flow (Figure 3).

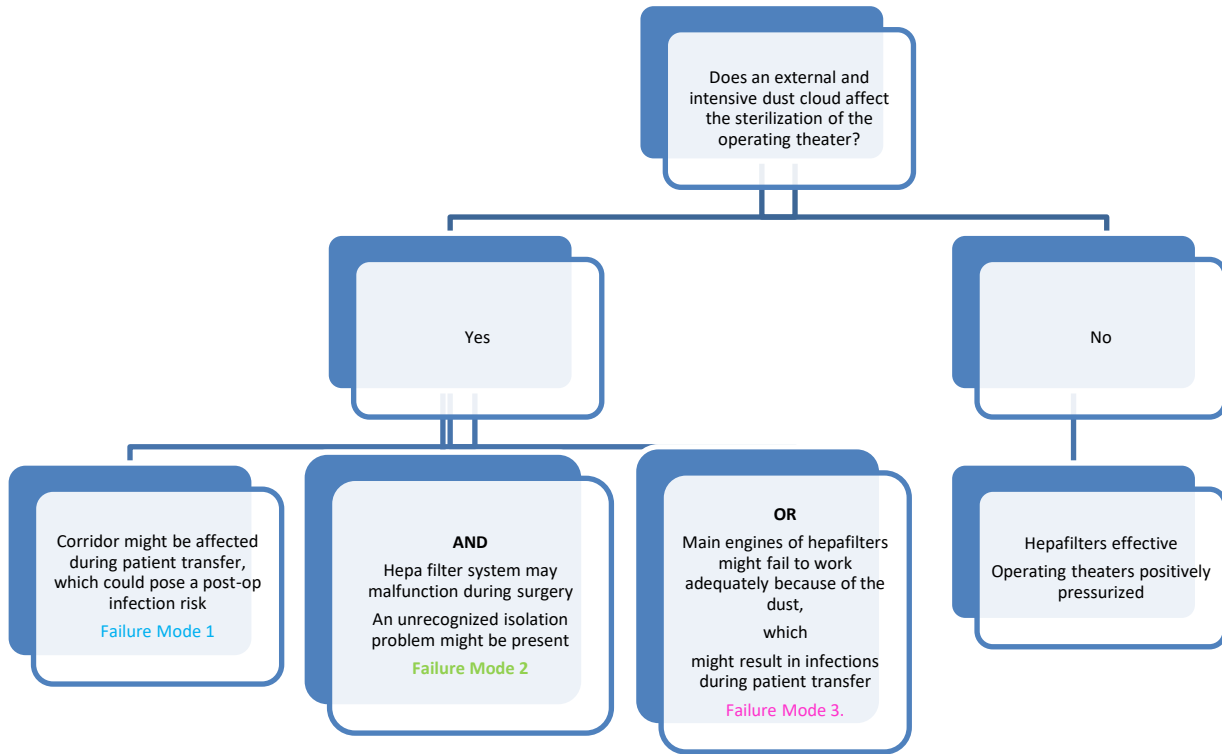


Figure 3: And/Or Outputs

Step 4: Evaluation and validation of the fault tree: All risks and process interactions identified were presented to the focus groups. For instance, the intensive care focus group consisted of intensive care senior physicians, senior nurses, infection control team, technical team and biomedical team. The fault tree was evaluated by reviewing each step of the process. The process flow maps, technical reports and quality audit reports of the hospital were utilized for this purpose, along with data from the literature.

Step 5: This step was the differentiating step from the standard ST-PRA. The FMEA scale was used for the sensitivity assessment and risk prioritization listing that ST-PRA suggests.

The focus group and risk assessment team calculated a risk priority number for each of the process steps and each of the risks defined (<http://www.ih.org/resources/Pages/Tools/Quality-Improvement-Essentials-Toolkit.aspx>, 2017) (Table 1) Color coding was also applied for each risk and the coding approached red as risk increased. (Table 2) Table 1 and Table 2 are given to clearly demonstrate how the death of a patient would affect risk priority number even when all other variables remained constant.

Table 1: Calculation of risk priority coefficient (Case: Material transfer between two buildings)

Probability	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coefficient	Weighted score
Frequency of the work	everyday	5	100	0,25	25
Education level of the staff	good	2	40	0,25	10
Equipment technology	insufficient	4	80	0,083	6,64
Sufficiency of equipment as number and quality	insufficient	4	80	0,083	6,64
Duration of work	more than 10 hours	5	100	0,083	8,3
Working environment	very insufficient	5	100	0,083	8,3
Standardized operational process documents	Very sufficient	1	20	0,083	1,66
Past incidence	moderate	3	60	0,083	4,98
TOTAL					71,52
Severity	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coefficient	Weighted score
Damage to staff and patient	Minor harm	2	40	0,8	32
Damage to the environment and society	none	1	20	0,05	1
Damage to the reliability and brand of the hospital	very high	5	100	0,05	5
Damage to the building	none	1	20	0,05	1
Damage to the equipment	Yok	1	20	0,05	1
TOTAL	none				40
In the case of death the dummy variable is assumed to be 100					100
Detectability	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coefficient	Weighted score
Work related knowledge level of the staff	very good	5	100	0,25	25
Frequency of external audit	annually or rare	1	20	0,25	5
Past incidence	rare	2	40	0,25	10
work frequency	everyday	5	100	0,25	25
TOTAL					65
				RÖS	44,01230769

Table 2: Case: Material Transfer Incorporating Risk of Death

Probability	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coeffi	Weighted score
Frequency of the work	everyday	5	100	0,250	25,000
Education level of the staff	good	2	40	0,250	10,000
Equipment technology	insufficient	4	80	0,083	6,640
Sufficiency of equipment as number and quality	insufficient	4	80	0,083	6,640
Duration of work	more than 10 hours	5	100	0,083	8,300
Working environment	Very insufficient	5	100	0,083	8,300
Standardized operational process documents	very good	1	20	0,083	1,660
Past incidence	moderate	3	60	0,083	4,980
TOTAL					71,520
Severity	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coeffi	Weighted score
Damage to staff and patient	death of a person	5	100	0,800	80,000
Damage to the environment and society	none	1	20	0,050	1,000
Damage to the reliability and brand of the hospital	very high	5	100	0,050	5,000
Damage to the building	none	1	20	0,050	1,000
Damage to the equipment	none	1	20	0,050	1,000
TOTAL					88,000
In the case of death the dummy variable is assumed to be 100					100,000
Detectability	Variable	Table Value	Scor(over 100)	Relative Coeffi	Weighted score
Level of knowledge about the work	very good	5	100	0,250	25,000
Frequency of external audit	annually or rare	1	20	0,250	5,000
Past incidence	rare	2	40	0,250	10,000
work frequency	every day	5	100	0,250	25,000
TOTAL					65,000
				RÖS	110,0307692

Step 6: 24 sub-risks that affected 6 main processes were attained. RPNs attained by the joint meeting of the patient safety committee, facility safety committee and infection control

committee was assessed and a strategic plan was set out. Interventions determined in this plan were monitored within determined periods by assigned teams. (Table 3).

Table 3: Strategic Plan

Process	Operating Theater Process	Intensive Care Process	Oncology Unit	Emergency Room; Eye Clinic; Infectious Diseases Clinic	
Potential Failure Mode	Preventive measures towards dust and particles remaining inadequate; Ventilation problems; Failure Mode 1 ; Failure Mode 2	Ventilation problems; Failure Mode 3	Intensive construction dust in the environment; Presence of infective agents such as Aspergillus and etc.	Physical harm to patient and relatives resulting from construction	Dust; Noise
Related Effect	Aspergillus infection; Increase in Post-op infection cases	Increase in intensive care infections; Aspergillus infection	Patients with compromised immune systems becoming vulnerable to various infections, mainly lung infections	Falls from the construction sites and related injuries.	Asthma, lung and hearing problems
Underlying Cause	Construction dust; Blockage of filters; Positive pressure becoming inadequate	Construction dust; Clogging in filters; Positive pressure becoming inadequate	Increased number of infectious agents in air, compared to normal conditions	Construction site being unfenced	
Controls in Place	Operating theater safety procedure; Infection control procedure; Disaster plan	Operating theater safety procedure; Infection control procedure; Disaster plan	No procedure exists related to air and municipality services surrounding the hospitals	None	
RPN	93.7	93.7	90.3	73	
Suggested Intervention	Terminate the process and plan	Terminate the process and plan	Terminate the process and plan	Install temporary signage and barricades	
Executed Intervention	A road map was established during a joint meeting of patient safety, facility safety and infection committee and a monitoring team were established; an aerometer and an air fogging device were supplied; it was decided that particle measurements for air filters should be conducted every other day.	A road map was established during a joint meeting of the patient safety, facility safety and infection committee and a monitoring team was established; an aerometer and an air fogging device were supplied; it was decided that particle measurements for air filters should be conducted every other day; windows were isolated, ventilation of the intensive care unit was sealed for protection.	Meeting with the company	Implementation of water curtains surrounding the buildings, implementation of a sound curtain surrounding the construction site, prohibition of access to the construction site.	
Period	First hour	First hour	3 hours later	On the same day	

Step 7: Field monitoring. was conducted according to the strategic plan. Monthly prevalence tracking was conducted. Monitoring activities were maintained for 6 months.

4. Conclusions and Recommendations

5 physical interventions were made within the first 24 hours following rigorous investigations and meetings with the construction company (Concrete covering of trenches, water curtains, sound curtains, securing ventilations of intensive care units, supplementary window isolation for risky areas, request for fore pilefor securing the policlinic building). Harm to patients being treated within this period was prevented by successive monitoring provided within three and seven day periods. However, the policlinic building, a structure unattached from the main hospital building, needed to be evacuated due to cracks that formed despite all preventive measures taken; and the building was out of service until it was secured.

Priority was given to the evaluation of monitoring and infection control data and daily reports obtained from teams during the process tracking procedure. Operating theater infection rates, surveillance, post-op infection rates and intensive care infection rates were monitored. No incidences of hospital-related infections were observed in patients that underwent surgery, or that were being treated in the intensive care or oncology units during this period; and no interruptions, errors or harm to patients were found in the aforementioned processes during the monitoring period of 6 months.

The advantages of the strengths offered by each method were both taken where; ST-PRA's strength was building a multi-dimensional failure map, FMEA's strength was the familiarity of the healthcare personnel with it, and the FMEA scale's strength was the rapid identification of risk priority numbers. A risk priority coefficient was defined for each of the risk factors followed by identifying interventions within the strategic plan for quantitatively ranking the risks, and a flowchart for control of priority zones was readily available for utilization by the teams without any delay. The execution of all of these assessments altogether made rapid interventions possible by managing the limited time effectively, along with the establishment of scientific and legal bases required by the management.

The FMEA and PRA are industrial analysis methods that were adopted to the healthcare industry within the scope of patient safety. Though the FMEA is suggested as a mandatory annual analysis method within certain intervals by IHI (Institute for Healthcare Improvement) and WHO (World Health Organization) (<http://www.ihl.org/resources/Pages/Tools/Quality-Improvement-Essentials-Toolkit.aspx> , 2017; World Health Organization, 2005) it has major shortcomings compared to PRA.

The FMEA is based on the principle of assessing the effects of a single risk factor by constructing process maps and is inadequate for investigating multiple risk combinations that might

be generated in complex systems (Marx, 2003; Modarres, 2006; Franklin 2012). However, what is important is not preventing single or individual failures but the prevention of catastrophic effects resulting from accumulated failures generated by multiple failures coinciding (Slomin, 2014; Marx, 2003; Modarres, 2006; Franklin 2012). Another difference between the two methods is the FMEA's suggestion of process maps (<http://www.ihl.org/resources/Pages/Tools/Quality-Improvement-Essentials-Toolkit.aspx> , 2017; World Health Organization, 2005; DeRosier, 2002; Catchpole, 2007; Van Tilburg, 2006), whereas the PRA makes conclusions based on the error maps Slomin, 2014; Marx, 2003; Modarres, 2006. The most undesirable and probable result is considered, factors that might result in this outcome are assessed, the presence of two factors together is considered through "AND" options, and generation of another factor in case one factor is removed is considered through the "OR" output. In some cases, these two might occur at the same time. The success of the analysis for both methods depends on the teams having adequate knowledge of the processes and the presence of sufficient data for facilitating the evaluation. On the other hand, the objective of all methods is to curtail major risks by utilizing the easiest and most efficient method at once within the current system. In other words, the objective is to decide on an intervention by removing the greatest risk by a single and powerful shot (Slomin, 2014; Marx, 2003; DeRosier, 2002; Catchpole, 2007; Van Tilburg, 2006; Burke, 2006).

The uniqueness of this study is the immediate prevention of a catastrophic event's effects on a 780 bed capacity hospital that could directly affects patients, despite being unrelated to medical interventions, by the joint utilization of risk analysis methods used consistently in hospitals for the prevention of medical errors; and attaining the desired patient and personnel safety results. The ST-PRA's multi-directional risk analysis requires certain statistical assessments to be conducted during its 5th step. Birnbaum and Fussel-Vesely measurements (Slomin, 2014) are utilized for carrying out the critical analyses, defining target occurrences and for deciding on the interventions to be implemented. The priority of risks is calculated by the software. In contrast, the underlying logic of the ST-PRA was utilized in our study to differentiate all risks and integrated risks resulting from process interactions as needed, and to create preventive interactions with respect to all these risks; however the risks were then based on FMEA models that healthcare personnel frequently use, and quantitative assessment was consequently performed through this model to attain Risk Priority Numbers (RPN). Priority zones and priority interventions were defined by utilizing the strategic plan generation module of the FMEA based on RPNs.

As a result of this study, the joint usage of the multi-dimensional assessment logic of ST-PRA to identify risks in hospitals along with the FMEA scale to calculate risk priorities could be proposed as an effective method for attaining "zero failure, zero side effects" results even under catastrophic circumstances.

References

- Burke CS, Stagl KC, Salas E, Pierce L, Kendall JJoAP. Understanding team adaptation: A conceptual analysis and model. 2006;91(6):1189.
- Catchpole KR, Giddings AE, Wilkinson M, Hirst G, Dale T, de Leval MRJS. Improving patient safety by identifying latent failures in successful operations. 2007;142(1):102-10.
- DeRosier J, Stalhandske E, Bagian JP, Nudell TJTJCjoqi. Using health care failure mode and effect analysis™: the VA National Center for Patient Safety's prospective risk analysis system. 2002;28(5):248-67.
- Franklin BD, Shebl NA, Barber NJBQS. Failure mode and effects analysis: too little for too much? 2012;21(7):607-11.
- Marx D, Slonim A, Safety. Assessing patient safety risk before the injury occurs: an introduction to sociotechnical probabilistic risk modelling in health care. *J BMJ Quality*. 2003;12 (suppl2):ii33-ii8.
- Modarres M. Risk analysis in engineering: techniques, tools, and trends: CRC press; 2016.
- QI Essentials Toolkit. Boston, Massachusetts, USA: Institute for Healthcare Improvement 2017. Available from: <http://www.ihl.org/resources/Pages/Tools/Quality-Improvement-Essentials-Toolkit.aspx>.
- Slonim AD, Bish E, Steighner LJAitP, HAIs Co. Using Socio-Technical Probabilistic Risk Assessment (ST-PRA) to Assess Risk and Improve Patient Safety and Reliability in Health Care Systems. 2014:241.
- Slonim AD, Bish EK, Xie RSJAoOR. Red blood cell transfusion safety: probabilistic risk assessment and cost/benefits of risk reduction strategies. 2014;221(1):377-406.
- Van Tilburg C, Leistikow I, Rademaker C, Bierings M, Van Dijk AJBQ, Safety. Health care failure mode and effect analysis: a useful proactive risk analysis in a pediatric oncology ward. 2006;15(1):58-63.
- WHO World alliance for patient safety : WHO draft guidelines for adverse event reporting and learning systems : from information to action 2005. Available from: <http://www.who.int/iris/handle/10665/69797>.



Forecasting of Occupancy Rate of Dams in İstanbul

Mehmet Eren Nalici^{1*}, Ayhan Akbaş²

^{1*} Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7954-6916),
mehmeteren.nalici@agu.edu.tr

² Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-6425-104X), ayhan.akbas@agu.edu.tr

(First Received 8 March 2022 and in Final Form 26 October 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084484)

ATIF/REFERENCE: Nalici, M., Akbaş, A., (2022). Forecasting Of Occupancy Rate of Dams in İstanbul. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 229-239.

Abstract

Drinking water is becoming a crucial problem all over the world because of global warming. In crowded metropolises such as İstanbul, the problem of drinking water is a serious problem. In this study, it is aimed at developing a forecasting model by using the occupancy rates of İstanbul's dams between 2011 and 2020. The occupancy rate of each dam is then estimated using the best model for the years 2021 and 2022. According to the results of the estimation model, a decrease in the occupancy level of the dams in İstanbul is predicted. Therefore, it is thought that necessary measures should be taken to avoid water shortages.

Keywords: Forecasting, ARIMA, Fbprophet, Exponential Smoothing.

İstanbul Barajlarının Doluluk Oranı Tahmini

Öz

Küresel ısınmanın etkisiyle tüm dünyada içme suyu sorunu ciddi bir problem olmaya başlamaktadır. İstanbul gibi kalabalık metropollerde içme suyu sorunu ciddi bir sorundur. Bu çalışmada, İstanbul barajlarının 2011-2020 yılları arasındaki doluluk oranları kullanılarak bir tahmin modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. "Hareketli Ortalama", "ARIMA", "Fbprophet" ve "Üssel Düzgünleştirme" tahmin modelleri "Ortalama Karesel hatasının karekökü" ve "Ortalama karesel hata" değerlerine göre karşılaştırılmış ve her bir barajın 2021 ve 2022 yılları için doluluk oranı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin modelinin sonuçlarına göre İstanbul'daki barajların doluluk oranında bir düşüş öngörülmektedir. Bu nedenle 2022 yılı için su kıtlığının yaşanmaması için gerekli önlemlerin alınması gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tahminleme, ARIMA, Fbprophet, Üssel Düzgünleştirme.

* Corresponding Author: mehmeteren.nalici@agu.edu.tr

1. Introduction

Climate change has become a major issue on a global scale as time goes on. According to Paterson (2013), global warming was first mentioned as a "serious problem" in 1988 in the US. The reason why global warming was mentioned as a problem in the 1990s was the abnormal meteorological events and the decrease in precipitation. Due to its geographical location, Turkey might be seriously affected by global warming. Climate change will affect different parts of Turkey in different ways and to varying degrees. The Aegean and Mediterranean areas, which lack adequate water, will be particularly hard hit (Öztürk, 2002). Due to the population density, the greatest need for drinking water is in Istanbul. Istanbul will suffer the most from a possible shortage of drinking water. Currently, Istanbul's drinking water needs are supplied from 10 different dams, such as "Ömerli, Elmalı, Terkos, Alibey, Büyükçekmece, Sazlıdere, Kazandere, Pabuçdere and Istrancalar" and "Yeşilçay" and "Melen" regulators. The total capacity of these dams is 868,683,000 m3 and the remaining water requirements are met by the regulators. In 2021, approximately 626 million m3 of water was used by these regulators. In the last 10 years, the yearly average water consumption of citizens in İstanbul was 994,030,000 m3 in total (İSKİ, 2022). The decrease in the occupancy rates of these dams may cause a serious water shortage in İstanbul.

Forecasting might be important for different areas because of predicting future outcomes. Necessary studies could be done, or measures can be taken according to the estimation results. In the literature, forecasting studies have been carried out in different areas. For instance, Yılmaz et al. (2021) claim that forecasting of COVID-19 cases are important to take precautions before spreading viruses. In this article COVID-19 case numbers is used in Brazil, America, Russia and India and Correlated Additive Model (CAM), Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Back Propagation-Based Artificial Neural Network (BP-ANN) were used as prediction models. Moreover, Buyrukoğlu (2021) claims that estimated the market values of cryptocurrencies. Decision support models are created for investors by estimating the future market values of cryptocurrencies. In addition to this, deep learning methods were used as the prediction model. On the other hand, Ayyıldız et al (2022) is using LSTM networks for forecasting occupancy rate of Dams in İstanbul.

The purpose of this article is to forecast the occupancy rates of Istanbul's dams for the years 2021 and 2022. Thus, it is to ensure that necessary precautions are taken before detecting a possible decrease in water levels. 'Moving average', 'ARIMA', 'Exponential Smoothing' and 'Fbprophet' models were used as forecasting models.

2. Material and Method

2.1. Data Analysis

To estimate the occupancy rates of dams in Istanbul, daily occupancy rates between 2011 and 2020 were used. The dataset was taken from the Istanbul Metropolitan Municipality Open Data Portal (Data.ibb, 2022). In the data set, there are daily occupancy rates of 10 different dams in Istanbul between the years 2011-

2020 as a percentage. Table 1. shows an example of a dataset for use in forecasting. In this table, dam number shows the name of dams, respectively, "Ömerli, Elmalı, Terkos, Alibey, Büyükçekmece". In this article, the "Python" programming language is used to visualize the data and create the forecasting model. Furthermore, "pandas", "numpy", "plotly", "seaborn", "matplotlib", "statsmodels", and "sklearn" libraries in the Python programming language are used in the visualization and analysis of the data.

Table 1. Example Dataset of Dams Occupancy Rate

Dams Date	1	2	3	4	5	6	...
2011-01-01	80.07	84.86	96.25	91.87	42.48	85.99	
2011-01-02	80.07	85.02	96.67	91.68	42.71	86.17	
2011-01-03	80.07	85.07	96.88	91.68	42.79	86.55	
2011-01-04	80.07	85.18	95.00	92.44	43.34	86.74	
2011-01-05	80.61	85.98	95.21	92.63	45.81	87.30	...
...	
2020-12-27	19.17	48.52	23.70	22.68	30.65	17.42	
2020-12-28	18.76	48.34	23.54	22.54	30.58	17.42	
2020-12-29	18.30	48.04	23.45	22.40	30.45	17.27	
2020-12-30	17.89	47.79	23.29	22.12	30.18	17.42	
2020-12-31	17.43	47.49	23.26	21.84	30.05	17.57	

2.1.1. Analysing Yearly Average

To make the data more meaningful, the annual average values of each dam were calculated.

Average Dam Occupancy By Years



Figure 1. Average Occupancy Rate of Each Dams by Years

Figure 1. shows the annual average occupancy rate for each dam. Each line on the chart represents a different threshold. When figure 1. is examined, an annual linear trend could not be determined in the annual dam occupancy rates. The average dam occupancy rate is around 50 percent. Moreover, dam occupancy rates decreased significantly in 2014. The reason for this decrease is thought to be the lack of precipitation due to global warming.

2.1.1. Analysing Seasonal Average by Years

The precipitation rates will be different in different seasons. This might affect the occupancy rate of the dams. As a result, it is necessary to investigate the seasonal variation in dam occupancy rates. Table 2. shows the average occupancy rate by season and year. Moreover, Figure 2 represents the average occupancy rate by season by year graphically.

Table 2. Average Occupancy Rate of Each Season by Years

Year	Spring	Summer	Autumn	Winter
2011	95.956228	85.523511	62.209978	78.656022
2012	92.119380	72.364359	49.000198	71.194209
2013	88.403750	65.615837	37.101253	62.721367
2014	26.541174	22.684326	33.062758	37.718133
2015	95.707359	79.798174	68.054275	79.211467
2016	81.285902	57.350696	36.955110	59.842956
2017	78.898989	62.739728	56.017725	66.724389
2018	87.218880	72.171250	53.453824	72.714022
2019	91.767043	67.938130	41.857571	69.768911
2020	55.564185	43.913315	27.057604	38.266505

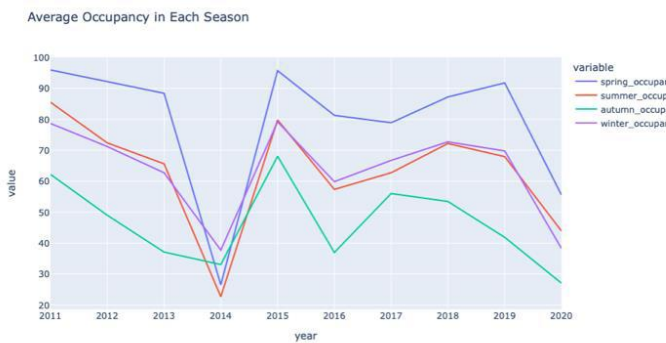


Figure 2. Average Occupancy Rate of Each Seasons

According to Figure 2, spring is the season when the dams are most full. It is estimated that there is an increase in the occupancy rate with the melting of the snow falling in winter. Average occupancy rates are approximately the same in the winter and summer seasons. In autumn, it has the lowest occupancy rate of all the seasons. The reason for this is the low amount of precipitation in the summer season. Furthermore, average occupancy rates for all seasons significantly decreased in 2014. The reason for this situation is thought to be less precipitation in 2014.

2.2. Proposed Methodology

"Moving Average", "ARIMA", "fbprophet" and "Exponential Smoothing" models were used to forecast the occupancy rates of dams in İstanbul. For these models, "root mean squared error (RMSE)" and "mean squared error (MSE)" values were found for each dam, and the RMSE and MSE values of the models were compared for each dam. "fbprophet" and "statsmodels" libraries were used while creating the forecasting model and analysing the error rates.

Before modelling the data, it is necessary to check its stationarity. Van Greunen, Heymans, van Heerden, and van Vuuren (2014) claim that the capacity to render a time series to the correct form of stationarity can lead to false results, while the inability to render a time series to the correct form of stationarity can lead to erroneous results. The statistical features of a process that generates a time series do not vary over time, which is known as stationarity. This isn't to say that the series doesn't change over time; it just means that the method by which it changes doesn't change

(towardsdatascience, 2022). The "dickey-fuller test" method was used to determine the stationarity of the data. Dolado, Gonzalo and Mayoral (2002) state that the Dickey and Fuller test statistic is one of the most used methods for determining whether a process is "I (1)" or "I (0)." Its broad application is owing to its computational simplicity as well as its flexibility to more generic setups such as serial correlation in residuals, seasonality, breaking trends, and so on. The Dickey-Fuller test is applied to each dam. If the P-value of the test is less than or equal to 0.05, the data will be stationary. Otherwise, the data is not stationary.

Table 3. P-values of each dam

Dams	P-value	Stationary or Not Stationary
Ömerli	0.000528	Stationary
Darlık	8.231593e-05	Stationary
Elmalı	0.211310	Not Stationary
Terkos	0.001289	Stationary
Alibey	0.000914	Stationary
Büyükçekmece	0.003648	Stationary
Sazlıdere	0.030055	Stationary
Kazandere	0.093578	Not Stationary
Pabuçdere	0.047259	Stationary
Istrancalar	0.000738	Stationary

According to Table 3, all data except "Elmalı" and "Kazandere" are stationary. For 30 days, the "shift" method will be applied to "Elmalı" and "Kazandere" data to make it stationary. Shifting or "lagging" numbers back and forth in time is a typical operation on time series data, such as computing the percent change from sample to sample (Weiming, 2015). Then, apply the Dickey-Fuller test for shifting data, and shifted data will become stationary (Table 4.).

Table 4. P-values of Shifted Data

Dams	P-value	New P-value	Stationary or Not Stationary
Elmalı	0.211310	0.000153	Stationary
Kazandere	0.093578	0.000390	Stationary

Moreover, since seasonal estimation will also be made, the "dickey-fuller test" method has been applied to the seasonal average occupancy rate data for years. The same confidence interval as for previous data is used for seasonal average occupancy rate data by year. According to Table 5, all seasonal data might be stationary with a 0.95 confidence interval.

Table 5. P-values of Each Season

Season	P-value	Stationary or Not Stationary
Spring Occupancy	0.008896	Stationary
Summer Occupancy	0.007490	Stationary
Autumn Occupancy	0.021246	Stationary
Winter Occupancy	0.032537	Stationary

2.2.1. Moving Average

A "Moving Average" is a time series that is created by averaging many consecutive data points from some other time-series data. Because each average is determined by discarding the oldest observation and including the next, the technique is referred to as "moving average." The averaging "moves" across the time series until all observations are computed at each observation that has all the average's constituents accessible (Hyndman, 2011). The moving average is calculated by taking the arithmetic average of a given set of values over a given period. The number is added as the number of days determined and divided by the determined number. Thus, the estimated value on the specified day is found. This process is continued until the last day comes.

The number of "Moving Average" steps is taken as "4 days", "5 days" and "6 days" to forecast the occupancy of the dams. "Mean squared error" and "Root mean squared error" values were calculated separately for each model.

Table 6. RMSE and MSE Rate for Moving Average (4 days)

Dams	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Ömerli	0.9962	0.9925
Darlık	0.9885	0.9771
Terkos	1.1265	1.2691
Alibey	1.1272	1.2707
Büyükçekmece	0.8921	0.7958
Sazlıdere	0.6334	0.4012
Pabuçdere	1.6302	2.6576
Istrancalar	5.1126	26.1387
Elmalı	2.0182	4.0731
Kazandere	2.8417	8.0753

Table 7. RMSE and MSE Rate for Moving Average (5 days)

Dams	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Ömerli	1.2023	1.4457
Darlık	1.1929	1.4231
Terkos	1.3345	1.7809
Alibey	1.3521	1.8283
Büyükçekmece	1.0714	1.1479
Sazlıdere	0.7639	0.5836
Pabuçdere	1.9242	3.7025
Istrancalar	5.8641	34.3888
Elmalı	2.3226	5.3949
Kazandere	3.3041	10.9173

Table 8. RMSE and MSE Rate for Moving Average (6 days)

Dams	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Ömerli	1.4023	1.9664
Darlık	1.3918	1.9371
Terkos	1.5311	2.3445
Alibey	1.5672	2.4562
Büyükçekmece	1.2457	1.5518
Sazlıdere	0.8906	0.7933
Pabuçdere	2.2042	4.8587
Istrancalar	6.5208	42.5212
Elmalı	2.6087	6.8058
Kazandere	3.7259	13.8824

The number of "Moving Average" steps is taken as "2 years", "3 years" to forecast the seasonal occupancy of the dams. "Mean squared error" and "Root mean squared error" values were calculated separately for each model.

Table 9. RMSE And MSE Rate for Moving Average (2 Years)

Season	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Spring Occupancy	19.1098	463.4019
Summer Occupancy	15.0262	274.0968
Autumn Occupancy	10.2318	128.4443
Winter Occupancy	11.6593	182.9532

Table 10. RMSE and MSE Rate for Moving Average (3 years)

Season	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Spring Occupancy	15.4878	239.8735
Summer Occupancy	12.6865	160.9482
Autumn Occupancy	11.9357	142.4621
Winter Occupancy	12.2521	150.1153

2.2.2. ARIMA

ARIMA techniques are used to evaluate time series and were formerly primarily employed for load forecasting because of their accuracy and mathematical soundness (Contreras et al., 2003). ARIMA models are those that are used on non-stationary series and then changed by differencing to a stationary state. Non-stationary linear stochastic models are those that are applied to non-stationary series and then made stationary via the use of differences. These models, which apply AR to series with d-degree differences, represent the value of the variable in the t-period as a linear function of a certain number of back-period values and the error term in the same period. The value of the variable in the t-period is also a linear function of a specific number of back-period error terms. They combine the MA models and are represented as the models are typically represented by ARIMA (p, d, q). In this case, the degrees of the moving average (MA) and autoregressive (AR) models, respectively, are p and q, and the degree of difference is denoted by d (Kaynar et al., 2009). To use "ARIMA", there has to be no seasonality in the data. If there is seasonality in the data, "SARIMA" should be used. According to this result, checking seasonality is essential for using ARIMA. After trend and seasonal elements have been removed, model fitting entails identifying and estimating parameters. Regression analysis that measures the strength of one dependent variable in relation to multiple fluctuating variables is known as an autoregressive integrated moving average model. Instead of using actual values, the model seeks to forecast future values by analysing discrepancies between values in the series. A preliminary autoregressive moving average (ARIMA) process is built based on the estimated autocorrelation function (ACF) and the estimated partial autocorrelation function (PACF) during the identification step (Nobre et al., 2001). For checking seasonality, the "seasonal decompose" method is used in "statsmodels" libraries. According to Figure 3., there is no seasonality each dam. Therefore, ARIMA will be used for forecasting.

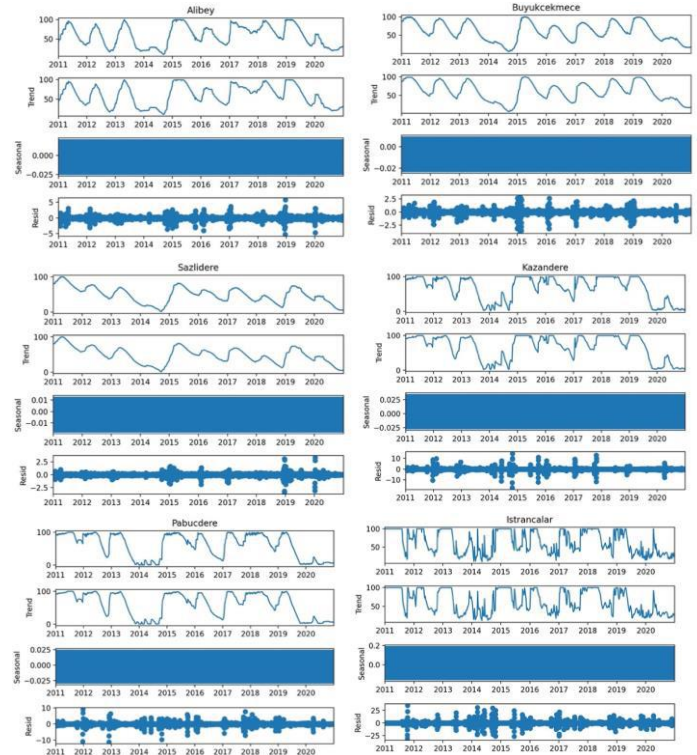


Figure 3. Seasonal_Decompose Result of Each Dams

ARIMA has three variables, such as "p", "d" and "q." "p" is the autoregressive model's order (number of time lags), "d" is the degree of differencing (the number of times the data has had past values subtracted), and "q" is the moving-average model's order. In this paper, different (p,d,q) combinations will try to fit the ARIMA model. For example, "p" and "q" have a range of "0-7" and "d" has a range of "0-4" for forecasting each dam. All possible (p,d,q) combinations will be tried to get the "Root Mean Squared Error" for each pair. For training the model, 0.8 of data for each dam is used. The remaining one (0.2) is used for verification. The ideal combination was chosen for the combination training model that gave the smallest RMSE value for each dam.

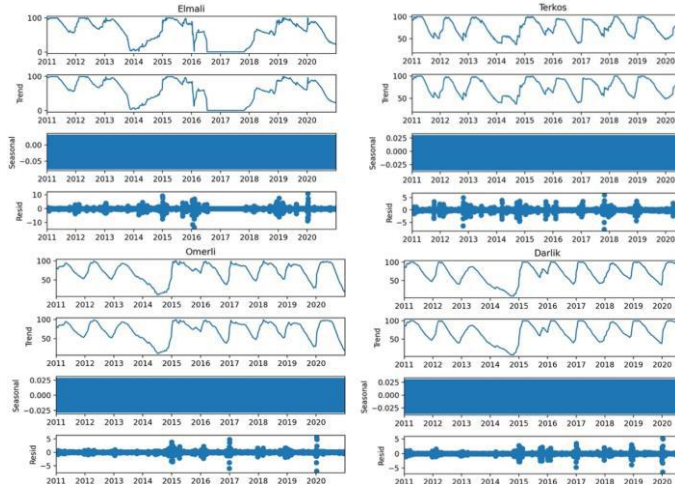


Table 11. Example of RMSE rate of each dam by each pdq pairs

(p,d,q)	Ömerli	Darlık	Terkos	Alibey
(0, 0, 0)	24.3471	22.1796	23.4816	28.9917
(0, 0, 1)	24.3446	22.1602	23.4793	28.9686
(0, 0, 2)	24.3404	22.1499	23.4774	28.9465
(0, 0, 3)	24.3414	22.1396	23.4743	28.9536
(0, 0, 4)	24.3329	22.0857	23.4732	28.8911
...
(6, 3, 2)	178.2897	298.5143	214.5498	1152.5791
(6, 3, 3)	118.5196	652.6726	224.9215	300.7981
(6, 3, 4)	86.7820	602.1260	608.4480	553.8868
(6, 3, 5)	407.6319	329.7974	357.2996	615.1873
(6, 3, 6)	427.4416	400.7443	370.0125	1235.7716

The smallest (p,d,q) values among the error values, such as "root mean squared error" and "mean squared error", were found for each dam data set. These values will then be used to compare the error values of other models.

Table 12. The smallest RMSE value of (p,d,q) pairs of each dam

Dams	(p,d,q)	RMSE
Ömerli	(5, 0, 4)	22.3810
Darlık	(6, 0, 4)	17.0530
Terkos	(6, 0, 6)	20.1219
Alibey	(5, 0, 4)	16.1057
Büyükçekmece	(4, 0, 5)	24.0485
Sazlıdere	(0, 3, 1)	18.7186
Pabuçdere	(4, 2, 0)	23.7179
Istrancalar	(3, 0, 0)	34.7594
Elmalı	(6, 0, 4)	5.7194
Kazandere	(1, 0, 2)	6.6172

Table 13. The smallest MSE value of (p,d,q) pairs of each dam

	(p,d,q)	MSE
Ömerli	(5, 0, 4)	500,9092
Darlık	(6, 0, 4)	290,8048
Terkos	(6, 0, 6)	404,8909
Alibey	(5, 0, 4)	259,3936
Büyükçekmece	(4, 0, 5)	578,3304
Sazlıdere	(0, 3, 1)	350,3860
Pabuçdere	(4, 2, 0)	562,5388
Istrancalar	(3, 0, 0)	1208,2159
Elmalı	(6, 0, 0)	32.7115
Kazandere	(6, 0, 0)	43.7873

For seasonal data, "p" and "q" have the range of "0-2" for forecasting each season. The model is trained using 0.8 seasons of data. The remaining one (0.2) is utilized for verification purposes. For the combination training model, the best combination was found that yielded the least RMSE value for each season.

Table 14. RMSE Rate of Each Season by Each pdq Pairs

(p,d,q)	Spring	Summer	Autumn	Winter
(0, 0, 0)	19.4443	14.9235	16.7478	19.8501
(0, 0, 1)	21.4657	15.2257	14.7616	20.1604
(0, 1, 0)	22.6131	20.2043	20.3866	24.4469
(0, 1, 1)	19.4424	14.9216	16.7469	19.8492
(1, 0, 0)	20.1171	15.2298	16.3097	20.1360
(1, 0, 1)	20.3859	14.3219	14.6632	19.4277
(1, 1, 0)	21.8028	18.3283	21.2040	23.3002
(1, 1, 1)	19.7451	14.9290	16.3080	19.8874

For each seasonal data, the least (p,d,q) values were found among the error values such as "root mean squared

error" and "mean squared error." The error values of other models will then be compared to these values.

Table 15. The smallest RMSE value of (p,d,q) pairs of each season

	(p,d,q)	RMSE
Spring Occupancy	(0, 1, 1)	19.4424
Summer Occupancy	(1, 0, 1)	14.3219
Autumn Occupancy	(1, 0, 1)	14.663
Winter Occupancy	(1, 0, 1)	19.4277

Table 16. The smallest MSE value of (p,d,q) pairs of each Season

	(p,d,q)	MSE
Spring Occupancy	(0, 1, 1)	378,0069
Summer Occupancy	(1, 0, 1)	205,1168
Autumn Occupancy	(1, 0, 1)	215,0036
Winter Occupancy	(1, 0, 1)	377,4355

2.2.3. Fbprophet

"Fbprophet" is an additive model for forecasting time series data that fits non-linear patterns with yearly, weekly, and daily seasonality, as well as seasonal impacts. It works best with time series with substantial seasonal influences and historical data from several seasons. "Fbprophet" can withstand missing information and trend alterations, and it usually handles extremes well (Chikkakrishna, 2019). For the "Fbprophet" library, 0.8 of each dam's data is reserved for training, the rest for testing. It was run daily over 365-day period. Moreover, RMSE and MSE values were calculated for each dam.

Table 17 RMSE and MSE Rate for Fbprophet of Each Dam

Dams	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Ömerli	18.2305	332,3511
Darlık	17.5149	306,7717
Terkos	17.2301	296,8763
Alibey	35.9049	1289,1618
Büyükçekmece	46.5420	2166,1577
Sazlıdere	38.3423	1470,1319
Pabuçdere	62.1590	3863,7412
Istrancalar	53.4463	2856,5069
Elmalı	10.1054	102,1191
Kazandere	7.0872	50,2284

For seasonal data, the model run yearly and in 1 year period. Furthermore, RMSE and MSE values were calculated for season.

Table 18. RMSE and MSE Rate for Fbprophet of Each Season

	Root Mean Squared Error	Mean Squared Error
Spring	22.7623	518,1223
Summer	15.3115	234,4437
Autumn	19.4409	377,9502
Winter	22.4733	505,0495

2.2.4. Exponential Smoothing

Exponential smoothing is a straightforward and practical method of forecasting that involves constructing a forecast using an exponentially weighted average of previous data. Most of the weight is given to the current observation, with less weight being given to the observation immediately before it, and even less weight being given to the observation before that, and so on. The objective behind exponential smoothing is to smooth the original series in the same manner as the moving average smooths it, and then use the smoothed series to anticipate future independent variables of importance. Typically, the exponential smoothing approach is founded on the idea that time series levels should vary around a fixed level or change gradually over time (Ostertagová, 2011).

For the model, Figure 3 is used to model dam data for seasonality. According to Figure 3., exponential smoothing with an additivity seasonality model is used for "Elmalı" "Kazandere" and "Pabuçdere" data forecasting. Exponential smoothing with a multiplicative seasonality model is used for other dams' data. 0.8 of the datasets were used to train the models, and the rest were used for testing the models. In both models, the seasonality period was taken as 365 days and the daily estimation of the 2-year data is made. RMSE and MSE are calculated for each dam's data.

Table 19 RMSE and MSE Rate for Exponential Smoothing of Each Dam

Dams	RMSE	MSE
Ömerli	22.4963	506,0835
Darlık	48.1110	2314,6683
Terkos	36.2185	1311,7797
Alibey	94.5095	8932,0456
Büyükçekmece	63.7549	4064,6873
Sazlıdere	18.2419	332,7669
Istrancalar	274.4037	752,9701
Pabuçdere	47.1646	2224,4995
Elmalı	23.9124	571,8029
Kazandere	18.7226	350,5358

For seasonal data, the model is fitted with exponential smoothing with multiplicative seasonality. Seasonal periods are selected every 2 years. The models are trained using 0.8 of the datasets and tested with the remaining datasets, and RMSE and MSE values are calculated.

Table 20. RMSE and MSE Rate for Exponential Smoothing of Each Season

	RMSE	MSE
Spring Occupancy	11.5633	133,7099
Summer Occupancy	9.4762	89,7983
Autumn Occupancy	15.0599	226,8005
Winter Occupancy	15.6953	246,3424

3. Results and Discussion

Root mean squared error and mean squared error values were calculated for each time series forecasting model. The "moving average" model was compared within itself. If the models are compared the "moving average" models according to the RMSE and MSE values, the model that gives the smallest values for all dams is the "moving average 4 days" model. This model is comparable to other models for the "moving average" model.

Table 21. RMSE values of Moving Average Models for Each Dam

Dams	Moving Average (4 days)	Moving Average (5 days)	Moving Average (6 days)
Ömerli	0.9962	1.2023	1.4023
Darlık	0.9885	1.1929	1.3918
Terkos	1.1265	1.3345	1.5311
Alibey	1.1272	1.3521	1.5672
Büyükçekmece	0.8921	1.0714	1.2457
Sazlıdere	0.6334	0.7639	0.8906
Pabuçdere	1.6302	1.9242	2.2042
Istrancalar	5.1126	5.8641	6.5208
Elmalı	2.0182	2.3226	2.6087
Kazandere	2.8417	3.3041	3.7259

When the RMSE values of all models are compared, the smallest value is in the "moving average 4 day" model. However, due to the nature of the model, trend and seasonality are not used in the "Moving Average" forecasting model. When the dam data is examined, it is seen that the data includes trend (Figure 3). Therefore, it is not considered appropriate to choose the "moving average of 4 days" model as the estimation model. A choice will be made between "ARIMA", "Fbprophet", and "Exponential Smoothing" as they include seasonality and trend data. When the RMSE values of the "ARIMA", "Fbprophet" and "Exponential smoothing" models are examined, the "ARIMA" model gives the lowest value for "Darlık", "Alibey", "Büyükçekmece", "Pabuçdere", "Istrancalar" and "Elmalı" dams. The "Fbprophet" model gives the lowest "rmse" value for "Ömerli" and "Terkos" dams. Finally, the "Exponential Smoothing" model gives the lowest RMSE value for the "Sazlıdere" dam. Since the comparison was made for the RMSE values, the MSE values were not compared again. Forecasts for 2021 and 2022 were created with the model that gave the lowest RMSE value for each dam.

Table 22. RMSE values of Models-1 (Each Dam)

Dams	Moving Average (4 days)	ARIMA with (p,d,q)
Ömerli	0.9962	22.3810 (5, 0, 4)
Darlık	0.9885	17.0530 (6, 0, 4)
Terkos	1.1265	20.1219 (6, 0, 6)
Alibey	1.1272	16.1057 (5, 0, 4)
Büyükçekmece	0.8921	24.0485 (4, 0, 5)
Sazlıdere	0.6334	18.7186 (0, 3, 1)
Pabuçdere	1.6302	23.7179 (4, 2, 0)
Istrancalar	5.1126	34.7594 (3, 0, 0)
Elmalı	2.0182	5.7194 (6, 0, 4)
Kazandere	2.8417	6.6172 (1, 0, 2)

Table 23. RMSE values of Models-2 (Each Dam)

Dams	Fbprophet	Exponential Smoothing
Ömerli	18.2305	22.4963
Darlık	17.5149	48.1110
Terkos	17.2301	36.2185
Alibey	35.9049	94.5095
Büyükçekmece	46.5420	63.7549
Sazlıdere	38.3423	18.2419
Pabuçdere	62.1590	274.4037
Istrancalar	53.4463	47.1646
Elmalı	10.1054	23.9124
Kazandere	7.0872	18.7226

Since the comparison was made for the RMSE values, the MSE values were not compared again. Forecasts for 2021 and 2022 were created with the model that gave the lowest RMSE value for each dam.

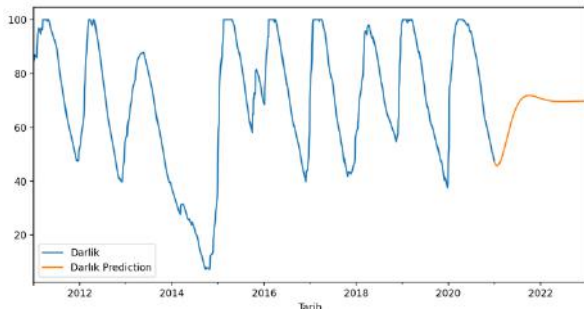


Figure 4. Prediction of Darlık between 2021-2022 (ARIMA (6,0,4))

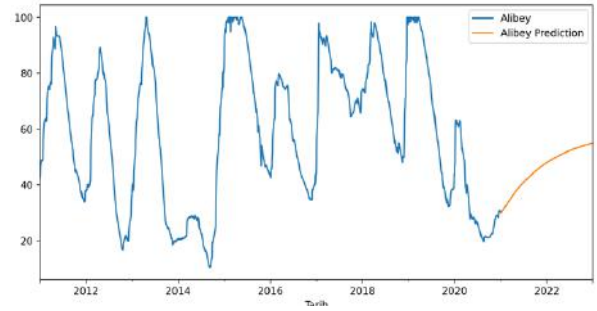


Figure 5. Prediction of Alibey between 2021-2022 (ARIMA (5,0,4))

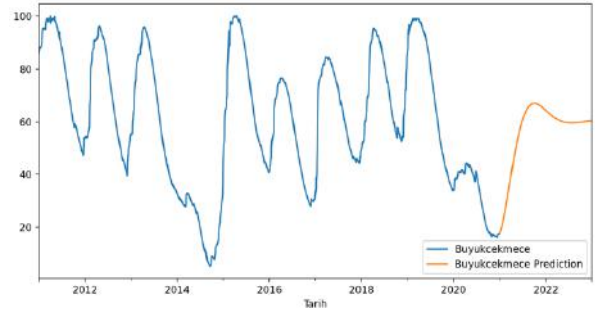


Figure 6. Prediction of Büyükçekmece between 2021-2022 (ARIMA (4,0,5))

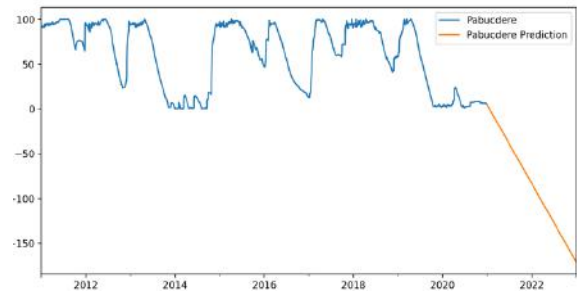


Figure 7. Prediction of Pabuçdere between 2021-2022 (ARIMA (4,2,0))

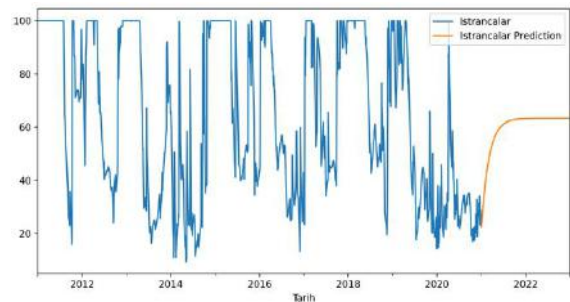


Figure 8. Prediction of Istrancalar between 2021-2022 (ARIMA (3,0,0))

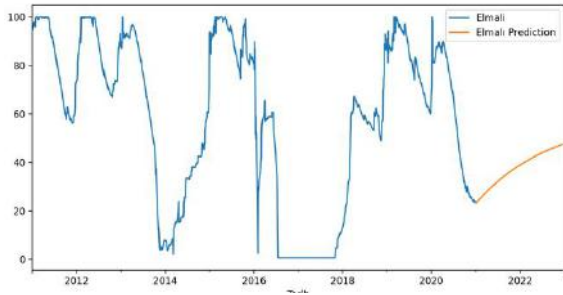


Figure 9. Prediction of Elmalı between 2021-2022 (ARIMA (6,0,4))

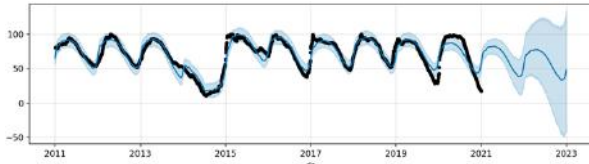


Figure 10. Prediction of Ömerli between 2021-2022 (Fbprophet)

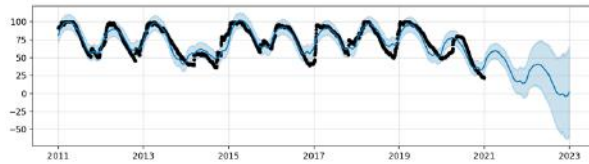


Figure 11. Prediction of Terkos between 2021-2022 (Fbprophet)

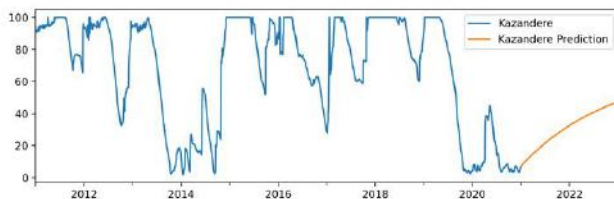


Figure 12. Prediction of Kazandıre between 2021-2022 (ARIMA (1,0,2))

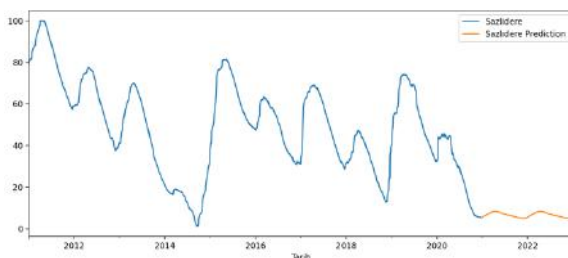


Figure 13. Prediction of Sazlıdere Between (2021-2022) (Exponential Smoothing)

For seasonal data, forecasting models are compared. The "Moving Average" model has given the smallest RMSE value, but it is thought that estimating with this model will not give accurate results, since this model does not contain trend and seasonality values. When the other 3 models were compared, it was found appropriate to estimate occupancy in spring, summer, and winter with "Exponential Smoothing"

and to estimate occupancy in autumn with ARIMA (1,0,1) parameters.

Table 24. RMSE Values of Models-1 (Each Season)

	Moving Average (2 Years)	Moving Average (3 Years)
Spring Occupancy	19.1098	15.4878
Summer Occupancy	15.0262	12.6865
Autumn Occupancy	10.2318	11.9357
Winter Occupancy	11.6593	12.2521

Table 25. RMSE Values Of Models-2 (Each Season)

	Fbprophet	Exponential Smoothing
Spring Occupancy	22.7623	11.5633
Summer Occupancy	15.3115	9.4762
Autumn Occupancy	19.4409	15.0599
Winter Occupancy	22.4733	15.6953

Table 26. RMSE Values Of Models-3 (Each Season)

	ARIMA with (p,d,q)	
Spring Occupancy	19.4424	(0, 1, 1)
Summer Occupancy	14.3219	(1, 0, 1)
Autumn Occupancy	14.663	(1, 0, 1)
Winter Occupancy	19.4277	(1, 0, 1)

Since the comparison was made for the RMSE values, the MSE values were not compared again. Forecasts for 2021 and 2022 were created with the model giving the lowest RMSE value for each season.

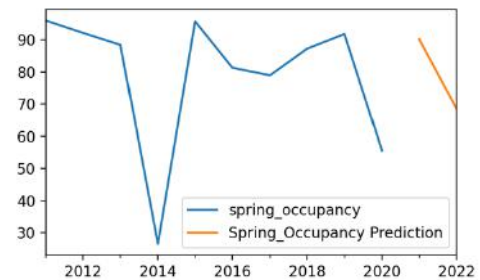


Figure 14. Prediction of Spring Occupancy for 2021-2022 (Exponential Smoothing)

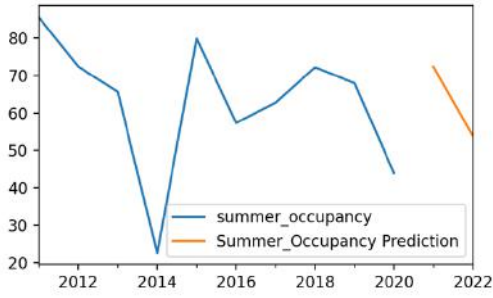


Figure 15. Prediction of Summer Occupancy for 2021-2022 (Exponential Smoothing)



Figure 16. Prediction of Winter Occupancy for 2021-2022 (Exponential Smoothing)

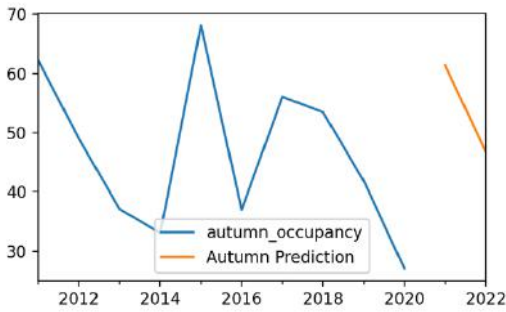


Figure 17 Prediction of Autumn Occupancy for 2021-2022 (ARIMA (1,0,1))

4. Conclusion and Recommendations

Global warming poses a serious threat to the entire world. Increasing global warming poses the danger of water scarcity. In Turkey, in crowded cities such as Istanbul that meet their drinking water needs from dams, the lack of precipitation due to global warming causes water scarcity. In this study, the daily occupancy rates of 10 different dams in Istanbul between 2011 and 2020 were examined. In line with this dataset, occupancy forecasts of dams in Istanbul for the years 2021 and 2022 were made using the "Moving Average," "ARIMA," "Fbprophet" and "Exponential Smoothing" models. A comparison of RMSE and MSE values of forecasting models was made. For each dam, the estimation model giving the lowest RMSE value was chosen. As a result of these models, it is estimated that the occupancy rate for the "Darlık", "Alibey", "Büyükçekmece" and "Istrancalar" dams for 2021 and 2022 will be approximately 60 percent. The

occupancy rate of the "Elmalı" and "Kazandere" dams is expected to be around 40%, that of the "merli" dam is expected to be around 25%, and that of the "Terkos" dam is expected to be around 30%. On the other hand, it is estimated that the "Sazlıdere" and "Pabuçdere" dams will have an occupancy rate of almost 0 percent. If the forecasts of seasonal data are analyzed, it is estimated that the average dam occupancy rate in summer, winter, and spring will be around 50 percent in 2022. This rate, on the other hand, is around 70% during the spring season.

These forecasting models show that in 2022, the average dam occupancy rate will be 33.5 percent. In other words, it is estimated that Istanbul will have approximately 291,008,805 m³ of drinking water in 2022 for dams. There might be water shortages in Istanbul in 2022. It is estimated that there will not be enough water in the dams. Therefore, necessary precautions should be taken to ensure that the people living in Istanbul do not suffer from water shortages.

References

2022. [online] Available at: <<https://towardsdatascience.com/stationarity-in-time-series-analysis-90c94f27322>> [Accessed 11 January 2022].
2022. [online] Available at: <https://www.iski.istanbul/web/>
- Buyrukoglu, S. (2021). Promising Cryptocurrency Analysis using Deep Learning. 2021 5Th International Symposium On Multidisciplinary Studies And Innovative Technologies (ISMSIT).
- Chikkakrishna, Naveen Kumar, et al. "Short-term traffic prediction using sarima and FbPROPHET." 2019 IEEE 16th India Council International Conference (INDICON). IEEE, 2019.
- Contreras, Javier, et al. "ARIMA models to predict next-day electricity prices." IEEE transactions on power systems 18.3 (2003): 1014-1020.
- Data.ibb.gov.tr. 2022. Hoş Geldiniz - İBB. [online] Available at: <<https://data.ibb.gov.tr>>
- Dolado, J., Gonzalo, J. and Mayoral, L., 2002. A Fractional Dickey-Fuller Test for Unit Roots. *Econometrica*, 70(5), pp.1963-2006.
- E. Ayyıldız & M. Erdoğan (2022). Forecasting of daily dam occupancy rates using LSTM networks. *World Journal of Environmental Research*. 12(1), 33-42.
- Hyndman, Rob J. "Moving Averages." (2011): 866-869.
- K. Öztürk, "Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri," G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1 (2002) 47-65.
- Kaynar O., Taştan S., ZAMAN SERİLERİ TAHMİNİNDE ARIMA-MLP MELEZ MODELİ, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 3, 2009.
- Nobre, Flávio Fonseca, et al. "Dynamic linear model and SARIMA: a comparison of their forecasting performance

- in epidemiology." *Statistics in medicine* 20.20 (2001): 3051-306
- Ostertagová, Eva, and Oskar Ostertag. "The simple exponential smoothing model." *The 4th International Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems*, Technical University of Košice, Slovak Republic, Proceedings of conference. 2011.
- Paterson, M., 2013. *Global Warming and Global Politics*. Hoboken: Taylor and Francis.
- van Greunen, J., Heymans, A., van Heerden, C. and van Vuuren, G., 2014. The Prominence of Stationarity in Time Series Forecasting. *Studies in Economics and Econometrics*, 38(1), pp.1-16.
- Weiming, J., 2015. *Mastering Python for Finance*. Birmingham, UK: Packt Publishing.
- Yilmaz, Y., & Buyrukoglu, S. (2021). Hybrid Machine Learning Model Coupled with School Closure For Forecasting COVID-19 Cases in the Most Affected Countries. *Hittite Journal Of Science & Engineering*, 8(2), 123-131.



Radar ve Daha Geniş Frekans Uygulamaları için Zeolit: Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği

Ethem İlhan Şahin^{1*}, Mehriban Emek²

^{1*} Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7859-9066), shnethem@gmail.com

² Adıyaman Üniversitesi, Gölbaşı Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bilgisayar Programcılığı, Gölbaşı, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7322-9808), emekmehriban@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 5 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141007)

ATIF/REFERENCE: Şahin, E.I., Emek, M. (2022). Radar ve Daha Geniş Frekans Uygulamaları için Zeolit: Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 240-245.

Öz

Bu çalışmada, geleneksel karışık oksit tekniği kullanılarak zeolite: kırpılmış elyaf kompozitler üretilmiştir. Tek fazlı doğal zeolit bileşiği 1050 °C'de 4 saat sinterlendikten sonra üretildi. Yapısal inceleme için, çeşitli miktarlarda zeolit: kırpılmış elyaf kompozit tozları üretildi. Yapısal analiz için X-ışını kırınımı (XRD) yapıldı, bu da zeolitte ikinci fazın oluşmadığını gösterdi. Ek olarak, zeolit: kırpılmış elyaf kompozitler, çeşitli oranlarda zeolit, kırpılmış elyaf bileşimleri ve epoksi kullanılarak sıcak presleme ile imal edildi. Çeşitli ağırlıklarda oluşturulan zeolite: kırpılmış elyaflar bileşiği ve epoksi reçinesi, mikrodalga koruyucu etkili kompozitleri imal etmek için kullanıldı. Ağ analizör (NA) cihazı kullanılarak, 1.5 mm kalınlıktaki zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği 6.5-17.5 GHz frekans aralığında ölçüldü ve 17.17 GHz'de minimum -40.52 dB ekranlama etkinlik değeri elde edildi. Zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerinin özellikleri, ekranlama etkinliği için karakterize edildi. Numunelerdeki zeolit ve kırpılmış elyafların içeriği, mikrodalga ekranlama etkisi performansını değiştirmek için daha büyük ve gerekli frekans bantları için modüle edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik ekranlama etkinliği, Matriks kompozitler, Karışık oksit, Zeolit.

Shielding Effectiveness of Zeolite: Chopped Strands Composites for Radar and Wider Frequency Applications

Abstract

In this study, zeolite: chopped strands composites were produced by using traditional mixed oxide technique. The single phase natural zeolite compound was generated after sintering at 1050 °C for 4 h. For the structural investigation, various quantities powders of zeolite: chopped strands composites were generated. X-ray diffraction (XRD) was carried out for the structural analysis, which indicated that second phase did not form in zeolite. Additionally, the zeolite: strands composites were manufactured by hot pressing using the compositions of zeolite, chopped strands in various proportions and epoxy. The zeolite:chopped strands compound formed in various weights, and epoxy resin were used to fabricate microwave shielding effectiveness composites. Utilizing network analyser (NA), the microwave shielding effect of zeolite: chopped strands composites at a thickness of 1.5 mm were measured in the range of 6.5-17.5 GHz and a minimum of -40.52 dB shielding efficacy value was achieved at 17.17 GHz. Features of zeolite: chopped strands composites were characterized for shielding effectiveness. The content of zeolite and chopped strands in the samples may be modulated for the larger and needed frequency bands to change the microwave shielding effect performance.

Keywords: Electromagnetic shielding effectiveness, Matrix composites, Mixed oxide, Zeolite.

* Sorumlu Yazar: shnethem@gmail.com

1. Giriş

Radar, uydu iletişimi ve mobil iletişim sektörlerinde yüksek frekans uygulamalarına olan talebin artması nedeniyle, elektromanyetik radyasyon ve elektromanyetik Interference (EMI) şu anda ciddi bir tehdit olarak görülmektedir (Cao ve ark., 2016). Yüksek frekanslı elektronik endüstrisinin yoğun üretimi nedeniyle, elektromanyetik kirlilik ve EMI günümüz dünyasında önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Elektromanyetik radyasyon sadece elektrik güç sisteminin verimini ve çıkışını engellemekle kalmaz, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de zararlı bir etkiye sahiptir. EMI koruyucu malzemelerin kullanılması, yukarıda belirtilen sorunları verimli bir şekilde azaltmak için yararlı bir stratejidir. Sadece bu bağlamda, yeni ve daha etkili EMI ekranlama malzemeleri büyük ilgi görmüştür (Shahzad ve ark., 2016; Yousefi ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017; Kargar ve ark., 2019, Jia ve ark., 2019). EMI tarafından üretilen sinyal radyasyonları elektronik uygulamalara büyük ölçüde zarar verebilmektedir. Bu, dijital makinelerin yüksek maruziyette arızalanmasına neden olabilir ve ayrıca insanların sağlığını etkileyebilir (Sahin ve ark., 2020; Pan ve ark., 2017). Elektromanyetik (EM) dalgalarının korunması, radyasyon gücünün yansması veya emilmesi yoluyla EM enerjisini termal enerjiye dönüştürerek parazitlerin azalmasına yol açar (Zhang ve ark., 2016).

Ayrıca, EM radyasyonun, özellikle gelecekte (5G) iletişim sistemlerinden kaynaklanarak insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri hakkındaki düşüncelere giderek artmaktadır (Abbasi ve ark., 2019). EM Paraziti filtreleyen bir kalkan sağlamak, zararlı radyasyonu önlemek, elektronik ekipmanları da korumak için iyi bir seçenektir. Katı ve hafif koruyucu malzemeler büyük ilgi görmektedir (Qasrawi & Hamarsheh, 2022; Yuan ve ark., 2017). Özellikle, iyi ekranlama etkinliğine sahip malzeme, iyi elektriksel iletkenlik, mükemmel termal ve yüksek EMI koruyuculuk özelliğine sahip olmalıdır (Chem ve ark., 2013; Mondal ve ark., 2018; Mondal ve ark., 2017).

EM radyasyon yutulması ve yansması, EM alanları ile koruyucu malzemelerde sırasıyla mobil yük taşıyıcıları ve manyetik, elektrik dipollerinin doğrudan etkileşiminden kaynaklanan EMI korumasının iki ana mekanizmasıdır. Malzemelerin elektriksel iletkenliğinin, EMI ekranlamanın özelliklerini kontrol etmek için bir parametre olduğu bilinmektedir (Abbasi ve ark., 2019; Chung ve ark., 2001; Chen ve ark., 2018). Koruyucu malzemeler, içlerine dielektrik özellik gösteren taneler entegre edilerek daha verimli hale getirilebilir, böylece koruyucu malzemenin kalınlığı azaltılabilir.

Başka bir yöntem de elektromanyetik girişim koruyucu için yayılan bileşenlerin yanına yerleştirilen belirli polimerik veya metalik koruyucu malzemeler tarafından radyasyonun yutulması, yansmasıdır (Zhang ve ark., 2011; Singh ve ark., 2012). Koruyucu etkili malzemeler, alanları bloke ederek uzaydaki elektromanyetik alanı azaltmak için engelleyiciler olarak kullanılır, örneğin, radyo frekansının korunması genellikle radyo dalgalarını ve radyasyonu önleme işlevidir (Tibbets ve ark., 2007). EMI ekranlama için metal pullar, metalik teller, parçacıklar ve karbon fiberler başlıca olmak üzere süresiz iletken dolgu kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılır (Xiangcheng & Chung, 1999). Ek olarak, gigahertz frekans bölgesinde, potansiyel olarak EMI ekranlama malzemeleri kullanılmıştır (Yan ve ark., 2014).

Kabul edilebilir ekranlama verimliliği elde etmek için genellikle yüksek içsel iletkenlik ve/veya malzemede yüksek iletken ağı özelliği olması gerekmektedir (Ai-Saleh, 2015; Zhang ve ark., 2015).

Diğer bir yaklaşım ise örneğin polimer kompozitler üretmek için katmanlı yapıyı kullanarak kaplama tekniğini uygulamaktır. İşlevsel bileşenler ince bir kaplama tabakasıyla sınırlı görüldüğü için, yerel iletken bileşen konsantrasyonu artar. Bu sistemde elektriksel iletkenlik ağları hızla oluşturulur. Bu verimli ve basit strateji ile kompozitlerin ekranlama verimliliği etkin şekilde geliştirilebilir (Yin ve ark., 2019; Avadhanam ve ark., 2018).

Yüksek performanslı kompozit imalat endüstrisinde, cam fiberler (cam elyaf fitil veya kırılmış elyaflar) mükemmel mekanik özelliklere sahip en önemli takviyeler arasındadır (Shayed ve ark., 2010). Cam elyaf, kompozitler için uygun maliyetli ve çok amaçlı bir takviyedir. Korozyona dayanıklı ve hafiftir. Kompozitin nitelikleri, cam elyaflar ve matris reçinesi arasındaki arayüz bağlantısı tarafından belirlenir (Zhao & Takeda, 2000). Diğer kompozitlere kıyasla mükemmel mukavemeti, nem direnci ve elektrik ve yangın yalıtımı nedeniyle kırılmış elyafların matı, e-cam/epoksi kompozitleri de denizcilik uygulamaları için potansiyel bir malzeme olarak ortaya çıkıyor. Kırılmış elyaflar, sürekli cam fiberlerden kıyılır. Kırılmış elyaflar, birleştirmenin zorluklarına direnmek için tasarlanmıştır. Üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı daha çok otomotiv tekstilleri, spor tekstilleri, havacılık sektörü, rüzgar türbini kanatları ve tekstil takviye betonu gibi teknik tekstillerin üretiminde kullanılmaktadır (Gupta ve ark., 2007).

Zeolitler, genellikle volkanik kül çöküntülerinden oluşan tuf kayalarında bulunan metalik olmayan minerallerdir. Zeolitler farklı kimyasal ve fiziksel özellikler sergilediğinden teknolojik gelişmeler paralelinde endüstride önemli yer tutan mineraldir. Alternatif bir doğal fitil materyali olarak zeolitler adsorpsiyon-desorpsiyon yetenekleri, ikincil bir ortamı barındırma yetenekleri, iyon değişimi, hidrofilik, yüksek termal ve kimyasal kararlılık, mikro gözeneklilik, toksik olmama ve çevre dostu olma, düşük maliyet gibi çekici özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda büyük potansiyel göstermiştir. Zeolitler petekler gibi benzersiz kristal yapılar sergilerler, $(AlO_4)^{-5}$ ve $(SiO_4)^{-4}$ kristal yapılardan oluşurlar. Eşsiz özelliklerinden dolayı petrol arıtma, petrokimya, tarım, su ve atık su arıtma gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadırlar (Koochsaryan & Anbia, 2016; Snelders ve ark., 2016; Alswat ve ark., 2017).

Zeolitlerin lifler, fiberler veya parçacıklar gibi farklı formlarda ikincil bir seramik faz ile güçlendirilmesi, farklı özelliklerini arttırmaya yönelik en etkili yöntemler olarak kabul edilebilir, nispeten ucuz hammaddeden elde edilen erişilebilir olan bu mineral malzeme dikkate değer mekanik özellikleriyle de yapı malzemesi olarak birçok alanda kullanılabilir (İbrahim ve ark., 2022; İbrahim, Tihtih, Kurovics, Şahin, Gömze, Kocserha, 2022).

Ekranlama etkinliği performans değeri, malzemeye gelen elektromanyetik dalganın malzemenin karşıya ne kadar geçtiğine bağlıdır. Gelen elektromanyetik dalganın -10 dB ekranlama etkisi değeri ile yüzde 90 oranında azaldığı ve yüzde 10'unun karşı tarafa geçtiği bilinmektedir (Ting ve ark., 2011).

Önceki araştırmalarda, 1.5 mm kalınlığındaki Wollastonite/PANI/Colemanite kompozitleri için maksimum elektromanyetik ekranlama performansı 6.26 GHz frekansında – 41.65 dB olarak ölçülmüştür (Şahin & Emek, 2021). Başka bir çalışmada T-ZnO@Ag/Silikon kauçuk kompozitlerinin elektromanyetik ekranlama etkinliği 2 mm kalınlığındaki kauçuk katmanlarda test edilmiştir (Nie ve ark., 2018). Bir diğer çalışma olarak üretilen grafen nanokompozitler X-bandında – 30 dB ekranlama etkisi değeri göstermiştir (Santhosi ve ark., 2020). Bir diğer analizde, örneğin, maksimum elektromanyetik ekranlama etkisi, ağırlıkça % 0.25 MWCNT kompozitleri için 1.6 GHz'de -39 dB olarak hesaplanmıştır (Chung, 2000). Ayrıca elektrik ark ocaklarından çıkan cüruf agregra içeren betonun radyasyon kalkanı etkinliği incelenmiştir (Lim ve ark., 2019).

Bu araştırmada, ilk defa zeolit:kırpılmış elyaf kompoziti optimum parametrelere göre farklı oranlarda hazırlanarak ekranlama etkinliği değerleri için test edildi. Epoksi kullanılarak çeşitli oranlarda yeni zeolit: kırpılmış elyaf kompozitleri üretilmiş ve sıcak presleme ile farklı oranlarda Zeolit:kırpılmış elyaf kompoziti oluşturulmuştur. Kompozit bileşenlerinin fazlarının belirlenmesinde XRD (Bruker / Alpha -T) cihazı kullanılmıştır. 10 MHz – 40 GHz frekans aralığında ölçüm yapabilen ağ analizör (NA) cihazı ile (N 5230 A PNA seri marka-Agilent Teknoloji) zeolit:kırpılmış elyaf kompozitlerin belirli radar frekans bantları dahil olmak üzere özellikle X ile Ku bandı arasındaki (8-12 GHz) radar frekans bandı hedeflenerek geniş frekans bant aralığında (6.5-17.5 GHz) mikrodalga ekranlama etkinliği ölçülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Zeolitin Hazırlanışı

Doğal zeolit (klinoptilolit) tozları ve kırpılmış elyaflar, karışık oksit tekniği kullanılarak bileşik olarak elde edilmiştir. Ticari bir ürün olarak satın alınabilen doğal zeolit tozları Manisa Gördes havzasından birçok firma tarafından üretilmekte ve satışa sunulmaktadır. Ticari bir ürün olarak satın alınabilen doğal zeolit en küçük 36 µm partikül büyüklüğüne ve % 95 saflık oranına sahiptir.

Kırpılmış elyaflar sürekli cam fiberlerden kesilerek 6 mm uzunlukta birleştirmenin zorluklarına dayanacak şekilde tasarlanarak bir çok firma tarafından yığın yoğunluğu 635 kg/ m³ olacak şekilde üretilerek satışa sunulmaktadır.

Doğal zeolit tozları buharlaşma kayıplarını önlemek için tamamen kapalı alümina pota içinde 600 °C'de 4 saat kalsine edildiler, kalsinasyon öncesi ve sonrası numuneler tartılarak kontrol edildi. Kalsine tozlar akik havanda öğütüldükten sonra 2 MPa basınçlı tek eksenli pres kullanılarak sadece 10 mm çapında ve 1-2 mm kalınlığında pelet haline getirildi. Doğal zeolit tozları 600 °C'de kalsine edildi ve mühürlü bir potaya monte edildikten sonra, peletler, uçucu türlerin kaybını azaltmak için 1050 °C'de 4 saat boyunca 300 °C/saat ısıtma ve soğutma hızında sinterlendi. Sinterlenmiş numunelerdeki fazlar, 2θ:10 – 70° aralığında Cu-Kα radyasyonlu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ve 1°/ dakika tarama hızında XRD (X-ışını difraktometrisi - D2 Phaser Bruker AXS) ile karakterize edilmiştir. X-ışını toz difraktometrisi kullanılarak ana yapının (zeolit) yapısını bozmadan tanımlanan çözünürlük limiti belirlendi. Zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği ölçümleri, agilent teknoloji firmasının PNA Serili NA cihazı ile 6.5-17.5 GHz frekans aralığında yapılmıştır.

2.2. Zeolit/Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Hazırlanışı

Bir akik havanda ezilerek toz haline getirildikten sonra, kırpılmış elyaflar sinterlenmiş doğal zeolit tozları ile stokiyometrik oranlarda karıştırılmıştır. Tozlar, 20 saat boyunca sırasıyla (kırpılmış elyaf-sinterlenmiş zeolit) kompozisyonuna göre ağırlıkça % 80-20 ve % 60-40 olacak şekilde ayarlanarak bir plastik kap içinde zirkonya bileyeler ile etanol içinde dönmeli değirmende karıştırıldı.

Daha sonra bulamaçlar 20 saat boyunca 100 °C'de etüvde bekletilerek kurutulmuştur. Elde edilen bu karışım tozları deiyonize su ve etanol ile yıkanarak ve süzülerek 24 saat boyunca 60 °C'de vakum altında bekletildi. Kırpılmış elyaf: zeolit kompozitler sıcak preslenme öncesi elde edildi, daha sonra çeşitli molar oranlara sahip bu kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin özellikleri araştırıldı.

Farklı oranlarda [kırpılmış elyaf-zeolit (ağırlıkça %80-20), kırpılmış elyaf-zeolit (ağırlıkça %60-40)] alınan kırpılmış elyaf: zeolit kompozitleri, elektromanyetik korumanın nasıl sağlandığını görmek ve özellikle kırpılmış elyaf bileşeninin elektromanyetik ekranlama etkinliğini nasıl etki yaptığını belirlemek için de üretildi. Yeni kompozitler, kırpılmış elyaf ve sinterlenmiş zeolit tozu kullanılarak oluşturulmuştur. Çeşitli oranlarda kırpılmış elyaf: zeolit kompoziti oluşturmak için sıcaklıklı hidrolik pres cihazı kullanılmıştır.

2.3. Epoksi-(Kırpılmış Elyaf/Zeolit) Kompozitlerin Hazırlanışı

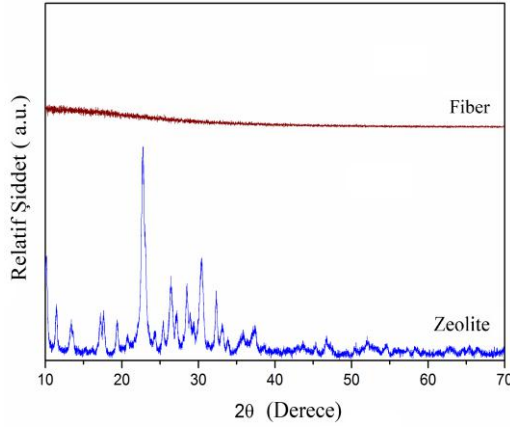
Kırpılmış elyaf: zeolit bileşimi ve epoksi karışımı kalıplanarak ve kürlenerek kompozit malzemeler hazır hale getirilmiştir. Bileşim numune tozunun epoksiye karışım oranı ağırlıkça 5:1 alınmıştır. Kalıplama sıcaklıklı hidrolik preste 5 MPa basınçta ve 150 °C'de 1 saat süre bekletilerek yapılmıştır. Ekranlama etkinliği ölçümleri için 20 mm çapında ve 1.5 mm kalınlığında peletler yapılmıştır. Belirli oranlarda alınan kırpılmış elyaf: zeolit kompozitler, geniş bant frekans aralığında mikrodalga ekranlama etkinliği ölçüm testleri için epoksi tozu kullanılarak üretilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Zeolit/Kırpılmış Elyaf XRD Analizi

Zeolit:kırpılmış elyafların yapısal analizi için XRD spektroskopisi yapıldı. XRD cihazı kullanılarak 1050 °C'de 4 saat sinterlenen numunedeki fazın tek fazlı zeolit yapısı olduğu karakterize edilmiştir (Şekil 1). Oksitlerin karışımı sentezi ile Zeolit'in tek fazlı oluşumu uygun kalsinasyon sıcaklığında olası ara fazların ortadan kaldırılması ve sinterleme ile sağlandı. XRD paternlerinin tespitinde de görüldüğü gibi ana faz zeolit (Şekil 1.) (PDF Kart No:00-017-0756) olarak belirlenmiştir.

XRD analizi, zeolit yapısında ikincil faz olmadığını göstermiştir. Numunelerin kırınım pikleri zeolit ile uyumlu ve faz yapıları tek fazlı zeolit fazı olarak kaldı. Ayrıca, zeolit sentezi sıcaklığa bağlıdır ve bazen tek fazlı zeolit üretmek için yüksek sıcaklıklar kullanılır.



Şekil 1. Zeolit ve kırılmış elyaf için XRD paterni (4 saat boyunca 1050°C 'de sinterlenmiş tek fazlı zeolit)

(Figure 1. X-ray powder diffraction patterns for zeolite and chopped strands (single phase sintered zeolite for 4 h at 1050 °C))

3.2. Zeolit/Kırılmış Elyaf Kompozitlerin EMI Ekranlama Etkinliği Ölçümleri

Şekil 2, 6.5-17.5 GHz geniş frekans aralığında, epoksi-zeolit:kırılmış elyaf kompozitlerinin ekranlama etkinliğinin frekans bağımlılığını göstermektedir.

Ekranlama etkinliği yani SE (shielding effect) ölçümleri için N 5230A PNA serisi Network analizör cihazı kullanıldı.

Malzemeye gelen elektromanyetik dalganın ne kadarının emildiği veya ne kadarının geri yansıdığı da bu cihaz ile ölçülebilir ancak biz malzemeye gelen elektromanyetik dalganın ne kadarının malzemeden geçtiğine bakmaktayız.

X-band radarların frekans aralığı 8-12 GHz olup, sinyalleri 8-12 GHz aralığında oluşan sinyallerdir. Bu radar sinyallerinin de kompozit malzemeden ne kadarının geçtiği test edilmiştir (Şahin, 2022).

Numune kalınlığı kritik bir boyuttur. SE ölçümlerinin en iyi tekrarlanabilirliği için referans numune alanı ve yük numunesi kalınlık olarak aynıydı, kompozitlerin ölçülen SE değerleri geometri ve oryantasyona bağlıdır. Ekranlama etkisinin performans değeri, gelen elektromanyetik dalganın kompozit malzemeden ne kadar geçtiğine bağlıdır.

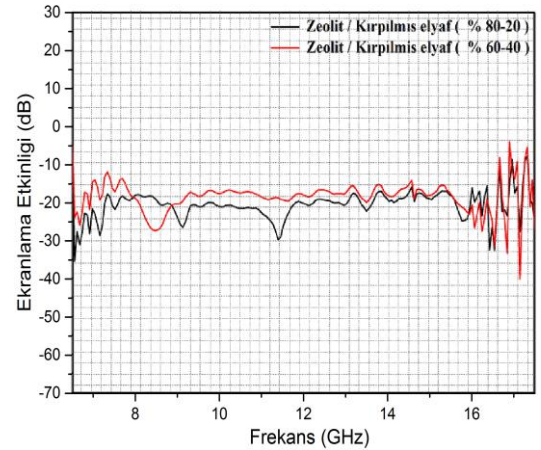
Zeolit: kırılmış elyaf kompozitleri arasında, zeolit/kırılmış elyafın (ağırlıkça %80-20) olanının mikrodalga ekranlama yetenekleri, zeolit/kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40) daha üstündü. Zeolit/kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40'ta) kompoziti en düşük 17.17 GHz frekansında -40.52 dB'ye ulaştı. Bu kompozit malzeme sırasıyla 6.67 GHz, 8.48 GHz, 16.55 GHz, 16.85 GHz, 17.17 GHz, 17.41 GHz frekanslarında -26.18 dB, -27.74 dB, -31.77 dB, -33.35 dB, -40.29 dB, -21.03 dB ekranlama etkinliği değerlerine ulaştı. Ayrıca 6.5 GHz'den 16.65 GHz'e kadar olan geniş frekans aralığında -10 dB'den daha az bir ekranlama etkisi elde etti. Ek olarak, bu kompozit malzeme 6.53 ve 6.74 GHz, 8.06 ve 9.04 GHz, 15.7 ve 16.17 GHz frekans aralıklarında -20 dB'den daha az bir ekranlama etkinliği değeri gösterdi.

Kompozit bileşenlerinden zeolit miktarı arttığında ve kırılmış elyaf miktarı düştüğünde, Zeolit/Kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20'de) kompozitleri sırasıya 6.54 GHz, 7.14 GHz, 9.11 GHz, 11.39 GHz, 13.51 GHz, 15.78 GHz, 16.43 GHz, e-ISSN: 2148-2683

16.56 GHz, 16.86 GHz, 17.15 GHz tek bantlarında -35.37 dB, -28.88 dB, -26.62 dB, -29.99 dB, -22.38 dB, -24.84 dB, -32.45 dB, -32.45 dB, -23.49 dB, -27.53 dB ekranlama etkisi değerlerine ulaştı. Bu kompozit malzeme 0 ve 16.92 GHz geniş frekans aralığında ayrıca 16.99 ve 17.26 GHz frekans aralığında -10 dB 'den daha az bir ekranlama etkinliği elde etti. Ayrıca 8.52 ve 9.66 GHz, 9.87 ve 11.77 GHz, 15.63 ve 15.98 GHz, 16.41 ve 16.61 GHz frekans aralıklarında -20 dB'den daha düşük ekranlama etkinliği kabiliyetine sahiptir.

EMI ekranlama, malzeme içindeki iç yansımaları temsil eden çoklu yansıma etkisinden etkilenir ve çoğunlukla malzemede çok sayıda ve geniş yüzey alanları veya arayüzey alanları olduğunda ortaya çıkar. Gözenekli yapıya sahip bu kompozit malzemeler, muhtemelen geniş bir özgü yüzey alanına ve çok sayıda iç tane sınırına sahiptir. Bu özellikler dalga perdeleme (ekranlama) etkinliğini artırır.

Mikrodalga ekranlama etkinliği performansı aynı zamanda malzemenin yüzeyindeki ışınlanmanın empedansının eşleşmesine de bağlıdır. Kırılmış elyaflar, kompozitin bileşenleri arasındaki iletimlerde eşleşen empedansı iyileştirir. Empedans uyumunu sağlamak için kırılmış elyaflar kullanılmıştır. Bu arada, tutucu geometrisinin ve yansımanın rezonans etkisi nedeniyle keskin ekranlama etkisi zirveleri ortaya çıkmıştır.



Şekil 2. (Zeolit/kırılmış elyaf)-epoksi kompozitlerin ekranlama etkinliği: zeolit-kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20) kompozitler, zeolit-kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40) kompozitler

(Figure 2. Shielding effect of the epoxy-(zeolite/chopped strands) composites: zeolite-chopped strands (at 80-20 wt. %) compositions, zeolite-chopped strands (at 60-40 wt. %) compositions)

Kırılmış elyaf temelli zeolit kompozitleri, geniş frekans aralığı bölgesinde belirli radar çalışma frekans aralığı bölgelerinde elektromanyetik dalgalar için güçlü bir ekranlama (kalkanlama) etkinliği oranına sahiptir ve yeni kompozitlerin mikrodalga perdeleme etkisi, bu teknolojiye kırılmış elyaf ve zeolit konsantrasyonu değiştirilerek ayarlanabilir. Kırılmış elyafların konsantrasyonu kompozit yapı üzerinde bir etkiye sahiptir ve malzemenin geçirgenliği, ekranlama verimliliğine katkıda bulunan kıyılmış şeritlerden etkilenmektedir.

Yeni zeolit: kırılmış elyaf bileşimleri kompozit halinde üretildi, bu kompozitlerin mikrodalga elektromanyetik dalgalar için geniş frekans aralığı bölgesinde yüksek perdeleme, ekranlama etki oranına sahip olduğu anlaşılmıştır.

4. Sonuç

Zeolit: kırılmış elyaf tozları (sırasıyla ağırlıkça % 80-20 ve ağırlıkça %60-40'de) oksitlerin karışımı tekniği uygulanarak üretilmiştir. Bu, bildiğimiz zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerin geniş frekans aralığındaki ilk ekranlama etkinliği ölçümü çalışmasıdır.

Zeolit ve kırılmış elyaf toz konsantrasyonunun gerekli frekans aralıkları için numuneler üzerindeki etkisinin kontrol edilebilmesi, mikrodalga ekranlama yeteneklerinin kolay ayarlanmasını sağlar.

Basit ve düşük maliyetli düzenleme teknikleri ve geliştirilmiş kalkanlama veya ekranlama etkinliği performansı nedeniyle, zeolit: kırılmış elyaf kompozit malzemeleri, mikrodalga ekranlama etkisi sonuçları ile umut vericidir. Kırılmış elyaflar ve zeolit mikrodalga ekranlama etkinliği verimliliğini artırmak için, kompozit olarak kullanılmıştır.

Ekranlama etkinliği karakteri, 17.17 GHz'de ve 1.5 mm kalınlıkta minimum -40.52 dB SE'ye sahip zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40' ta)-epoksi bileşimi ile oluşturulmuştur.

Zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği özellikleri, kırılmış elyafların miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20'de) bileşimi, -20 dB'nin altında 4 farklı yani 8.52 ve 9.66 GHz, 9.87 ve 11.77 GHz, 15.63 ve 15.98 GHz, 16.41 ve 16.61 GHz frekans aralıklarında daha yüksek bir ekranlama etkisi değerine sahiptir.

İkinci en iyi koruma etkinliği aralığı, 6.53 GHz ve 6.74 GHz, 8.06 GHz ve 9.04 GHz, 15.7 GHz ve 16.17 GHz arasındaki frekanslarda -20 dB'nin altında olan zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça yüzde 60-40'de) bileşimleri tarafından sağlanır. Bu kompozit bileşimi, 6.5 GHz ile 16.65 GHz geniş frekans aralığında -10 dB'den daha az bir ekranlama etkinliği değerine sahiptir.

-10 dB altında en geniş frekans aralığı performansını 6.5 ve 16.92 GHz, 16.99 ve 17.26 GHz aralıklarında zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça yüzde 80-20'de) bileşimleri ile sağlanmıştır.

Doğrulama deneyleri, kompozitlerin gigahertz frekans seviyesinde sinyallerin geçmesini önleyen koruyucu malzemeler gibi davranma potansiyelini göstermiştir. Öte yandan, frekans spektrumlarını içeren perdeleme etkisi dağılım analizleri, kompozitlerin gigahertz ve mikrodalga uygulamaları için uygun olduğunu göstermiştir.

Zeolit: kırılmış elyaf kompoziti ilk defa bu özellikle ekranlama etkinliği performansını ölçmek için oluşturulmuştur. Zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerinin kalkanlama etkinliği yetenekleri, daha geniş bir konsantrasyon aralığı için araştırılabilir.

Zeolit: kırılmış elyaf kompoziti, geniş bir frekans aralığında mikrodalga ekranlama etkinliği için bir aday olabilir. Gelecekteki araştırmalar için, zeolit: kırılmış elyaf kompoziti çok detaylı bir şekilde analiz edilebilir.

Mevcut kırılmış elyafların miktarı, ekranlama koruyucu etkinlik nitelikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İlk defa, bu tür bir kompozit sadece bu uygulama için oluşturuldu.

Gelecekteki araştırmalar için, zeolit: kırılmış elyaf kompozit bileşimi, farklı katkı malzemeleri ve oranlar ile daha

derinlemesine araştırılabilir. Mikrodalga ekranlama etkisini iyileştirmek için, zeolit: kırılmış elyaf kompoziti kullanılmaktadır. Belirli radar frekans bantları ve daha yüksek frekans aralıklarında, bu kompozitin çeşitli katkı malzemeleri ile ekranlama etkinliği ve yansıma kaybı araştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, aramızdan ayrılan yardımcıları sonsuz olan Salim Şahin, Emsal Şahin ve Prof. Dr. Ayhan Mergen anısına ithaftir.

Kaynakça

- Abbasi, H., Antunes, M., Velasco, J.I. (2019). Recent advances in carbon-based polymer nanocomposites for electromagnetic interference shielding. *Progress in Materials Science*, 103, 319-373.
- Al-Saleh, M.H. (2015). Influence of conductive network structure on the EMI shielding and electrical percolation of carbon nanotube/polymer nanocomposites. *Synthetic Metals*, 205, 78-84.
- Alswat, A.A., Ahmad, M.B., Hussein, M.Z., Ibrahim, N.A., Saleh, T.A. (2017). Copper oxide nanoparticles-loaded zeolite and its characteristics and antibacterial activities. *Journal of Materials Science & Technology*, 33(8), 889-896.
- Avadhanam, V., Thanasamy, D., Mathad, J.K., Tumuki, P., (2018). Single walled carbon nano tube-polyaniline core-shell/polyurethane polymer composite for electromagnetic interference shielding. *Polymer Composites*, 39, 4104-4114.
- Cao, D., Pan, L., Li, H., Li, J., Wang, X., Cheng, X., Wang, Z., Wang, J., Liu, Q. A. (2016). Facile strategy for synthesis of spinel ferrite nano-granules and their potential applications. *RSC Advances*, 71, 66795 – 66802.
- Chen, Z., Yi, D., Shen, B., Zhang, L., Ma, X., Pang, Y., Liu, L., Wei, X., Zheng, W. (2018). Semi-transparent biomass-derived macroscopic carbon grids for efficient and tunable electromagnetic shielding. *Carbon*, 139, 271-278.
- Chen, Z., Xu, C., Ma, C., Ren, W., Cheng, H-M. (2013). Lightweight and flexible graphene foam composites for high-performance electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials*, 25(9), 1296-1300.
- Chung, D.D.L. (2001). Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon*, 39, 279-285.
- Chung, D.D.L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9, 350-354.
- Gupta, N., Lin, T-C. and Shapiro, M.D. (2007). Clay-epoxy nanocomposites: processing and properties. *Nanocomposite Materials*, 59, 61-65.
- Ibrahim, J.E.F.M., Gömze, L.A., Koncz-Horvath, D., Filep, A., Kocserha, I. (2022). Preparation, characterization, and physicomechanical properties of glass-ceramic foams based on alkali-activation and sintering of zeolite-poor rock and eggshell. *Ceramics International*, 39, 1-13.
- Ibrahim, J. E. F. M., Tihtih, M., Kurovics, E., Şahin, E.I., Gömze, L. A., Kocserha, I. (2022). Glass-ceramic foams produced from zeolite-poor rock (Tokaj). *Pollack Periodica*, 18, 2-21.
- Jia, X., Shen, B., Chen, Z., Zhang, L., Zheng, W. (2019). High-performance carbonized waste corrugated boards reinforced with epoxy coating as lightweight structured

- electromagnetic shields. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(22), 18718-18725.
- Koohsaryan, E., Anbia, M. (2016). Nanosized and hierarchical zeolites: a short review. *Chinese Journal of Catalysis*, 37, 447-467.
- Kargar, F., Barani, Z., Balinskiy, M., Magana, A.S., Lewis, J.S., Balandin, A.A. (2019). Dual-functional graphene composites for electromagnetic shielding and thermal management. *Advanced Electronic Materials*, 5(1), 1800558.
- Lim, H.S., Lee, H.S. and Kwon, S.J. (2019). Mechanical properties and radiation shielding performance in concrete with electric arc furnace oxidizing slag aggregate. *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(4), 363-371.
- Liu, J., Zhang, H.B., Sun, R., Liu, Y., Liu, Z., Zhou, A., Yu, Z.Z. (2017) Hydrophobic, flexible, and lightweight MXene foams for high-performance electromagnetic-interference shielding. *Advanced Materials*, 29(38), 1702367.
- Mondal, S., Das, P., Ganguly, S., Ravindren, R., Remanan, S., Bhawal, P., Das, T.K., Das, N.C. (2018). Thermal-air ageing treatment on mechanical, electrical, and electromagnetic interference shielding properties of lightweight carbon nanotube based polymer nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 107, 447-460.
- Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., Das, N.C. (2017). Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 119, 41-56.
- Nie, J., Wang, G., Hou, D., Guo, F., Han, Y. (2018). The preparation and research on the electromagnetic shielding effectiveness of T-ZnO@Ag/Silicone rubber composites. *Materials Science (Medziagotyra)*, 26(2), 205-209.
- Pan, H., Yin, X., Xue, J., Cheng, L. and Zhang, L. (2017). Microstructures and EMI shielding properties of composite ceramics reinforced with carbon nanowires and nanowires-nanotubes hybrid. *Ceramics International*, 43, 12221-12231.
- Qasrawi, A.F., Hamarshah, Areen. A. (2022). Structural, optical and electrical properties of band-aligned CdBr₂/Au/ Ga₂S₃ interfaces and their application as band filters suitable for 5G technologies. *Journal of Electronic Materials*, 51, 3693-3704.
- Sahin, E.I. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb₂O₆- chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62, 127-136.
- Sahin, E. I., Emek, M. (2021). Electromagnetic shielding effectiveness of wollastonite/PANI/colemanite composites. *European Journal of Science and Technology*, 21, 83-89.
- Sahin, E.İ., Emek, M., Ertuğ, B., Kartal, M. (2020). Electromagnetic shielding performances of Colemanite/PANI/SiO₂ composites. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 34-42.
- Santhosi, B.V. S. R. N., Ramji, K., Rao, N.B.R.M.(2020). Design and development of polymeric nanocomposite reinforced with graphene for effective EMI shielding in X-band, *Physica B: Condensed Matter* 586, 1-9.
- Shahzad, F., Alhabeab, M., Hatter, C.B., Anasori, B., Hong, S.M., Koo, C.M., Gogotsi, Y. (2016). Electromagnetic interference shielding with 2D transition metal carbides (MXenes). *Science*, 353(6304), 1137-1140.
- Shayed, M. A., Cherif, Ch., Hund, R. D., Cheng, T. (2010). Carbon and glass fibers modified by polysilazane based thermal resistant coating. *Textile Research Journal*, 80(11), 1118 – 1128.
- Singh, B.P., Choudhary, V., Saini, P., Mathur, R.B. (2012). Designing of epoxy composites reinforced with carbon nanotubes grown carbon fiber fabric for improved electromagnetic interference shielding. *AIP Advances*, 2(022151), 1-7.
- Snelders, D.J.M., Mackenzie, F.O.V., Boersma, A., Peeters, R.H.M. (2016). Zeolites as coating materials for fiber bragg grating chemical sensors for extreme conditions. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 235, 698-706.
- Tibbetts, G. G., Lake, M. L., Strong, K. L. and Rice, B. P. (2007). A review of the fabrication and properties of vapor-grown carbon nanofiber/polymer composites. *Composites Science and Technology*, 67, 1709-1718.
- Ting, T. H., Yu, R.P., Jau, Y.N. (2011). Synthesis and microwave absorption characteristics of polyaniline/NiZn ferrite composites in 2-40 GHz. *Materials Chemistry and Physics*, 126, 364-36.
- Xiangcheng, L., Chung D.D.L. (1999). Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber carbon-matrix and polymer-matrix composites. *Composites Part B: Engineering*, 30, 227-231.
- Yan, D.X., Pang, H., Li, B., Vajtai, R., Xu, L., Ren, P.G., Wang, J.H., Li, Z.M. (2014). Structured reduced graphene oxide/polymer composites for ultra-efficient electromagnetic interference shielding. *Advanced Functional Materials*, 25(4), 559-566.
- Yin X., Jin, J., Chen, X., Rosenkranz, A., Luo, J. (2019). Ultra-wear-resistant MXene-based composite coating via in situ formed nanostructured tribofilm. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(35), 32569-32576.
- Yousefi, N., Sun, X., Lin, X., Shen, X., Jia, J., Zhang, B., Tang, B., Chan, M., Kim, J.K. (2014). Highly aligned graphene/polymer nanocomposites with excellent dielectric properties for high-performance electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials*, 26(31), 5480-5487.
- Yuan, Y., Liyang, L., Yang, M., Zhang, T., Xu, F., Lin, Z., Ding, Y., Wang, C., Li, J., Yin, W., Peng, Q., He, X. and Li, Y. (2017). Lightweight, thermally insulating and stiff carbon honeycomb-induced graphene composite foams with a horizontal laminated structure for electromagnetic interference shielding. *Carbon*, 123, 223-232.
- Zhang, H.B., Yan, Q., Zheng, W.G., He, Z., Yu, Z.Z. (2011). Tough graphene polymer microcellular foams for electromagnetic interference shielding. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(3), 918-924.
- Zhang, X., Rao, Y., Guo, J., Qin, G. (2016). Multiple-phase carbon-coated FeSn₂/Sn nanocomposites for high-frequency microwave absorption. *Carbon*, 96, 972-979.
- Zhang, Y., Fang, X.X., Wen, B.Y. (2015). Asymmetric Ni/PVC films for high-performance electromagnetic interference shielding. *Chinese Journal of Polymer Science*, 33(6), 899-907.
- Zhao, F. M., Takeda, N. (2000). Effect of interfacial adhesion and statistical fiber strength on tensile strength of unidirectional glass fiber/epoxy composites part I: experiment results. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31, 1203-1214.



Tuzluluk Stresinin Kırık Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşidinin Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri

Elif Bayat¹, Hasan Koşunkartay², Selçuk Kodaz^{3*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0727-1148), Elifbayatt@gmail.com

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0603-8478), hasan.k@atauni.edu.tr

^{3*} Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4599-3574), selcuk.kodaz@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1188665)

ATIF/REFERENCE: Bayat, E., Koşunkartay, H., & Kodaz, S. (2022). Tuzluluk Stresinin Kırık Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşidinin Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (41), 246-251.

Öz

Bu çalışma, tuzluluğun ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tohumluk laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak Kırık ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme planına göre 5 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Tohumlar plastik kutular içerisinde 4 farklı NaCl çözeltisinde (0, 50, 100 ve 150 mM) çimlenmeye alınmıştır. Çalışmada incelenen parametrelerden uygulamalar arası farklar çimlenme hızı önemsiz, ortalama çimlenme hızında önemli, incelenen diğer parametrelerde ise çok önemli olmuştur.

Tuz iyonlarının bitki hücrelerinin üzerinde toksit etkisi bulunmaktadır. Genel anlamda tüm verilerde tuz konsantrasyonu arttıkça çimlenme verilerinde düşüş gözlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre Kırık buğday çeşidinin tuza hassas olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırık, Tuzluluk, Çimlenme.

The Effect of Salinity Stress on Germination Parameters of Kırık Bread Wheat Variety (*Triticum aestivum* L.)

Abstract

This study was carried out in Atatürk University Faculty of Agriculture Seed Laboratory to determine the effects of salinity on germination parameters of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). In this study, Kırık bread wheat variety was used as plant material. Experiment was carried out as complete randomized design (CRD) with 5 replications. The seeds were germinated in 4 different NaCl solutions (0, 50, 100 and 150 mM) in plastic boxes. The differences among applications from the examined characteristics were insignificant in germination rate and, important in average germination rate, and highly significant in terms of the other parameters examined.

Salt ions have a toxic effect on plant cells. Generally, as salt concentrations were increased, all germination parameters were decreased. According to our results, Kırık bread wheat variety was determined as sensitive genotype to salt stress.

Keywords: Kırık, Salinity, Germination.

* Sorumlu Yazar: selcuk.kodaz@atauni.edu.tr

1. Giriş

Buğday, insan beslenmesindeki en temel besinlerin hammaddesi olması sebebiyle diğer tarımsal ürünlere göre daha fazla öneme sahiptir. Kalori ve protein ihtiyacının karşılanmasında kullanılan buğday dünyada olduğu gibi ülkemizde de stratejik bir üründür.

Buğday üretimi, kuraklık, tuzluluk, su birikintisi ve aşırı sıcaklıklar gibi çevresel koşullarla sınırlıdır. Dünya çapında ürün verimini kuraklık stresinden sonra tuzluluk stresi etkilemektedir. Dünyadaki toplam toprak alanının %7'si tuz stresinden etkilenmekte olup, bilinçsiz sulama nedeniyle tuzlu toprakların varlığı artmaktadır (Aycan, 2018).

Türkiye topraklarının önemli problemlerinden biri olan tuzluluk son yıllarda hızla gelişen sulama sisteminin drenaj sorunu nedeniyle her geçen gün biraz daha artmaktadır. Türkiye de toplam olarak 28 milyon da alanın 15 milyon da'ında tuzluluk problemi görülmektedir. Bu da sulanan arazilerin %31'ne denk gelmektedir (Kanber ve ark., 2005).

Dünyada ise 800 milyon ha alanda tuzluluk problemi görülmektedir. Bunun nedenlerinden bazıları gereksiz arazi sulaması ve yetersiz drenaj sistemlerinin olmasıdır. Tuzluluk sorununun ortaya çıkması bitkiler üzerinde olumsuz etkilere sahip olur ve bitki yetiştiriciliğini sınırlamaktadır. Bitkiler üzerindeki etkisi sonucunda çimlenmede gecikme ve azalma, büyüme hızında azalma, yaprakların sayısında ve büyüklüğünde azalma ve kardeşlenme sayısında azalma görülmektedir. Ayrıca bitkilerin generatif ve vejetatif döneminin aksamasına sebep olur (Munns ve Tester, 2008; Atak, 2014).

Yüksek tuz konsantrasyonları bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerinde farklı etkiler ortaya çıkarmaktadır. Fazla tuzlu topraklarda bitkilerin kök sistemi tarafından emilen suyun bitkinin metabolizmasını yavaşlatarak emilimi zorlaştırır. Tuz iyonlarının bitki hücrelerinin üzerinde toksit etkisi bulunmaktadır. Bitkilerin tuza tolerans indeksleri hem genotipler hem de tuz konsantrasyonları açısından farklılık gösterir.

İnsan beslenmesi açısından buğday önemli bir kültür bitkisidir. Açlık sorununu çözmek için konumu oldukça önemlidir (Boyraz, 2013). FAO verilerine göre 2020 yılında dünyada toplam tahıl üretiminin %25'i buğdaydır. Türkiye'de en fazla üretilen tahıl cinsi buğdaydır (Anonim, 2022). 2021 yılında dünya üretiminin yaklaşık %2'sine karşılık gelen 14,5 milyon ton buğday üretilmiştir. TÜİK verilerine göre ortalama 55 milyon da alanda buğday üretimi yapılmaktadır (Anonim, 2022). Türkiye ekonomisinin büyük bir kısmını taşıyan buğday ekmek ve makarna, bisküvi ve bulgur sanayisi açısından temel ham madde kaynağıdır. Bu da buğdayın önemini bize göstermektedir (Keren ve Bingham, 1985; Marschner, 1995; Chapman ve ark., 1997).

Bitkinin büyüme ve gelişmesinde olumsuzluklara sebep olan ve buna bağlı olarak verimi azaltan biyotik ve abiyotik etmenler stres olarak adlandırılabilir (Kuşvuran 2010). Bir habitat içerisinde bitkileri etkileyen pek çok stres kaynağı vardır. Bunlar içerisinde fiziksel stres kaynakları olarak kuraklık, sıcaklık (yüksek ve düşük sıcaklık), radyasyon, tuzluluk, sel vs., kimyasal stres kaynakları olarak da pestisitler, ağır metaller, allelokimyasallar, hava kirliliği, toksinler vs., biyolojik stres olarak ise allelopati rekabet, böcek, bitki hastalıkları ile hayvanlar ve insan tahripleri olabilir. Eğer bitkiler herhangi bir

stres kaynağına sahip değilse bu durumda stresten söz edilmez. Bitkiler üzerinde stresin dereceleri çok geniş sınırlar içinde yer almaktadır. Stresin sıfırdan, fazla ve az strese kadar çok çeşitli dereceleri vardır. Stresin dereceleri bitkilerin türlerine göre değişim göstermektedir. Yani bir bitkide strese sebep olan bir etken, diğer bir bitkide olumlu sonuçlar ortaya çıkarabilir. Stresin derecesi bitki sistemlerindeki metabolik olayların değişimine de neden olabilir. Bitkinin bütünü veya bir kısmı (tohumlar, dormant tomurcuklar gibi) bazı şartlarda strese karşı dirençli olabilirken, bazı kısımları (meristem dokular ve genç fideler gibi) ise strese daha hassas olabilir. (Salisbury ve Ross,1992; Hale ve Orcutt 1987).

Tuzluluk bitkiler için büyük bir sorundur. Toprakta ve sularda bulunan bazı çözülmüş mineral maddelerin fazla ve yoğun olmasından kaynaklanır. Su ve toprak tuzluluğunun artmasıyla toprak suyunun yarıyışlılığı, büyüme, çimlenme ve verimde düşüşe neden olmaktadır. Fotosentez yapan dokularda tuzluluğun artması, grana zarlarında yığılmaya, pigment sistemlerinde (PSII gibi) ve klorofillerde parçalanmaya neden olmaktadır (Ashraf ve Harris 2004). Ayrıca tuz stresi, baklagillerde nodül oluşumu ve nitrat redüktaz aktivitesini azaltmaktadır. (Wahab ve Zahran 1981). Bitkiler, tuzlu koşullarda yaşamlarını sürdürebilmek için farklı biyokimyasal, fiziksel ve moleküler mekanizmaları sahiptirler (Gupta ve Huang 2014). Çoğu bitkide tuz stresi koşullarında glikoz, glisin-betain ve prolin gibi metabolitlerin miktarlarında önemli artışlar görülmektedir (Mahajan ve Tuteja 2005). Glisin, prolin ve betain ve birçok organizma bitkilerde ozmotik dengeyi düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadırlar (Banu ve ark., 2009). Topraklar, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında miktarı giderek artan tuzun bitki metabolizmasına etkilerinin olduğunu bilinmektedir. Tuz stresi bitkilerde aşırı miktarda biriken Na⁺, K⁺ 'un alımının engellemesine sebep olmaktadır (Siegel ve ark., 1980) ve Cl⁻ ise özellikle NO₃⁻ alımı üzerine olumsuz etki yapar (Kirkby and Knight, 1977; Gunes ve ark., 1994; İnal ve ark., 1995) ve sonuçta bitkilerde iyon dengesizliğine yol açmaktadır (Levitt, 1980). Bitkilerde çok fazla Na⁺ bulunması; protein sentezini ve enzim aktivitesini engelleyerek toksik bir etki oluşturur (Hajrasullaha, 1980). Tuzun bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için bitkilerde direnç mekanizmasının iyi tespit edilmesi ve bu mekanizmanın çalışmasına yardımcı uygulamaların yapılmasına dikkat edilmelidir.

Bu çalışmamızda, tuz stresinin buğday bitkisinin çimlenme dönemindeki olası etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekrarlı olarak Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tohumluk Laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak Kırık ekmeçlik buğday çeşidinin tohumları kullanılmıştır. Tohumlar musluk suyunda yıkandıktan sonra %70'lik etil alkolde (EtOH) 3 dakika karıştırılarak steril kabin içerisinde 3 defa steril deiyonize suyla yıkanmış ve birkaç damla Tween 20 (Sigma) içeren %20'lik sodyum hipokloritte 15 dakika karıştırılmıştır. NaCl kullanılarak hazırlanan 0 (kontrol), 50, 100 ve 150 mM dozlarındaki çözeltiyle nemlendirilmiş çimlendirme kaplarına 20'şer adet tohum yerleştirilmiştir. Çimlendirme kapları 25 °C'de 14 gün boyunca bekletilmiştir. Çimlenen tohum sayısı günlük olarak

kaydedilmiştir. Kökçük uzunluğu 2 mm olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir.

2.1. Veri Toplama Araçları ve Süreçleri

Çimlenme oranı (%): Çimlendirme ortamına yerleştirilen tohumlar 14 gün boyunca sayılarak çimlenme oranı belirlenmiştir. (AOSA, 1983).

Çimlenme oranı = (Çimlenen toplam tohum sayısı / toplam tohum sayısı) x 100

Çimlenme hızı (%): Çimlenme hızı aşağıdaki formülle belirlenmiştir. Formüldeki t1, ..., t4 çimlenmenin gerçekleştiği gün sayısını; (n1, ... n4) ise 4. güne kadar günlük çimlenen tohum sayısını ifade etmektedir (Elkoca, 1997).

$$\text{Çimlenme hızı} = n1/t1 + n2/t2 + \dots + nn/tn$$

Çimlenme gücü (%): Çimlenme gücü aşağıdaki formülle belirlenmiştir. Formüldeki t1, ..., t8 çimlenmenin gerçekleştiği gün sayısını; (n1, ... n8) ise 8. güne kadar günlük çimlenen tohum sayısını ifade etmektedir (Elkoca, 1997).

$$\text{Çimlenme gücü} = n1/t1 + n2/t2 + \dots + nn/tn$$

Ortalama çimlenme zamanı (OÇZ): Ortalama çimlenme zamanı aşağıdaki formülle belirlenmiştir. Formüldeki f, sayım günündeki çimlenen tohum sayısını; x, sayım yapılan gün sayısını ifade etmektedir (Moradi Dezfuli ve ark., 2008).

$$\text{OÇZ (gün)} = \Sigma(fx) / \Sigma f$$

Çimlenme gücü indeksi (ÇGİ): Aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Abdul-Baki and Anderson, 1970).

$$\text{ÇGİ} = (\text{ortalama sürgün uzunluğu} + \text{ortalama kök uzunluğu}) \times \text{toplam çimlenme yüzdesi}$$

2.1. Verilerin Analizi

Elde edilen veriler, IBM* SPSS* istatistik programı ile varyans analiz edilerek ve uygulamalara ait ortalamalar %5 önemlilik düzeyine göre Duncan çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı NaCl dozlarının çimlenme oranı (ÇO), çimlenme hızı (ÇH), çimlenme gücü (ÇG), çimlenme hızı katsayısı (ÇHK), çimlenme hızı indeksi (ÇHİ), ortalama çimlenme zamanı (OÇZ) ve çimlenme gücü indeksine (ÇGİ) ait ortalamalar ve varyans analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Uygulamalar arası farklar çimlenme hızı ve çimlenme hızı katsayısında önemsiz, ortalama çimlenme hızında önemli, incelenen diğer parametrelerde ise çok önemli olmuştur.

3.1. Çimlenme Oranı

Çimlenme oranı açısından uygulamalar arasındaki farklar önemli olmuştur. Çimlenme oranı %36,0-84,0 arasında değişirken; ortalama %65,8 olmuştur (Çizelge 1). Artan NaCl dozları çimlenme oranının düşmesine neden olmuştur. En yüksek çimlenme oranı 0 mM (kontrol) uygulamasında; en düşük ise 150 mM uygulamasında elde edilmiştir. Ekmekçi ve ark. (2005) NaCl dozlarının artmasıyla birlikte çimlenme oranındaki düşüş, Cl- ve Na+ iyonlarının toksitesinin yanında, ozmotik basıncın artması çimlenme için gerekli olan suyun tohum tarafından alınmasını engellemesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bulgularımız; NaCl dozlarının artmasıyla

çimlenme oranının azaldığını bildiren araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermiştir (Sharma ve ark., 2004; Khan ve ark., 2005; Dumlupınar ve ark., 2007; Datta ve ark., 2009; Akbarimoghaddam ve ark., 2011; Hussain ve ark., 2013 ve Mahmoodzadeh ve ark., 2013).

3.2. Çimlenme Hızı

Çimlenme hızı açısından uygulamalar arasındaki farklar önemli olmamıştır. Çimlenme hızı %7,0-25,0 arasında değişirken; ortalama %19,0 olmuştur (Çizelge 1). En yüksek çimlenme hızı 0 mM (kontrol) ve 50 mM uygulamalarında; en düşük ise 150 mM uygulamasında elde edilmiştir. Bitkilerde büyüme ve gelişme üzerinde tuzun olumsuz etkisi çimlenme döneminde en fazladır (Sarin and Narayan, 1968; Yazgan, 1986). Araştırmamızdaki bulgulara paralel olarak Kızılgeçi ve ark., (2010) genotiplerin ortalamasına göre kontrol uygulamasında %84,13 olan çimlenme hızının 150 mM'da %51,60'a düştüğünü belirlemişlerdir.

3.3. Çimlenme Gücü

Çimlenme gücü açısından uygulamalar arasındaki farklar önemli olmuştur. Çimlenme gücü %24,0-81,0 arasında değişirken; ortalama %59,0 olmuştur (Çizelge 1). En yüksek çimlenme hızı 0 mM (kontrol) uygulamasında; en düşük ise 150 mM uygulamasında elde edilmiştir. Çimlenme gücünün artan tuz dozlarıyla azaldığı farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Ashraf ve ark., 1991; Kırtok ve ark., 1994; Raghav ve Pal 1994 ve Ekiz ve ark., 1999). Kızılgeçi ve ark., (2010) genotiplerin ortalamasına göre kontrol uygulamasında %90,40 olan çimlenme gücünün 150 mM'da %64,66'ya düştüğünü belirlemişlerdir.

3.4. Ortalama Çimlenme Zamanı

Ortalama çimlenme zamanı açısından uygulamalar arasındaki farklar önemli olmuştur. Ortalama çimlenme zamanı 7,4-5,5 gün arasında değişirken; ortalama 6,1 gün olmuştur (Çizelge 1). En yüksek ortalama çimlenme zamanı 150 mM uygulamasında; en düşük ise 0 mM (kontrol) uygulamasında elde edilmiştir. Ekmeklik buğdayda ortalama çimlenme zamanının uzadığı (Atak, 2014), diğer çalışmalarda ise orta şiddetteki ozmotik basınç (-0.58 ve -1.05 MPa) uygulamalarında Mannitol, PEG ve NaCl uygulamalarının makarnalık buğdayda (Almansouri ve ark., 2001) ve diğer artan NaCl dozlarında tritikalede çimlenmeyi geciktirdiği (Atak ve ark., 2006) ve bildirilmektedir. Bilgili (2018), genotiplerin ortalamasına göre kontrol uygulamasında 1,43 gün olan ortalama çimlenme zamanının 150 mM'da 1,67 güne çıktığını belirlemişlerdir.

3.5. Çimlenme Gücü İndeksi

Çimlenme gücü indeksi açısından uygulamalar arasındaki farklar önemli olmuştur. Çimlenme gücü indeksi 1386,4-145,4 arasında değişirken; ortalama 666,2 olmuştur (Çizelge 1). En yüksek çimlenme gücü indeksi 0 mM (kontrol) uygulamasında; en düşük ise 150 mM uygulamasında elde edilmiştir. Çimlenme oranı, kökçük uzunluğu ve sürgün uzunluğunun bir bileşeni olan çimlenme gücü indeksi artan stres şartlarında en fazla etkilenen özelliktir (Dhanda ve ark., 2004). Bilgili (2018), genotiplerin ortalamasına göre kontrol uygulamasında 3876,9 olan çimlenme gücü indeksinin 150 mM'da 1128,2'ye düştüğünü belirlemişlerdir.

Tablo 1. Farklı NaCl dozlarının çimlenme oranı (ÇO), çimlenme hızı (ÇH), çimlenme gücü (ÇG), ortalama çimlenme zamanı (OÇZ) ve çimlenme gücü indeksine (ÇGİ) ait ortalamalar ve varyans analiz sonuçları (Table 1. Means and variance analysis results of germination ratio (GRo), germination rate (GR), germination power (GP), mean germination time (MGT) and germination power index (GPI) of different NaCl doses)

Uygulamalar	ÇO	ÇH	ÇG	OÇZ	ÇGİ
0 mM (Kontrol)	84,0	25,0	81,0 ^a	5,5 ^b	1386,4 ^a
50 mM	66,0	25,0	61,0 ^a	5,7 ^b	677,2 ^b
100 mM	77,0	19,0	70,0 ^a	5,9 ^b	455,9 ^{bc}
150 mM	36,0	7,0	24,0 ^b	7,4 ^a	145,4 ^c
Ortalama	65,8	19,0	59,0	6,1	666,2
F değeri	6,2**	1,4	7,5**	4,4*	14,5**

4. Sonuç

Tuzluluğun da dahil olduğu stres faktörleri buğday sadece verimini değil kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkisel üretimi önemli ölçüde azaltan tuzluluk, doğal etkenler ve hatalı yapılan tarımsal uygulamalar sebebiyle oluşabilmektedir (Saddiq ve ark., 2021). Tuz stresi sırasında bitkide protein sentezi, fotosentez, lipid ve enerji sentezi gibi önemli metabolik olaylar da etkilenmekte olup ayrıca koleoptil uzunluğu, çimlenme oranı, sürgün uzunluğu ve kök taze ağırlığı azalmaktadır (Dirik ve ark., 2020).

Çalışmamızda farklı NaCl dozlarının kırık buğday çeşidinde çimlenme verileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İncelediğimiz çimlenme verilerinde çimlenme hızı dışındaki diğer verilerde analiz sonuçlarına göre farklar önemli ve çok önemli olarak bulunmuştur. Genel anlamda tüm verilerde tuz konsantrasyonu arttıkça çimlenme verilerinde düşüş gözlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre Kırık buğday çeşidinin tuza dayanıklı olmadığı gözlemlenmiştir.

Kaynakça

Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A., ve Panjehkeh, N. (2011). Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia journal of Sciences*, 9(1), 43-50.

Almansouri, M., Kinet, J. M., ve Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and soil*, 231(2), 243-254.

Anonim. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Anonim. (2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Bitkisel Üretim İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92velocale=tr>

Ashraf, M. Y., Khan, M. A., ve Naqvi, S. S. M. (1991). Effect of salinity on seedling growth and solute accumulation in two wheat genotypes.

Ashraf, M.P.J.C., ve Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166(1), 3-16.

Atak, M., Kaya, M. D., Kaya, G., Çikili, Y., ve Çiftçi, C. Y. (2006). Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(1), 39-47.

Atak, M. (2014). Ekmeklik buğday genotiplerinin çimlenme aşamasında oluşturulan tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *MKÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 1-10.

Aycan, M. (2018). Türkiyede bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinde tuza tolerans/dayanıklılık göstergesi olarak evrensel SSR markörlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması ve tuz stresi koşullarında gen ifade profillerinin incelenmesi. [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]

Aydın, İ., ve Atıcı, Ö. (2015). Tuz stresinin ekonomiye kültürde çimlenme ve fide üzerinde olumlu etkisi. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 1-15.

Bilgili, D., Atak, M. ve Mavi, K. (2018). Bazı Ekmeklik Buğday Genotiplerinde NaCl Stresinin Çimlenme ve Fide Gelişimine Etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1), 85-96.

Banu, M.N.A., Hoque, M.A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuoka, K., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., ve Murata, Y. (2009). Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene expression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 166(2), 146-156.

Boyraz, N. (2013). Kop bölgesinde verim ve kaliteyi etkileyen önemli bitki hastalıkları. I. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 14(16), 224-237.

Chapman, V. J., Edwards, D. G., Blamey, F. P. C., ve Asher, C. J. (1997). Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In *Boron in soils and plants* (pp. 151-155). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5564-9_29

Çiçek, S., Kilercioğlu, B., Doğan, R., ve Çarpıcı, E.B. (2018). Bazı ileri makarnalık buğday (*Triticum turgidum* var. durum L.) genotiplerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkileri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 19-29.

Datta, J. K., Nag, S., Banerjee, A., ve Mondai, N. K. (2009). Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13(3).

Dirik, K. Ö., Saygılı, İ., Özkurt, M., ve Sakin, M. A. (2020). Bazı Yerel Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Erken Gelişme Dönemindeki Tuz Stresine Toleransının İncelenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi*, 8(3), 688-693.

Doğru, A. ve Canavar, S. (2020). Bitkilerde evinin ve biyokimyasal tuz. *Akademik Platform-Mühendislik ve Bilim Dergisi*, 8 (1), 155-174.

- Dumlupınar, Z., Kara, R., Dokuyucu, T., ve Akkaya, A. (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yetiştirilen bazı makarnalık buğday genotiplerinin çimlenme ve fide karakterlerine elektrik akımı ve tuz konsantrasyonlarının etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 100-110.
- Ekiz, H., Bağcı, S. A., Yılmaz, A., Çağlayan, N., ve Bozoğlu, S. (1999). Bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin tuza toleranslarının değişik parametrelerle değerlendirilmesi. *Hububat Sempozyumu*, 8-11.
- Ekmekçi, E., Mehmet, A. P. A. N., ve Tekin, K. A. R. A. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3), 118-125.
- Esfandiari, E., Enayati, V. ve Pourmohammad, A. (2015). Some physiological and biochemical traits of two wheat cultivars subjected to salinity stress. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 25(3), 221-230. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236267>
- Gupta, B., ve Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Gunes, A., Post, W.N., Kirkby, E.A., ve Aktas, M. (1994). Influence of partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce. *Journal of plant nutrition*, 17(11), 1929-1938. <https://doi.org/10.1080/01904169409364855>
- Hajrasullaha, S. 1980. Accumulation and Toxicity of Chloride in Bean Plants. *Plant and Soil*, 55, 133-138.
- Hale, M.G., ve Orcutt, D. . (1987). The physiology of plants under stress. *John Wiley & Sons*.
- Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Wahid, M. A., ve Afzal, I. (2013). Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil Environ*, 32(1), 36-43.
- İnal, A., Günes, A., ve Aktas, M. (1995). Effects of chloride and partial substitution of reduced forms of nitrogen for nitrate in nutrient solution on the nitrate, total nitrogen, and chloride contents of onion. *Journal of Plant Nutrition*, 18(10), 2219-2227.
- İnan, B., Emir, O. ve Çarpıcı, E.B. (2017). Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) hatlarının çimlenme döneminde tuz stresine tepkileri. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2018, 32 (1), 69-78. <http://hdl.handle.net/11452/5994>
- İnan, B., Orkunalp, E., Dogan, R., ve Budaklı Çarpıcı, E. (2018) "Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Hatlarının Çimlenme Döneminde Tuz Stresine Tepkileri," *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 32, s. 1, ss. 69-78.
- Kanber, R., Çullu, M.A, Kendirli, B., Antepli, S. ve Yılmaz, N. (2005). Sulama, drenaj ve tuzluluk. *Türkiye Ziraat Mühendisliği 6. Teknik Kongresi*. Cilt I. s. 213- 251, Ankara.
- Keren, R., Bingham, F. T., ve Rhoades, J. D. (1985). Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 49(2), 297-302.
- Khan, B. A., Khan, A. N., ve Khan, T. H. (2005). Effect of salinity on the germination of fourteen wheat cultivars. *Gomal University Journal of Research*, 21, 31-33.
- Kirtok, Y., Veli, S., Tükel, S., Düzenli, S., ve Kilinc, M. (1994). Evaluation of salinity stress on germination characteristics and seedling growth of bread wheats (*Triticum aestivum* L.). *Tarla Bitkileri Kongresi*, 25, 29.
- Kirkby, E.A. ve Knight, A.H. (1977). The influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiology*, 60, 349-353. <https://doi.org/10.1104/pp.60.3.349>
- Kizilgeci, F., Yıldırım, M., ve Akinci, C. (2010). Determination of salinity reactions of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. 1. In *Symposium of UDUSIS* (pp. 24-26).
- Koyuncu, N. (2012). Determination of In Vitro High Level Salinity Tolerance of Some Durum Wheat (*T. durum* Desf.) Cultivars. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 70-74.
- Köseoğlu, S.T. ve Doğru, A. (2021). Farklı NaCl Konsantrasyonlarının Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Çimlenme Dönemindeki Etkileri. *Environmental Toxicology and Ecology*, 1(1), 33-42.
- Kuşvuran, Ş. (2010). Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Adana*.
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses Volume II. (Physiological Ecology)*, Academic Pres, New York, pp. 365-490.
- Mahajan, S. ve Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.10.018>
- Mahmoodzadeh, H., Khorasani, F. M., ve Besharat, H. (2013). Impact of salt stress on seed germination indices of five wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, 4(6), 93-96.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants 2nd edn*. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edition*. Elsevier, Academic Press, USA. 672.
- Munns, R. ve Tester, M. (2008). Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, 59: 651-674. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Oğuz, C. (2019) Buğday (*Triticum aestivum* L.) fideleri üzerine jasmonik asit tuzluluk etkileşimlerinin gen ifadesi ve antioksidant enzimleri üzerine etkileri [Yüksek lisans tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]
- Özkutlu, F. (2020) Farklı Tuz Uygulamalarının Makarnalık (*Triticum durum* L.) Buğdayda Kadmiyum ve Çinko Alımı Üzerine Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 1010-1017. <https://doi.org/10.30910/turkjans.716795>
- Raghav, C. S., ve Pal, B. (1994). Effect of saline water on growth, yield and yield contributory characters of various wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Ann. Agric. Res*, 15, 351-356.
- Saddiq, M. S., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Ibrahim, A. M., Raza, A., Fatima, E. M., ve Ciarmiello, L. F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, 11(6), 1193.
- Salisbury, R. B. ve Ross C. W. (1992). *Photosynthesis: environmental and agricultural aspects*. p.249-265.
- Sarin, M. N., ve Narayanan, A. (1968). Effects of soil salinity and growth regulators on germination and seedling metabolism of wheat. *Physiologia Plantarum*, 21(6), 1201-1209.

- Sefaoğlu, F. (2021). Siyez ve Kırık Ekmeklik Buğday Genotiplerinin in Vitro Koşullarında Tuza Toleransının Belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(3), 253-261. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.868888>
- Sharma A.D., Thakur M., Rana M. ve Singh, K. (2004). Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growth and phosphoaphatse activities in Sorghum bicolor (L.) moench seeds. *Afr. J. Biotechnol.* 3: 308-312.
- Siegel, S.M., Siegel, B.Z., Massey J., Lahne, P. ve Chen, J. (1980). Growth of corn in saline waters. *Physiologia Plant.*, 50, 71-73. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1980.tb02686.x>
- Torun, A.A., Gülmezoğlu, N., Tolay, İ., Duymuş, E., Aytaç, Z., Cenkseven, Ş. ve Torun, B. (2019). Çinko ve NaCl uygulamalarının makarnalık buğdayın (*Triticum durum* Desf.) kuru madde verimi ve besin elementi konsantrasyonları üzerine etkisi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 8(1), 1-10.
- Wahab, A.A. ve Zahran, H.H. (1981). Effects of salt stress on nitrogenase activity and growth of four legumes. *Biología Plantarum*, 23(1), 16.
- Yazgan, M. (1986). The effect of salinity on the endogenous gibberellins and cytokinins levels of wheat grains during germinations. *Ege University Journal of Sci. Faculty, Series B*, VIII, 1.



Fotovoltaik Panellerde Farklı Tasarımların Verime Etkisinin Değerlendirilmesi

İrfan Tunçkaşık^{1*}, Ercan Köse²

^{1*} Tarsus Üniversitesi, Lisanüstü Eğitim Ens., Enerji Sist. Müh.ABD Yüksek Lisans Öğr., Tarsus-Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0816-3974), itunckasik@gmail.com

² Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tarsus-Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9814-6339), ekose@tarsus.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 14 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1165188)

ATIF/REFERENCE: Tunçkaşık, İ. & Köse, E. (2022). Fotovoltaik Panellerde Farklı Tasarımların Verime Etkisinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 252-257.

Öz

Günümüzde fotovoltaik panellere dayalı güneş enerji santralleri, enerji üretimi için önemli oranlara ulaşmıştır. Bundan dolayı bu çalışmada, fotovoltaik panellerin verimliliklerini önemli ölçüde etkileyen panel iç bağlantıları incelenmiştir. Hâlihazırda kullanılan panellerde tek tip bağlantı uygulanmaktadır. Panellerde uygulanan bağlantı hücreler arası seri bağlantı şeklindedir. Panelin içerisinde hücrelerin arasındaki tüm bağlantının seri olması bazı olumsuz durumları da yanında getirmektedir. Bu çalışmada her hücresi diğerlerinden bağımsız bir güneş paneli tasarlanmış ve imal edilmiştir. Her hücrenin birbirinden bağımsız olması hücreler arası bağlantının farklı şekillerde yapılabilmesi için kullanılacak bir opsiyondur. Panelde bulunan hücrelerle birbirinden farklı seri ve paralel hücre bağlantıları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu bağlantılardan flaş test ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen değerler karşılaştırıldığında % 10'a varan bir artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik panel, güneş enerjisi, panel hücre ara bağlantısı, verimlilik.

Evaluation Of The Effect Of Different Designs On Efficiency In Photovoltaic Panels

Abstract

Today, solar power plants based on photovoltaic panels have reached significant percentages for energy production. Therefore, in this study, panel interconnections, which significantly affect the efficiency of photovoltaic panels, are examined. A single type of connection is applied in the panels currently used. The connection applied in the panels is in the form of serial connection between cells. The fact that all the connections between the cells in the panel are serial also brings some negative situations. In this study, a solar panel is designed and manufactured, each cell independent of the others. The fact that each cell is independent from each other is an option to be used to make the connection between cells in different ways. Different serial and parallel cell connections are created with the cells on the panel. Measurements were made with the flash test from these connections. When the values obtained from the measurements were compared, an increase of up to 10% was obtained.

Keywords: Photovoltaic panel, solar energy, panel cell interconnection, efficiency.

* Sorumlu Yazar: itunckasik@gmail.com

1. Giriş

Günümüz teknolojisinde elde edilen yenilikler ve buna bağlı olarak teknolojinin farklı alanlarda da kullanılabilir bir formatta var olması enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Elektrikğin hayatımızdaki yeri öncelikli olarak aydınlatma üzerine iken günümüz teknolojisinde ısıtma-soğutma, pişirim, ev içi elektrikli makine ve aletlerin çalıştırılması için kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi, sanayi ve teknolojik fabrika ve işyerlerindeki üretim ve işleyişin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bunların yanı sıra elektrik enerjisi, elektrikli araçların enerji ihtiyacının karşılanması için yeni bir kullanım alanı olarak yeri almıştır. Bu durum da kişi başı enerji tüketimin artmasına bağlı olarak enerji ihtiyacını arttırmaktadır.

Sürekliliği ve çevreci oluşu nedeniyle güneş enerjisi bu ihtiyaçların karşılanmasında tercih sebebi olmaktadır. Fakat güneş ışınımı ile güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin veriminin düşük olması, akademik çalışmaları bu verimi arttırmaya yöneltmiştir. Bu bağlamda verimi etkileyen faktörlerden birisi panelin ısınması olarak belirlenmiştir. Paneli soğutmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu soğutma uygulamasında hava ve su ile yapılanlarda aktif ve pasif olarak da ikiye ayrılmaktadır. Aktif su ile soğutma %47'lik verime ulaşmış, pasif olanlar ise %5 oranında daha düşük verim artışı sağlamışlardır (Karakaya & Şen, 2019). Akışkanlar haricinde faz değiştiren maddelerle de soğutma denenmiştir. Bunlar yüzeydeki ısıyı depolayıp faz değiştiren malzemelerdir. Bu malzeme ile yapılan testlerde %1,1 – 2,8 aralığında verim artışı sağlanmıştır (Karakaya & Şen, 2019). Paneller içerisinde farklı hücre tiplerinin de verime etkileri olmuştur. Monokristal de %24, polikristal de %17,4, esnek panellerde ise %15,2 ile 22,8 arasında değişmektedir (Karakaya & Şen, 2019).

Panelin kendisinden kaynaklı olan verim etkenlerinin dışında çevresel etkenlerin de verime etkisi bulunmaktadır. Bunlar içerisinde bazılarını yönelik çalışmalar yapılmıştır. Gölgeleme ile verim arasında ciddi bir etkileşim vardır. Gölgeleme esnasında %25 'e varan kayıplar ölçülmüştür (Karakaya & Şen, 2019).

Yine çevresel etkenlerden tozlanma verimi etkileyen bir unsurdur. Tozlanma ile birlikte noktasal kirlenmeleri de dahil edebiliriz bu kategoriye. Bu durumların da etkisinin de % 10 oranında olduğu tespit edilmiştir. Noktasal kirlenmelerin hücrelerde kalıcı deformasyona yol açması da bu etken türüne özgü bir durumdur (Karakaya & Şen, 2019). Güneş panelleri ışına ile enerji üretmektedir bu yüzden yansıma da verimi etkilemektedir. Yansıma panelin açısı ve paneldeki yüzey kaplamaya göre değişmektedir (Ismael, 2022). Sistem ekipmanlarındaki kayıplarda verime etkilemektedir. Bunlar DC kablo kaybı, inverter dönüşüm kayıpları, AC kablo kaybı, panellerde seri bağlı hücrelerden herhangi birinin olması gerekenden daha düşük verime sahip olması şeklinde uyumsuzluk etkileri bulunmaktadır.

Verim artırıcı çalışmalar içerisinde yoğunlaştırıcı güneş paneli tasarlanmıştır. Panelin eğimi yoğunlaştırma miktarları ile birlikte %44 ile 49 arasında değişen verimler elde edilmiştir. Bu çalışmada panelin üzerine yoğunlaştırıcı kanatçıklar eklenmiştir (Ismael, 2022). Farklı bir yoğunlaştırıcı sistemde ise su damlası modelinde yoğunlaştırma düzeneğine güneş paneli yerleştirilmiş ve verimi gözlemlenmiştir (Rahmanov, 2019).

Panel üzerindeki verimi etkileyen unsurlardan yansıma ile ilgili yapılan çalışmada panelin cam yüzeyi farklı yağlar ile yağlanmış ve üretim değerleri ölçülmüştür. Amaç ışık geçirgenliğini arttırmaktır. Test esnasında yağsız yüzey ile karşılaştırılanlar labovac, motor, fren, zeytin ve ayçiçek yağı yüzeyler olmuştur. 25 ° C 'de yapılan ölçümlerde %26,2 'lik verim artışı gözlemlenmiştir. Ayçiçek yağı kullanılarak panelin cam yüzeyi yağlandığında ise %17,8 oranında güç çıkışında azalma meydana gelmiştir; motor, fren ve zeytinyağında ise ortalama%5-7 arasında verim artışı ölçülmüştür (Abd-Elhady, Fouad, & Khalil, 2016).

Panelden elde edilen gerilim seviyesi de güneş enerjisi sistemlerinde verimi etkilemektedir. DC-DC dönüştürücü ile yapılan bir testte 15-20v arasında panelden gelen gerilimin girişi sabit 20V çıkışa çevrilmiştir. Bu çevrim esnasında panelden elde edilen gerilimin sabit 2 enerjinin kullanım şeklide verimi etkilemektedir. Panelden elde edilen enerjinin değişkenlik gösterdiği çıkış voltajının ise sabit olduğu bir deney düzeneğinde 15-20 V arasında toplam güç çıkışının sabit olduğu durumda verimi giriş ile çıkışın aynı olduğu gerilim seviyesinde dönüşüm verimliliği %100 'e ulaşmıştır (Kim, Kim, Min, Yoo, & Kim, 2009).

Endüstride kullanılan fotovoltaik panellerde tam ve yarım hücreli ürünler bulunmaktadır. Bu ürünlerin akım ve gerilim değerlerinde değişkenlikler vardır (Karadavut, 2019). Bu çalışmada, söz konusu bu değişkenlikler ile birlikte aynı markanın eşit veya yakın güçlerdeki panellerinin üretim simülasyonu yapıp birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Fotovoltaik Panellerde Hücreler Arası Bağlantı Deney Düzeneği

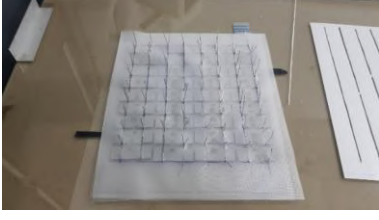
Hücreler arasında ki bağlantı dış etkenlerden dolayı kopacak olursa bu da hücreler arasındaki seri bağlantıyı etkilemektedir. Buna sebep olan durumlardan birisi de hücrelerdeki termal yüklerdir. Oluşan termal yükler hücreler arasındaki bağlantıları olumsuz etkilemektedir (Aly, Ahzi, Barth, & Abdallah, 2022)

Bu çalışmada hazırlanan deney düzeneğinde özdeş hücreler ile elde edilen panel birkaç aşamadan geçmiştir. Bu aşamalar hücrelerin iletim için ribonlarının bağlantısının yapılması her hücrenin ayrı olacak şekilde, ardından panel içerisine yerleşiminin yapılması. Laminasyon sürecinde de eva ve backsheet'in bu hücrelere göre hazırlanmasını kapsamaktadır.

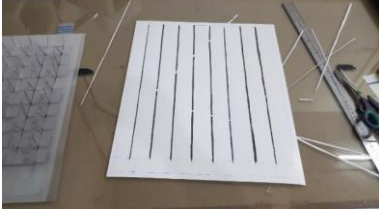
Deney düzeneğinin hazırlanması ile ilgili süreçler **Şekil 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7**'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ribon bağlantıları yapılmış hücreler



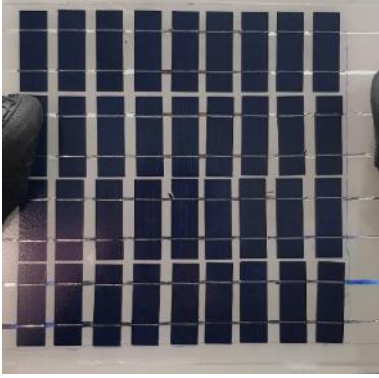
Şekil 2. Hücrelere bağlı ribbonların evadan çıkartılmış hali



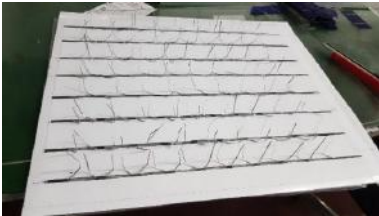
Şekil 3. Backsheet' in hazırlanmış hali



Şekil 4. Panel laminasyonu



Şekil 5. Panel laminasyonu sonrası panelin ön yüzeyi



Şekil 6. Panel laminasyonu sonrası panelin arka yüzeyi



Şekil 7. Test için flash test cihazına panel bağlantısının yapılması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Hücreler arası gerilim ve akım değerlerinin gözlemlenebilmesi için farklı bağlantı şekilleri uygulanmıştır. Bu bağlantılar içerisinde farklı şekillerde seri ve paralel bağlantı şekilleri bulunmaktadır.

Oluşturulan bağlantılar esnasında ölçülen FF değeri fotovoltaik modüllerde, modülün en yüksek çıkış gücünün açık devre gerilimi ile kısa devre elektrik akımına çarpımının oranını verir. Yani ölçümü yapılan hücrenin, $V_{mpp} \times I_{mpp}$ değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ değerlerine oranıdır (Dülger, Çubukçu, & Schmid, 2017). Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması esnasında FF değerleri de **Tablo 4, 6 ve 8**'de verilmiştir.

Bu deneyde oluşturulan bağlantı yapıları **Şekil 8**'de tek dizi olarak gösterilmektedir. Dizilerin birbirine paralel bağlantısı örnek gösterimi ise **Şekil 9**'da yer almaktadır. Deneyde oluşturulan bağlantı yapıları **beş, altı, on birli** seri olarak **Şekil 10, 11, 12**'de görselleştirilmiştir. Bu yapı haricinde dört adetten yirmi üç adet sıralı şekilde seri hücre bağlantı yapısı da ölçümlere dâhil edilmiştir. Her bir seri bağlantı yapısında değişmekle birlikte birbirine paralel bağlantı yapıları da bulunmaktadır.

Görsel ile ifade edersek;



Şekil 8. Altılı seri hücre bağlantı şekli



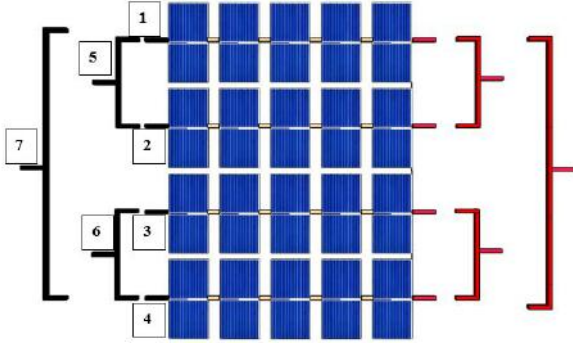
Şekil 9. Birbirine paralel iki adet altılı seri hücreler

Ölçümler esnasında **Şekil 8**'deki gibi tek hücre dizisi ölçülmüştür. Daha sonra **Şekil 9**'da görüldüğü gibi aynı hücre sayısına sahip hücre dizisi paralel bağlanıp ve tekrar ölçüm yapılmıştır.

Tablo 1, 3, 5'te belirtilen ölçüm numarası sütunu **Şekil 11, 12** ve **13** 'te kutucuk içerisinde belirtilen numaraları ifade etmektedir.

4. Bağlantı Şekilleri ve Elde Edilen Değerler

4.1.1. Beş Seri Hücreli Dizi



Şekil 10. Birbirine paralel iki adet altılı seri hücreler

Tablo 1. Beşli seri hücrelerin seri ve paralel bağlantılarında elde edilen değerler

Ölçüm No	Birbirine Paralel Dizi Sayısı	Dizideki Seri Hücre Sayısı	Dizi Sırası	Kısa Devre Akımı (Isc)	Açık Devre Voltajı (Voc)	Maksimum Güç Akımı (Ipm)	Maksimum Güç Voltajı (Vpm)	Maksimum Güç (Pm)	Görsel numarası
1	1	5	1	0,780	2,890	0,747	2,276	1,70	472
2	1	5	2	0,785	2,894	0,747	2,292	1,713	473
3	1	5	3	0,795	2,902	0,766	2,347	1,798	474
4	1	5	4	0,810	2,896	0,773	2,284	1,765	475
5	2	5	1	1,683	2,905	1,590	2,182	3,468	476
6	2	5	2	1,712	2,911	1,646	2,266	3,728	477
7	4	5	1	3,521	2,917	3,342	2,145	7,166	478

Tablo 1 ve 2 'de **Şekil 10** 'da ki bağlantı yapısının ölçüm sonuçları yer almaktadır. Bu değerleri incelediğimizde;

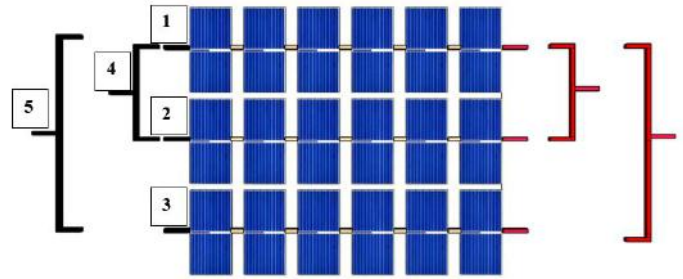
- Ipm için: Paralel dizi sayısı artan her dizide %8-10 arasında artış göstermiştir.
- Vpm için: Paralel dizili ölçümlerde elde edilen değerler tekli hücre dizisine göre % 4-8 arasında azalma göstermiştir.
- Pm için: Paralel bağlı dizilerde tekli dizilerin değerine kıyasla %5'e kadar artış görülmüştür.

Tablo 2. Beşli seri hücrelerin seri ve paralel bağlantılarında elde edilen FF değerleri

Görsel numarası	Seri hücre sayısı	Birbirine paralel dizi sayısı	Dizi Sırası	FF Oranı
472	5	1	1	75.4
473	5	1	2	75.37
474	5	1	3	77.95
475	5	1	4	75.23
476	5	2	1	70.95
477	5	2	2	74.78
478	5	4	1	69.77

Tablo 2'de ölçüm yapılan cihazdan elde edilen FF değerleri yer almaktadır. Paralel bağlantılar arttıkça FF değerlerinde azalma gözlenmiştir.

4.1.2. Altı Seri Hücreli Dizi



Şekil 11. Hücreler arası altılı seri ve paralel bağlantı yapısı

Tablo 3. Altı seri hücrelerin seri ve paralel bağlantılarında elde edilen değerler

Ölçüm No	Birbirine Paralel Dizi Sayısı	Dizideki Seri Hücre Sayısı	Dizi Sırası	Kısa Devre Akımı (Isc)	Açık Devre Voltajı (Voc)	Maksimum Güç Akımı (Ipm)	Maksimum Güç Voltajı (Vpm)	Maksimum Güç (Pm)	Görsel numarası
1	1	6	1	0,754	3,54	0,729	2,886	2,102	465
2	1	6	2	0,801	3,53	0,760	2,888	2,196	467
3	1	6	3	0,816	3,539	0,779	2,903	2,261	469
4	2	6	1	1,665	3,541	1,587	2,882	4,572	470
5	3	6	1	2,593	3,550	2,468	2,828	6,976	471

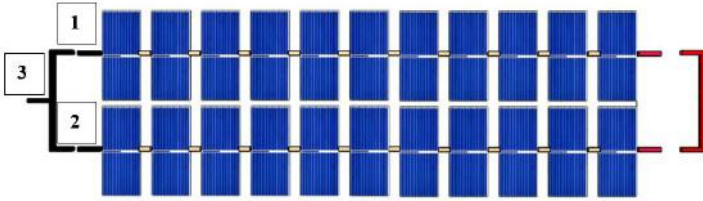
Tablo 4. Altılı seri hücre bağlantılarından elde edilen FF değerleri

Görsel numarası	Seri hücre sayısı	Birbirine paralel dizi sayısı	Dizi Sırası	FF Oranı
465	6	1	1	78.78
467	6	1	2	77.70
469	6	1	3	78.26
470	6	2	1	77.54
471	6	3	1	75.80

Şekil 11 'de oluşturulan bağlantı yapısının ölçüm sonuçları **Tablo 3 ve 4**'te yer almaktadır. Bu bağlantı yapısı birbirine seri altı hücrenin tekil ve paralel bağlı olduğu durumlardaki ölçüm değerlerini barındırmaktadır. Tablo 3 ve 4 'te ki değerleri göz önünde bulundurduğumuzda;

- İpm için: Tekil dizilerde yapılan ölçümlere göre 3'lü paralel dizi de tekil dizi başına düşen İpm değerinde %5-12 arasında artış gerçekleşmiştir.
- Vpm için: Paralel bağlı durumdaki ölçümlerde tekil bağlı duruma kıyasla Vpm değerlerinde %2-3 arasında azalma olmuştur.
- Pm için: Ayrı ayrı yapılan ölçümlere göre %3-10 arasında artış görülmüştür.

4.1.3. Onbir Seri Hücreli Dizi



Şekil 12. Hücreler arası on birli seri ve paralel bağlantı yapısı

Tablo 5. On birli seri hücrelerin seri ve paralel bağlantılarında elde edilen değerler

Ölçüm No	Birbirine Paralel Dizi Sayısı	Dizideki Seri Hücre Sayısı	Dizi Sırası	Kısa Devre Akımı (Isc)	Açık Devre Voltajı (Voc)	Maksimum Güç Akımı (Ipm)	Maksimum Güç Voltajı (Vpm)	Maksimum Güç (Pm)	Görülme
1	1	11	1	0,803	6,739	0,785	5,558	4,360	433
2	1	11	2	0,794	6,729	0,766	5,495	4,206	434
3	2	11	1	1,712	6,760	1,660	5,553	9,216	440

Tablo 6. On birli seri hücrelerin seri ve paralel bağlantılarında elde edilen FF değerleri

Görsel numarası	Seri hücre sayısı	Birbirine paralel dizi sayısı	Dizi Sırası	FF Oranı
458	11	1	1	80.56
459	11	1	2	78.76
460	11	2	1	79.63

Şekil 12 'de oluşturulan bağlantı yapısının ölçüm sonuçları Tablo 5 ve 6 'da verilmiştir. Bu bağlantı yapısı birbirine seri on bir hücrenin tekil ve paralel bağlı olduğu durumdaki ölçüm değerlerini barındırmaktadır. Ölçüm sonuçlarını değerlendirdiğimizde;

- İpm için: Ayrı ayrı yapılan ölçümlere göre 2'li paralel dizi de birim İpm değerinde %5-8 arasında artış gerçekleşmiştir.
- Vpm için: Ayrı ayrı yapılan ölçümlere kıyasla birim dizi de %1'e kadar artış görülmüştür.
- Pm için: Ayrı ayrı yapılan ölçümlere göre birim dizi de %6-10 arasında artış görülmüştür

4.1.4. Dörtten Yirmüç Hücreye Sıralı Dizi

Tablo 7. Dörtten Yirmüç Hücreli Sıralı Dizi Ölçüm Değerleri

Ölçüm No	Birbirine Paralel Dizi Sayısı	Dizideki Seri Hücre Sayısı	Dizi Sırası	Kısa Devre Akımı (Isc)	Açık Devre Voltajı (Voc)	Maksimum Güç Akımı (Ipm)	Maksimum Güç Voltajı (Vpm)	Maksimum Güç (Pm)	Görsel numarası
1	1	4	1	0.778	2.270	0.750	1.854	1.391	433
2	1	5	1	0.777	2.909	0.763	2.389	1.823	434
3	1	6	1	0.778	3.550	0.771	2.931	2.260	440
4	1	7	1	0.780	4.193	0.774	3.481	2.692	441
5	1	8	1	0.786	4.832	0.778	4.003	3.114	442
6	1	9	1	0.788	5.467	0.776	4.525	3.510	443
7	1	10	1	0.790	6.102	0.779	5.055	3.937	444
8	1	11	1	0.792	6.752	0.784	5.597	4.388	445
9	1	12	1	0.794	7.385	0.782	6.107	4.775	446
10	1	13	1	0.792	8.020	0.782	6.627	5.180	447
11	1	14	1	0.793	8.673	0.779	7.162	5.579	448
12	1	15	1	0.797	9.312	0.787	7.687	6.045	449
13	1	16	1	0.797	9.959	0.788	8.247	6.500	450
14	1	17	1	0.798	10.174	0.785	8.288	6.507	451
15	1	18	1	0.803	10.773	0.772	8.800	6.794	452
16	1	19	1	0.804	11.461	0.783	9.350	7.315	453
17	1	20	1	0.807	12.089	0.783	9.897	7.744	454
18	1	21	1	0.809	12.726	0.789	10.426	8.229	455
19	1	22	1	0.805	13.207	0.791	10.942	8.654	456
20	1	23	1	0.812	13.838	0.793	11.486	9.101	457

Tablo 7 ve 8 üretimi gerçekleştirilen panelde sağlam hücrelerin birbirine seri bağlanması ve sıralı seri ölçümleri sonucu elde edilen değerleri bulundurmaktadır.

- İpm için: Seri bağlantıda olan hücreler eklenerek ölçüm yapıldığından her eklenen hücre ile birlikte bir önceki elde edilen değerle kıyaslandığında elde edilen İpm değeri %1'e kadar artış göstermiştir.
- Vpm için: Ölçüme dâhil edilen hücre sayısı arttıkça birim hücre için Vpm değeri 16. hücreye kadar artış göstermiştir. 16. hücreden sonra en yüksek değere kıyasla %3-5 arasında daha düşük değerler elde edilmiştir.
- Pm için: Ölçüme dâhil edilen hücre sayısı arttıkça birim hücre için Pm değeri 16. hücreye kadar artış göstermiştir. 16. hücreden sonra %3-5 arasında daha düşük değerler elde edilmiştir

Ölçümlerde bazı hücrelerde elde edilen düşük gerilim seviyeleri ribbon lehimleme, laminasyon esnasında olabilecek mikro çatlaklardan veya hücrenin kendi yapısından kaynaklı olması olasılığını barındırmaktadır.

Tablo 8. Dörtten Yirmiiç Hücreli Sıralı Dizi Ölçüm FF Değerleri

Görsel numarası	Seri hücre sayısı	Birbirine paralel dizi sayısı	Dizi Sırası	FF Oranı
433	4	1	1	78.73
434	5	1	1	80.59
440	6	1	1	81.81
441	7	1	1	82.34
442	8	1	1	82
443	9	1	1	81.47
444	10	1	1	81.70
445	11	1	1	82.08
446	12	1	1	81.47
447	13	1	1	81.59
448	14	1	1	81.07
449	15	1	1	81.42
450	16	1	1	81.88
451	17	1	1	80.17
452	18	1	1	78.51
453	19	1	1	79.34
454	20	1	1	79.38
455	21	1	1	79.96
456	22	1	1	81.39
457	23	1	1	81.04

5. Sonuç

Oluşturulan panel yapıları ve ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde bağlantı düzeneğinde özdeş hücre dizilerinin paralel bağlantı sayılarının artması elde edilen akım ve gerilim değerlerinin hücre de üst değerine yakın ve kararlı olmasını sağlamakla birlikte, hücre dizisi içerisinde yer alabilecek düşük üretimli hücrelerin toplam güç çıkışına etkisini azaltmaktadır. Yapılan çalışmada %10 'a kadar verim artışına ulaşılmıştır. Elde edilen toplam gücün haricinde değişken bağlantı ile güneş panelinden elde edilen gerilim değerinin doğru akım dönüştürücüsünün çıkış gerilimine yakın olması da dönüştürücüsünün verimini arttırmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada deney düzeneğinin oluşturulmasında değerli desteklerini esirgemeyen ve atölyelerini kullanımına izin veren Gookir Global ailesine teşekkür ederim.

Kaynakça

- Abd-Elhady, M., Fouad, M., & Khalil, T. (2016, 02 23). Improving The Efficiency Of Photovoltaic (PV) Panels By Oil Coating. *Energy Conversion And Management*, S. 1-7.
- Aly, S. P., Ahzi, S., Barth, N., & Abdallah, A. (2020). Numerical Analysis Of The Reliability Of Photovoltaic Modules Based On The Fatigue Life Of The Copper Interconnects. *Solar Energy*, 212, 152-168.
- Dülger, G., Çubukçu, M., & Schmid, A. (2017). Fotovoltaik Modüllerin Güç Ölçümü. İzmir, Freiburg.
- Ismael, J. A. (2022, Ocak). Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılması Yöntemlerinin İncelenmesi. Samsun.
- Karadavut, A. (2019). Yarı Kesik Ve Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi. Denizli.
- Karakaya, H., & Şen, İ. E. (2019, 11 22). Fotovoltaik Panellerde Verim İyileştirme Yöntemleri. *Academic Platform*, S. 1179-1188.
- Kim, H. S., Kim, J. H., Min, B. D., Yoo, D. W., & Kim, H. J. (2009). A Highly Efficient Pv System Using A Series Connection Of Dc–Dc Converter Output With A Photovoltaic Panel. *Renewable Energy*, 34(11), 2432-2436.
- Rahmanov, T. (2019). Fotovoltaik Panellerde Performans. Samsun.



İki ve Üç Boyutlu Paradigmaların Olay İlişkili P300 Potansiyeli Üzerindeki Etkilerinin Dalgacık Dönüşümü Esaslı İncelenmesi

Onur Erdem Korkmaz^{1*}

^{1*} Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-000-6336-6147)
onurerdem.korkmaz@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1179944)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, O. E. (2022). İki ve Üç Boyutlu Paradigmaların Olay İlişkili P300 Potansiyeli Üzerindeki Etkilerinin Dalgacık Dönüşümü Esaslı İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 258-268.

Öz

Olay ilişkili P300 potansiyeli tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) sistemlerinde genellikle farklı uyaran tiplerinin sistem performansını nasıl etkilediği yapılan çalışmaların ana odak noktasıdır. Yapılan bu çalışmada dalgacık dönüşümü esaslı bir yöntem kullanılarak iki boyutlu satır-sütun ve üç boyutlu sütun paradigmalarının olay ilişkili P300 potansiyeli üzerindeki etkisi hem zaman hem de frekans uzayı açısından ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen paradigmanın P300 potansiyeli üzerinde daha fazla frekans bandında aktivasyon meydana getirdiği görülmüştür. Ayrıca yine önerilen yöntem kullanılarak birçok kanalda daha yüksek P300 genliği elde edilmiştir. Üç boyutlu sütun paradigması kullanılarak ortalama %6.03'lük daha yüksek dalgacık dönüşümü katsayısı gücü elde edilmiştir. Sonuç olarak, önerilen paradigma kullanılarak gerçekleştirilen uyaran sunumunda daha etkin P300 sinyalleri elde edilmekte, buda BBA sistem performansını artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dalgacık dönüşümü, P300, BBA, EEG.

Investigation of the Effects of Two and Three Dimensional Paradigms on Event-Related Potentials Using Wavelet Transform Based Method

Abstract

In event-related P300 potential-based Brain Computer Interface (BCI) systems, the main focus of the studies is how different stimulus types affect system performance. This study discusses the effect of two-dimensional row-column and three-dimensional column paradigms on the event-related P300 potential in terms of both time and frequency space using a wavelet transform-based method. According to the results obtained, it was observed that the proposed paradigm activated more frequency bands on the P300 potential. In addition, using the proposed method, higher P300 amplitude was obtained in many channels. The three-dimensional column paradigm achieved an average of 6.03% higher wavelet transform coefficient. As a result, more effective P300 signals are received in stimulus presentation using the proposed paradigm, increasing the BCI system performance.

Keywords: Wavelet transform, P300, BCI, EEG.

* Sorumlu Yazar: onurerdem.korkmaz@atauni.edu.tr

1. Giriş

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) çalışmalarında temel amaç, hiçbir kasını istemli kullanamayacak derecedeki felçli ve ALS (ing. Amyotrofik Lateral Skleroz, ALS)'li bireylerin çevresindeki bireylerle etkileşim kurmalarını sağlayacak heceleme sistemi, bilgisayar kullanımı, robotik bir kolu hareket ettirme ve diğer nöro protezlerini kullanmalarını sağlayacak bir bilgisayar arayüzü gerçekleştirmektir. BBA sistemlerinde giriş sinyali olarak genellikle kafa derisinden kaydedilen elektroensefalogram (EEG) sinyalleri kullanılmaktadır (Aydemir & Kaykicioglu, 2011).

EEG tabanlı BBA sistemleri kullanılarak, bilgisayar faresi (McFarland, Krusienski, Sarnacki, & Wolpaw, 2008), robotik kol (Cao vd., 2021), tekerlekli sandalye (Palumbo, Gramigna, Calabrese, & Ielpo, 2021) heceleme (Yin, Zhou, Jiang, Yu, & Hu, 2014), oyun (Li vd., 2021) ve hatta güvenlik sistemlerine (Ahmad & Ahuja, 2022) kadar birçok uygulama geliştirilmiştir. BBA sistemlerinin en sık kullanıldığı alanlardan biri de heceleme sistemleridir (Aggarwal & Chugh, 2022). Heceleme sistemleri, bireylerin bilgisayar ekranında bulunan sanal bir klavyeyle düşüncelerini yazarak etrafındaki kişilere aktarmalarını sağlayan en güncel BBA uygulamalarından biridir.

Literatürde EEG sinyallerinin kullanımından elde edilen öznitelikleri kullanarak genellikle motor hayali (Arpaia, Esposito, Natalizio, & Parvis, 2022; Kevric & Subasi, 2017; Stephe & Kumar, 2022), olay ilişkili P300 potansiyel temelli (Sellers, Krusienski, McFarland, Vaughan, & Wolpaw, 2006; Won, Kwon, Ahn, & Jun, 2022; Xu vd., 2013) ve kararlı durum görsel olarak uyarılmış potansiyel tabanlı (Jalilpour, Sardouie, & Mijani, 2020; Muller-Putz & Pfurtscheller, 2007; Z. Wu, Lai, Xia, Wu, & Yao, 2008) olmak üzere üç ana yaklaşım vardır. Bunlardan olay ilişkili P300 potansiyeli, EEG tabanlı BBA sistemlerinde kısa sürede meydana gelmesi, göz hareketi artefaktlarından etkilenmemesi ve bu sistemler için bir ön eğitim aşaması gerektirmemesi nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bu nedenle, P300 bileşenleri kullanılarak, sınıflandırma doğruluğu ve bilgi aktarım hızı açısından yüksek performanslı BBA sistemleri elde edilebilmektedir.

P300 tabanlı heceleme sistemleri en umut verici ve hayati önemde sahip BBA uygulamalarından biridir. Bu tür sistemlerde, P300 olaya bağlı potansiyel kullanılarak, engelli bireylerin kas aktivitesi olmadan bilgisayar ekranındaki harfleri veya diğer karakterleri seçerek çevreleriyle iletişim kurması sağlanmaktadır (Won vd., 2022). Bu sistemlerde en yaygın şekilde harflerden-karakterlerden oluşan ve sanal klavyeyi simüle eden bir matriste görüntülediği klasik iki boyutlu satır-sütun (2B-SS) flaşlanması paradigması kullanılır. Burada satırlar ve sütunlar rastgele yanıp sönerken (flaşlanma) kullanıcı hedef olarak da adlandırılan istenen harf veya karaktere odaklanır. Kullanıcının beyin sinyallerinde hedef karakter flaşlanmalarından yaklaşık 300 milisaniye (ms) sonra pozitif genlikli bir elektriksel tepki oluşmaktadır (Obeidat, Campbell, & Kong, 2015). 300 ms sonra ortaya çıkan bu pozitif genlik değerine P300 dalgası denir. Sonuç olarak, P300 heceleme sistemleri, P300 bileşenlerinin varlığını inceleyerek hedef ve hedef dışı flaşlanmaları tespit ederek katılımcının odaklandığı harfi tespit etmektedir.

Literatürdeki P300 tabanlı heceleme sistemlerine ait bir çok çalışma, görsel uyaran sunumunun sistem performansını nasıl etkilediğini araştırmaya yöneliktir (Janapati, Dalal, & Sengupta, 2022). Lu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (Lu, Li, Gao, &

Yang, 2020) katılımcıların kendi yüzleri ve ünlü kişilerin yüzlerinden oluşan bir paradigma tasarlamışlar ve karşılaştırmalı sonuçlar elde etmişlerdir. Toplam 10 katılımcı ile gerçekleştirdikleri çalışmada çevrimiçi oturumda ortalama %85.3 sınıflandırma doğruluğu (SD) elde etmişlerdir. P300 tabanlı başka bir çalışmada Wu ve arkadaşları (Y. Wu, Zhou, Lu, & Li, 2020), mevcut P300 heceleme sistemlerine ait SD performansının ve bilgi aktarım hızının gerçek dünya uygulaması için yetersiz olduğunu belirtmiş ve sanal bir karakter matrisinde karakterlerin üzerine yeşil bir nokta veya kırmızı bir çizgi yerleştirerek yeni bir matris formatı önermiştir. 11 katılımcıyla yürüttükleri çevrimdışı çalışma, ortalama %97.27'lik bir SD elde etmişlerdir. Literatürde yer alan bir diğer çalışmada ise Qu ve arkadaşları geliştirdikleri üç boyutlu tek karakter flaşlanması esaslı paradigma ile toplam 12 katılımcıyla yaptıkları çevrimiçi deneylerde ortalama %94 SD elde etmişlerdir (Qu vd., 2018). P300 yazım paradigmasındaki görsel modüllasyonları değerlendiren bir çalışmada (Zhang, Jin, Li, Wang, & Cichocki, 2021), toplam 10 kişi ile çevrimiçi ve çevrimdışı deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, çevrimiçi oturumda beyaz çerçevedeki kırmızı yüz paradigmasının mavi çerçevedeki kırmızı yüz paradigmasından ve kırmızı çerçevedeki kırmızı yüz paradigmasından daha yüksek ortalama SD sağladığını göstermiştir. Xu ve arkadaşları (Xu vd., 2013) kararlı durum görsel uyarılmış potansiyel (ing. Steady-State Visual Evoked Potentials, SSVEP) ve P300 tabanlı hibrit bir yaklaşımla geliştirdikleri paradigmayı kullanarak toplam 12 katılımcıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir. SSVEP-P300 ve sadece P300 paradigması kullanılarak iki farklı oturumda gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler dalgacık dönüşümü ve topografik görseller kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen hibrit yaklaşımın daha etkin olay ilişkili potansiyeller meydana getirdiği görülmüştür. Bir diğer çalışmada ise Arvaneh ve arkadaşları (Arvaneh, Robertson, & Ward, 2019), geliştirdikleri nöro geribildirim tabanlı heceleme sisteminin etkinliğini 28 yetişkin bireyle gerçekleştirdikleri deneylerle göstermişlerdir. Elde edilen zaman-frekans görsellerine göre, geliştirilen yeni paradigmanın 150-550 ms zaman aralığında olay ilişkili potansiyel aktivitesini artırdığı görülmektedir.

Scharinger ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (Scharinger, Soutschek, Schubert, & Gerjets, 2017), iki farklı psikolojik görev sonucunda oluşan P300 işaretleri hem zaman-frekans açısından hem de P300 sinyallerine ait genel genlik ortalaması açısından karşılaştırılmıştır. Bir diğer çalışmada ise De Vos ve arkadaşları (De Vos, Kroesen, Emkes, & Debener, 2014), yerleşik ve mobil EEG cihazları kullanılarak elde edilen P300 sinyallerini hem genlik açısından hem de sınıflandırma doğrulukları açısından karşılaştırmışlardır. P300 sinyallerini sadece genlik açısından veya sınıflandırma doğruluğu açısından karşılaştırmak eksik kalacaktır. İki farklı durum sonucunda elde edilen P300 sinyallerinin hem zaman uzayında ne gibi bir değişikliğe sebebiyet verdiği hem de frekans uzayında nasıl bir farklılık meydana getirdiği ayrıntılı bir şekilde açıklanmalıdır. Bu sayede sınıflandırma doğruluğunu nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bilgi edilmiş olur. Ayrıca, etkin frekans bölgesi kullanılarak daha düşük hesaplama maliyetiyle daha hızlı işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Bu açıdan hem zaman hem de frekans yönüyle karşılaştırma imkânı sağlayan dalgacık dönüşümü esaslı bir yöntem kullanmak, ayrıntılı karşılaştırma açısından önemlidir.

Literatürde yapılan bir diğer çalışmada ise Korkmaz ve arkadaşları (Korkmaz, Aydemir, Oral, & Ozbek, 2022), geliştirdikleri üç boyutlu sütun (3B-S) flaşlanması paradigmasını

kullanarak klasik 2B-SS flaşlanması paradigmasına göre sistem performansını değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 3B-S paradigmasıyla 15 flaşlanma ile en yüksek %99.81 SD elde etmişlerdir. Ayrıca 3B-S paradigmasını kullanarak klasik 2B-SS paradigmasına göre 1,3 ve 15 flaşlanma için sırasıyla %4.36, %1.01 ve %0.11 performans iyileştirmesi sağlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre 3B-S paradigmasının SD açısından yüksek performans sağladığı vurgulanmıştır. Ancak, 3B-S paradigmasının 2B-SS paradigmasından farklı olarak, P300 olay ilişkili potansiyel üzerinde hem zaman hem de frekans uzayı açısından ne gibi farklılıklar meydana getirdiği incelenmemiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada Korkmaz ve arkadaşlarının kaydettikleri 2B-SS ve 3B-S paradigmalarına ait veri seti, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Dalgacık dönüşümü aynı anda hem frekans hem de zaman açısından değerlendirme imkânı sağlayan bir yöntemdir. Bu şekilde her iki paradigmanın olay ilişkili P300 potansiyeli üzerindeki etkisi hem zaman hem de frekans açısından ele alınarak karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu başlık altında öncelikle çalışmada kullanılan veri seti tanıtılmış, daha sonra veri seti oluşturulurken kullanılan paradigmlar, EEG kaydı, deneysel prosedür ve son olarak sinyal işleme başlıkları açıklanmıştır. Çalışmanın blok diyagramı ise Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Yürütülen Çalışmanın Blok Diyagramı

2.1. Veri Seti Tanıtımı

2B-SS ve 3B-S paradigmaları kullanılarak iki farklı oturumda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yanlılığı önlemek adına katılımcıların yarısı önce 2B-SS daha sonra 3B-S paradigması deneyine katılmış, diğer yarısı ise bunun tam tersi olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler yaş ortalaması 28 ± 4.84 olan 5 erkek ve yaş ortalaması 27 ± 4.15 5 kadın olmak üzere toplam 10 katılımcıyla gerçekleştirilmiştir. Her iki kayıt oturumunda da katılımcılara toplam 60 hedef karakter sunulmuştur. Katılımcılar rahat bir koltukta oturmuş ve 1 metre uzaklıktaki ekrandan uyarın sunumunu izlerken EEG verileri kaydedilmiştir. Katılımcıların tamamı deneye katılmadan önceki gün rahat bir uyku uyduklarını ifade etmişlerdir. Deneylerden en az 5 saat öncesinde çay, kahve ve sigara gibi bilişsel işlevleri etkileyebilecek yeme içme faaliyetlerinden uzak durmuşlardır. Katılımcıların tamamı sağ elini kullanmaktaydı, nörolojik ya da başka herhangi bir rahatsızlıkları bulunmamaktaydı.

2.2. Paradigma

BBA uygulamalarında genellikle Donchin ve arkadaşları tarafından önerilen (Farwell & Donchin, 1988), ve klasik paradigma olarak da adlandırılan 2B-SS flaşlanması esaslı uyarın

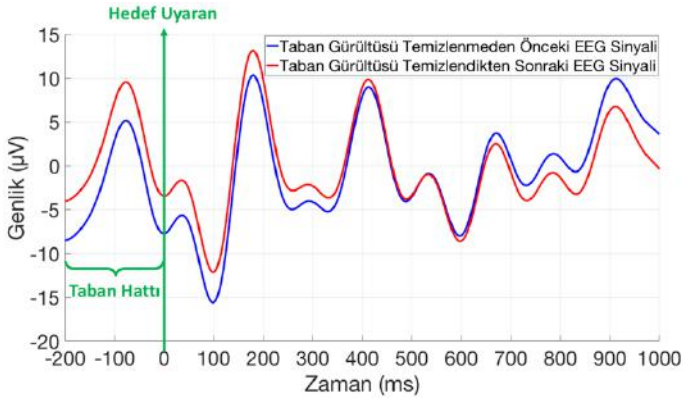
sunumu kullanılmaktadır. Korkmaz ve arkadaşları tarafından geliştirilen (Korkmaz vd., 2022) 3B-S flaşlanması esaslı paradigma ve klasik 2B-SS flaşlanması paradigmaları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Klasik 2B-SS paradigmasında katılımcılara öncelikle 6x6 matris içerisinde karakterler gösterilmektedir. Daha sonra bu karakterlerden bir tanesi hedef olarak gösterildikten sonra uyarın sunumu başlamaktadır. Uyarın sunumunda her defasında bir satır ve bir sütun olacak şekilde toplam 12 flaşlanma işlemi gerçekleştirilir. 6 sütun ve 6 satırın birer kez flaşlanmasıyla toplam 12 flaşlanma işlemi gerçekleştirilir. Bu 12 flaşlanma paketine bir “deneme” denilmektedir. Olay ilişkili P300 potansiyeli tek denemeden oluşmadığı için birden fazla deneme gerçekleştirilir. Veri seti oluşturulurken toplam 15 deneme flaşlanması gerçekleştirilmiştir ve buna da bir “koşum” denilmektedir. 2B-SS paradigması oturumunda bir hedef karakter için toplam 180 (12x15) satır-sütun flaşlanması gerçekleştirilerek uyarın sunumu tamamlanır. 2B-SS oturumu deney prosedürü Şekil 2.a’da görülmektedir.

Önerilen 3B-S paradigması literatürde bulunan iki yaklaşımın birleşiminden oluşmaktadır. Bu çalışmalardan ilkinde, Qu ve arkadaşları yaptıkları üç boyutlu tek karakter flaşlanması paradigmasında üç boyut efektinin beyin olay ilişkili potansiyel tepkisini artırdığını göstermişlerdir. Ancak bu çalışmada tek karakter flaşlanması gerçekleştirildiğinden bilgi aktarım hızı oldukça yavaştır (Qu vd., 2018). Diğer çalışmada ise Ramirez-Quintana ve arkadaşları yalnızca sütun flaşlanmalarının olay ilişkili potansiyel tepkisini artırdığını göstermişlerdir (Ramirez-Quintana, Madrid-Herrera, Chacon-Murguía, & Corral-Martinez, 2021). Ancak bu çalışmada uyarın sunumları iki boyutlu gerçekleştirilmiştir. Korkmaz ve arkadaşları ise literatürde yer alan bu iki çalışma sonucunda elde edilen bilgilerden yola çıkarak hem üç boyutlu hem de yalnızca sütun flaşlanması temelli yeni bir uyarın sunumu paradigması geliştirmişlerdir. Önerilen paradigmaya ait prosedür ise Şekil 2.b’de görülmektedir. Buna göre katılımcıya 6x6 matriste karakterler gösterilir ve bu karakterlerden bir tanesi hedef olarak belirlenir. Daha sonra 6 sütunun tamamı rastgele flaşlandırılır. 6 flaşlanmanın tamamına bir “sütun deneme” denilmektedir. Yine olay ilişkili potansiyelin tek denemeden meydana gelmediği bilgisinden hareketle 15 sütun denemesi gerçekleştirilerek sütunlara ait uyarın sunumu tamamlanır. 15 sütun flaşlanmasının tamamına da bir “sütun koşum” denilmektedir ve bir sütun flaşlanmasında toplam 90 flaşlanma gerçekleştirilir (6x15). Bir sütun koşumu sonunda baştaki 6x6’lık karakter matrisini transpozu alınarak baştaki satırlardan yeni sütunlar elde edilir. Elde edilen yeni dağılımlı 6x6 karakter matrisi ve hedef karakterin yeni konumu tekrar gösterilerek bu kez satırların transpozundan elde edilen yeni sütunlar (satur^T) benzer şekilde flaşlandırılarak bir hedef karakter için uyarın sunumu tamamlanır.

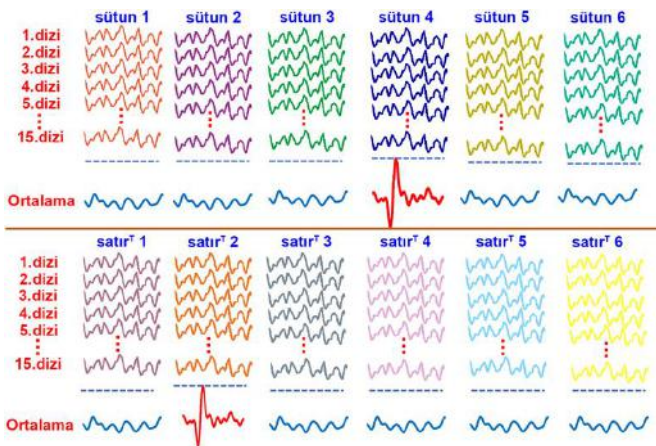
200 ms ve 600 ms'de görünen pozitif tepe noktaları ise sırasıyla P200 ve P600 olarak adlandırılır.

Elde edilen EEG sinyallerine beş aşamalı veri işleme adımı uygulanmıştır. Bunlar ön işleme, segmentasyon, taban çizgisi kaldırma, ortalama ve dalgacık dönüşümü adımlarıdır. Ön işleme adımında, P300 sinyalleri düşük frekans bileşenlerine sahip olduğundan (Rakotomamonjy & Guigue, 2008), 0.1-10 Hz bant geçiren filtre uygulanmıştır. Segmentasyon adımında ise, tüm kanallardaki EEG verisi uyarın gelmeden önceki 200 ms ve uyarın geldikten sonraki 1000 ms'lik parçalara ayrılır. Bu işlem her kanal ve her satır sütun flaşlanması denemesine uygulanır. Taban çizgisi kaldırma adımında ise uyarandan önceki 200 ms'lik EEG parçası taban çizgisi olarak belirlenir ve uyarın sonrası 1000 ms'lik EEG parçası bu taban çizgisine göre düzenlenir. Şekil 5'te taban çizgisi kaldırılmadan önceki ve taban çizgisi kaldırıldıktan sonraki EEG sinyalleri görülmektedir.



Şekil 5. Taban gürültüsü kaldırılmadan önceki ve taban gürültüsü kaldırıldıktan sonraki EEG sinyalleri

Ortalama alma adımında ise taban hat gürültüsü kaldırılmış EEG sinyal parçaları, ilgili satır ve sütun denemelerinin hepsinin ortalaması alınarak olay ilişkili P300 potansiyelleri elde edilir. Şekil 6'da bir kanal için, her bir satır sütun flaşlanmasından sonra elde edilmiş temsili 1.2 saniyelik (200 ms + 1000 ms) EEG parçaları görülmektedir. Temsili görselde, 4.sütun ve 2.satır^T'da yer alan "J" harfi hedef karakter olarak gösterildiğinden, bu sütun ve satır^T'larına ait 1.2 saniyelik EEG parçalarının ortalamasından olay ilişkili P300 sinyali elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6. Her bir sütun ve satır için elde edilmiş temsili ortalama EEG sinyalleri

Dalgacık dönüşümü adımında ise, her iki paradigma verisinden elde edilen CP1, Cz, CP2, P3, P7, Pz, P4, P8, O1, Oz ve O2 kanallarında, tüm kişiler ve tüm hedef karakterler için elde edilmiş ortalama P300 işaretlerine dalgacık dönüşümü uygulanmıştır.

Dalgacık dönüşümü zaman-frekans lokalizasyonu sağlaması açısından önemli bir yöntemdir. Dalgacık analizinin en önemli noktası, uygun bir dalgacık fonksiyonunun seçimidir. Ayrıca dalgacık fonksiyonunun ve analiz edilecek sinyallerin benzerliği, faydalı bilgiler elde etmek için önemlidir (Aydemir & Kayıkcıoğlu, 2011). Literatürde sıklıkla kullanılan Morse, Morlet, ve Bump dalgacık türlerinden Morlet dalgacık, analiz edilecek sinyallere en çok benzeyen şekle sahiptir. Yine Morlet dalgacık fonksiyonunu, frekans alanında iyi lokalize olmasından dolayı bu çalışmada kullanılmıştır.

Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), orijinal $x(t)$ sinyali ile $\psi_{\tau,s}(t)$ dalgacık fonksiyonunun konvolüsyonu olarak tanımlanır ve Eşitlik 1 ile gösterilmektedir;

$$SDD_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (1)$$

Eşitlikte $\psi_{(\tau,s)}(t)$, $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonunun genişleme ve kaydırılmış versiyonunu göstermektedir ve Eşitlik 2'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır;

$$\psi_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi \left(\frac{t-\tau}{s} \right) \quad (2)$$

Burada t , τ ve s sırasıyla zaman, öteleme ve ölçekleme parametrelerini göstermektedir (Adeli, Zhou, & Dadmehr, 2003). Dalgacık fonksiyonu Eşitlik 3'te gösterildiği gibi sıfır ortalamaya sahiptir;

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_{\tau,s}(t) dt = 0 \quad (3)$$

Dalgacık dönüşümü katsayılarının genlik kareleri toplamları (dalgacık dönüşümü katsayıları gücü, DDKG) Eşitlik 4'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$DDKG = \sum_{i=1}^n |w_i|^2 \quad (4)$$

Eşitlikte w_i , i . dalgacık dönüşümü katsayısını, n ise toplam dalgacık katsayısını göstermektedir.

3. Sonuçlar

Her iki paradigma kullanılarak kaydedilen EEG verisinden CP1, Cz, CP2, P3, P7, Pz, P4, P8, O1, Oz ve O2 kanallarında, tüm kişiler ve tüm hedef karakterler için elde edilmiş ortalama P300 işaretlerine dalgacık dönüşümü uygulanarak Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da yer alan grafikler elde edilmiştir. Şekillerde 1.sütunda 2B-SS, 2.sütunda 3B-S ve satırlarda ise kanallara ait görseller yer almaktadır. Her bir görselde yatay eksen ms cinsinden zamanı, dikey eksen Hz cinsinden frekansı göstermektedir. Zaman eksenini doğrusal şekilde artarken frekans eksenini logaritmik şekilde artmaktadır. Şekillerdeki renkli kısım ise ilgili frekans ve zaman bölgesindeki büyüklüğü göstermektedir ve 0.1 ile 1 arasında bir değere ait renk skalasını göstermektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, görsel uyaranların çoğunlukla oksipital ve parietal bölgede aktivasyon meydana getirdiği görülmektedir yine temporal ve sentral bölgelerde de aktivasyon meydana getirdiğine dair çalışmalar da bulunmaktadır (Fink vd., 1996; Indovina & Macaluso, 2004; Neville & Lawson, 1987). Bu çalışmada iki farklı görsel uyaran sonucunda oluşan olay ilişkili P300 potansiyeli karşılaştırıldığından sentral (CP1, Cz ve CP2), parietal (P3, P7, Pz, P4 ve P8), ve oksipital (O1, Oz ve O2) bölge elektrotları kullanılarak karşılaştırmalı sonuçlar verilmiştir.

Elde edilen grafikler kabaca değerlendirildiğinde, 3B-S paradigmasına ait ortama P300 sinyallerinin, 2B-SS paradigmasına göre daha geniş bir frekans bandına yayıldığı görülmektedir. Yine bazı istisnalar dışında 3B-S paradigması kullanılarak elde edilen olay ilişkili P300 potansiyelinin 2B-SS paradigması kullanılarak elde edilen olay ilişkili P300 potansiyellerinden daha yüksek genlik değerine sahip olduğu Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'dan görülmektedir. Ayrıca grafiklerden 3B-S paradigmasına ait ortalama P300 sinyallerinin tepe noktasının, 2B-SS paradigmasına ait ortalama P300 sinyallerinden daha erken ortaya çıktığı görülmektedir.

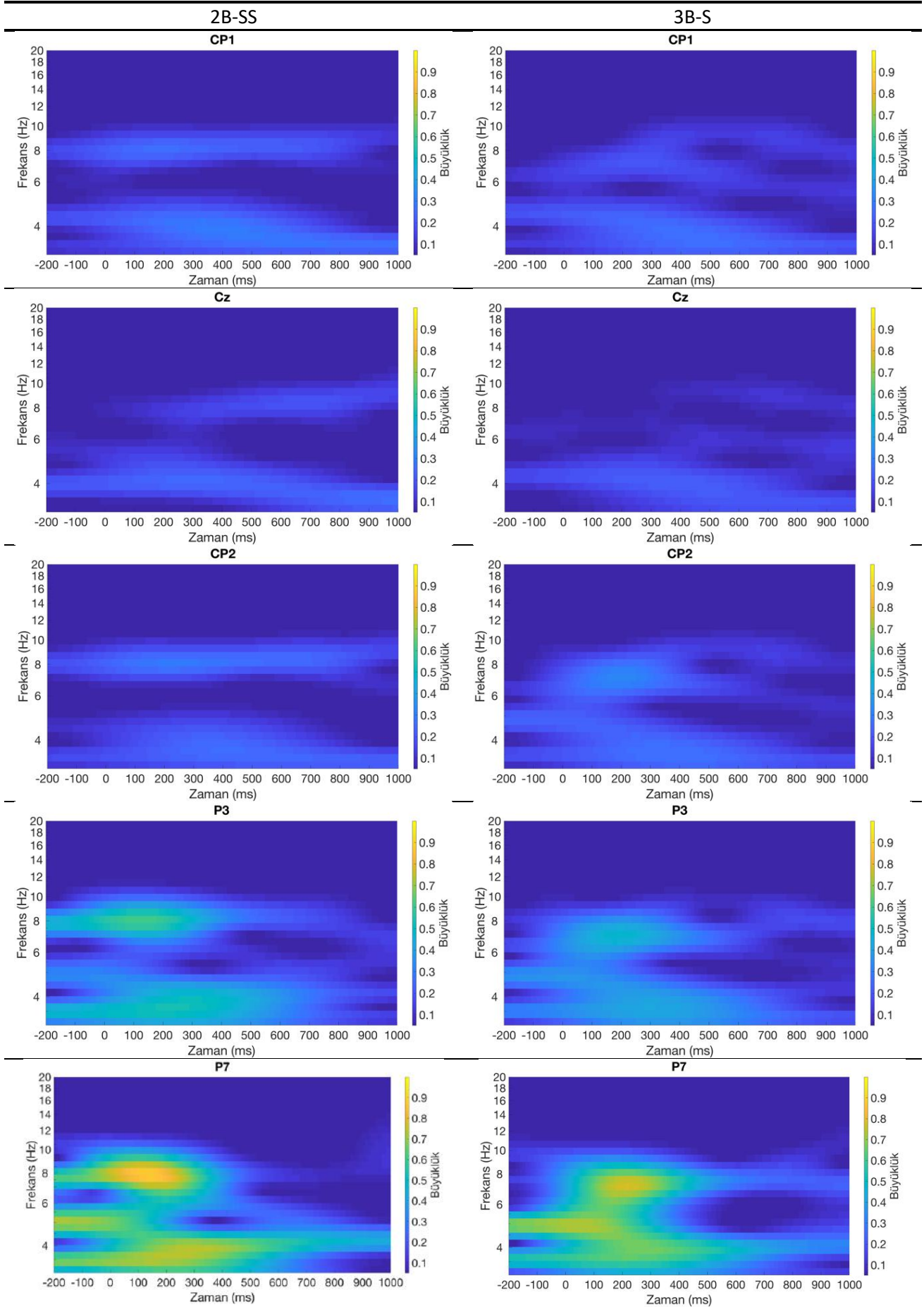
Yapılan ayrıntılı değerlendirmeler sonucunda 3B-S paradigmasına ait P300 sinyalleri özellikle P4, P8 ve O1 kanallarında 2B-SS paradigmasına ait P300 sinyallerinden çok daha yüksek genlik değerine sahiptir. 2B-SS paradigmasında genellikle 3. ve 8. Hz civarlarında bir aktivasyon görünürken, 3B-S paradigması deneyinde 3 ile 10 Hz arasındaki tüm frekans bandında bir aktivasyon görülmektedir. Her iki paradigma arasındaki en büyük fark ise P8 kanalında görülmektedir. Bu kanalda özellikle 0 ile 400 ms arasında 3 ile 10 Hz arası frekans bölgesinde 3B-S paradigması için en yüksek aktivasyon değeri elde edilmiştir.

Ayrıca her iki paradigma arasındaki farkın sayısal açıdan değerlendirilebilmesi için DDKG hesaplanmıştır. Elde edilen DDG değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

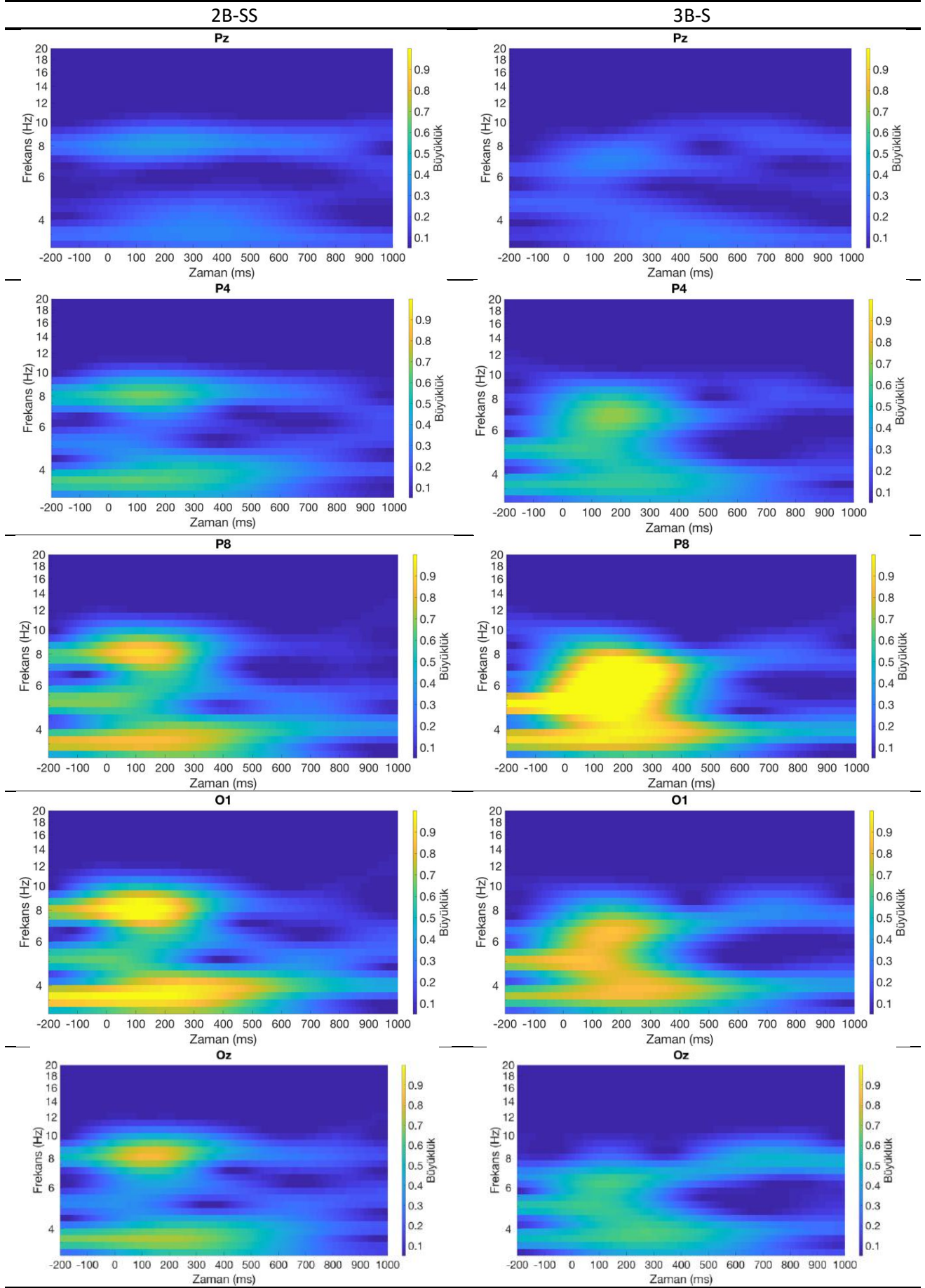
Tablo 1. Her iki paradigma için elde edilen DDKG değerleri

Kanallar	Dalgacık Dönüşümü Katsayıları Gücü		Artış Oranı (%)
	2B-SS	3B-S	
Cp1	118.45	143.87	17.67
Cz	74.96	95.79	21.75
Cp2	135.14	151.08	10.55
P3	472.64	325.53	-25.86
P7	1067.40	886.70	-20.38
Pz	168.06	222.44	24.45
P4	600.45	670.23	10.41
P8	1162.80	2013.70	42.26
O1	1532.60	1220.06	-16.10
Oz	813.02	824.45	1.39
O2	1024.90	1026.80	0.19
ORTALAMA			6.03

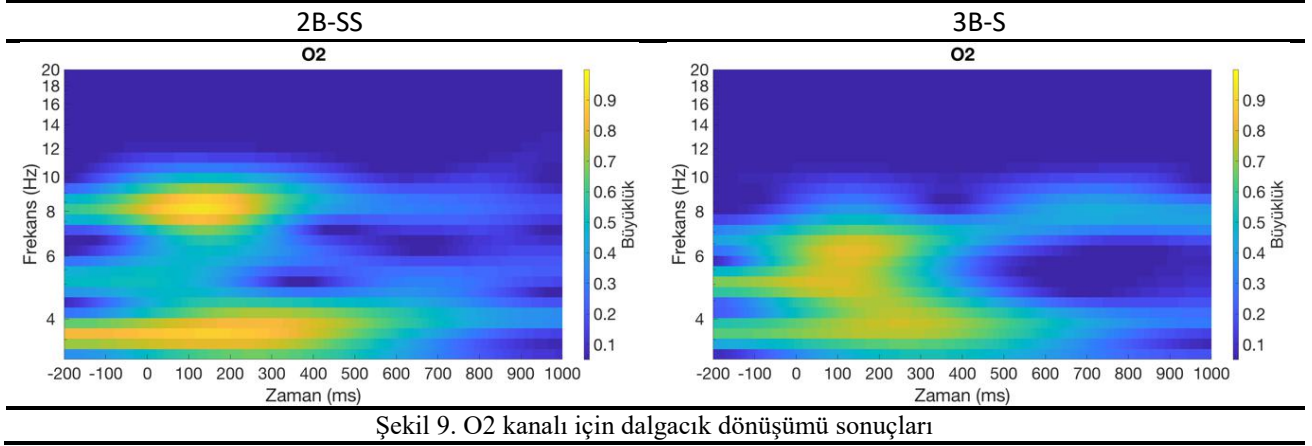
Tablo 1'de yer alan sonuçlar incelendiğinde P3, P7 ve O1 kanallarının dışındaki tüm kanallarda 3B-S paradigmasına ait DDKG, 2B-SS paradigmasına ait DDKG'larından daha yüksektir. 3B-S paradigması kullanılarak ortalama %6.03'lük bir DDKG artış değeri elde edilmiştir.



Şekil 7. Cp1, Cz, Cp2, P3 ve P7 kanalları için dalgacık dönüşümü sonuçları



Şekil 8. Pz,P4, P8, O1 ve Oz kanalları için dalgacık dönüşümü sonuçları



Şekil 9. O2 kanalı için dalgacık dönüşümü sonuçları

4. Bulgular

Çalışma kapsamında literatürde var olan veri seti üzerinde dalgacık dönüşümü esaslı karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Klasik 2B-SS paradigması ve önerilen 3B-S paradigması kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen veri seti kullanılarak, her iki paradigmanın olay ilişkili P300 potansiyeli üzerindeki etkisi hem zaman hem de frekans uzayında incelenmiştir. Sonuçlara göre 3B-S paradigması kullanılarak elde edilen P300 sinyalinin, 2B-SS paradigması kullanılarak elde edilen P300 sinyalinden daha fazla frekans bandında aktivasyon gösterdiği görülmüştür. Ayrıca yine 3B-S paradigması kullanılarak elde edilen P300 sinyalinin daha yüksek genlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Her iki paradigma arasındaki en büyük farklılık P8 kanalında görülmüştür. Görsel uyaranların oksipital ve parietal bölgede aktivasyon gösterdiği bilgisinden hareketle, geliştirilen yeni üç boyutlu sütun flaşlanması esaslı uyaran sunumunun beyin görsel bölgesinde daha yüksek aktivasyon oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca 3B-S paradigması kullanılarak elde edilen P300 tepe değerinin, 2B-SS paradigması kullanılarak elde edilen P300 tepe değerinden zaman açısından daha erken oluştuğu görülmektedir. Yapılan literatür araştırması sonucunda, beyin tarafından daha çabuk adapte olunan ve daha kolay yorumlanan paradigmalarda P300 gecikmesinin daha düşük olduğu görülmektedir (Kim, Kim, Yoon, & Jung, 2008; Polich, 1987). Buna göre 3B-S paradigmasından elde edilen P300 sinyalinin gecikme değerinin daha düşük olması, oluşturulan paradigmanın beyin tarafından daha kolay yorumlandığını göstermektedir. 3- İnsan beyni günlük hayatta üç boyut etkisine alışkın olduğundan, hazırlanan üç boyutlu sütun paradigmasıyla elde edilen olay ilişkili potansiyellerin iki boyutlu satır sütun paradigmasına göre daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

Adeli, H., Zhou, Z., & Dadmehr, N. (2003). Analysis of EEG records in an epileptic patient using wavelet transform. *Journal of neuroscience methods*, 123(1), 69-87.

Aggarwal, S., & Chugh, N. (2022). Review of machine learning techniques for EEG based brain computer interface. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-20.

Ahmad, M. M., & Ahuja, K. (2022). Role of 5G Communication Along With Blockchain Security in Brain-Computer Interfacing: A Review. *Futuristic Design and Intelligent Computational Techniques in Neuroscience and Neuroengineering*, 65-85.

Arpaia, P., Esposito, A., Natalizio, A., & Parvis, M. (2022). How to successfully classify EEG in motor imagery BCI: a metrological analysis of the state of the art. *Journal of Neural Engineering*.

Arvaneh, M., Robertson, I. H., & Ward, T. E. (2019). A p300-based brain-computer interface for improving attention. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 524.

Aydemir, O., & Kayikcioglu, T. (2011). Wavelet transform based classification of invasive brain computer interface data. *Radioengineering*, 20(1), 31-38.

Cao, L., Li, G., Xu, Y., Zhang, H., Shu, X., & Zhang, D. (2021). A brain-actuated robotic arm system using non-invasive hybrid brain-computer interface and shared control strategy. *Journal of Neural Engineering*, 18(4), 046045.

Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain

potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70(6), 510-523.

Jalilpour, S., Sardouie, S. H., & Mijani, A. (2020). A novel hybrid BCI speller based on RSVP and SSVEP paradigm. *Computer methods and programs in biomedicine*, 187, 105326.

Janapati, R., Dalal, V., & Sengupta, R. (2022). Advances in Experimental Paradigms for EEG-BCI. Paper presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications.

Kevric, J., & Subasi, A. (2017). Comparison of signal decomposition methods in classification of EEG signals for motor-imagery BCI system. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 398-406.

Kim, K. H., Kim, J. H., Yoon, J., & Jung, K.-Y. (2008). Influence of task difficulty on the features of event-related potential during visual oddball task. *Neuroscience letters*, 445(2), 179-183.

Korkmaz, O. E., Aydemir, O., Oral, E. A., & Ozbek, I. Y. (2022). An efficient 3D column-only P300 speller paradigm utilizing few numbers of electrodes and flashings for practical BCI implementation. *PloS one*, 17(4), e0265904.

Li, M., Li, F., Pan, J., Zhang, D., Zhao, S., Li, J., & Wang, F. (2021). The mindgomoku: An online P300 BCI game based on Bayesian deep learning. *Sensors*, 21(5), 1613.

Lu, Z., Li, Q., Gao, N., & Yang, J. (2020). The self-face paradigm improves the performance of the P300-speller system. *Frontiers in computational neuroscience*, 13, 93.

McFarland, D. J., Krusienski, D. J., Sarnacki, W. A., & Wolpaw, J. R. (2008). Emulation of computer mouse control with a noninvasive brain-computer interface. *Journal of Neural Engineering*, 5(2), 101.

Muller-Putz, G. R., & Pfurtscheller, G. (2007). Control of an electrical prosthesis with an SSVEP-based BCI. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 55(1), 361-364.

Obeidat, Q. T., Campbell, T. A., & Kong, J. (2015). Introducing the edges paradigm: a P300 brain-computer interface for spelling written words. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 45(6), 727-738.

Palumbo, A., Gramigna, V., Calabrese, B., & Ielpo, N. (2021). Motor-imagery EEG-based BCIs in wheelchair movement and control: A systematic literature review. *Sensors*, 21(18), 6285.

Polich, J. (1987). Task difficulty, probability, and inter-stimulus interval as determinants of P300 from auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 68(4), 311-320.

Qu, J., Wang, F., Xia, Z., Yu, T., Xiao, J., Yu, Z., . . . Li, Y. (2018). A novel three-dimensional P300 speller based on stereo visual stimuli. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(4), 392-399.

Rakotomamonjy, A., & Guigue, V. (2008). BCI competition III: dataset II-ensemble of SVMs for BCI P300 speller. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 55(3), 1147-1154.

Ramirez-Quintana, J. A., Madrid-Herrera, L., Chacon-Murguia, M. I., & Corral-Martinez, L. F. (2021). Brain-computer interface system based on p300 processing with convolutional neural network, novel speller, and low number of electrodes. *Cognitive Computation*, 13(1), 108-124.

Sellers, E. W., Krusienski, D. J., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2006). A P300 event-related potential brain-computer interface (BCI): the effects of matrix size and

- inter stimulus interval on performance. *Biological psychology*, 73(3), 242-252.
- Stephe, S., & Kumar, K. V. (2022). Motor Imagery EEG Recognition using Deep Generative Adversarial Network with EMD for BCI Applications. *Tehnički vjesnik*, 29(1), 92-100.
- Won, K., Kwon, M., Ahn, M., & Jun, S. C. (2022). EEG Dataset for RSVP and P300 Speller Brain-Computer Interfaces. *Scientific Data*, 9(1), 1-11.
- Wu, Y., Zhou, W., Lu, Z., & Li, Q. (2020). A spelling paradigm with an added red dot improved the P300 speller system performance. *Frontiers in neuroinformatics*, 14, 589169.
- Wu, Z., Lai, Y., Xia, Y., Wu, D., & Yao, D. (2008). Stimulator selection in SSVEP-based BCI. *Medical engineering & physics*, 30(8), 1079-1088.
- Xu, M., Qi, H., Wan, B., Yin, T., Liu, Z., & Ming, D. (2013). A hybrid BCI speller paradigm combining P300 potential and the SSVEP blocking feature. *Journal of Neural Engineering*, 10(2), 026001.
- Yin, E., Zhou, Z., Jiang, J., Yu, Y., & Hu, D. (2014). A dynamically optimized SSVEP brain-computer interface (BCI) speller. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 62(6), 1447-1456.
- Zhang, X., Jin, J., Li, S., Wang, X., & Cichocki, A. (2021). Evaluation of color modulation in visual P300-speller using new stimulus patterns. *Cognitive Neurodynamics*, 15(5), 873-886.



Anatomi Eğitiminde Mobil Öğrenmenin Öğrencilerin Öğrenme Becerileri ve Motivasyonuna Etkisi: Sistemik Derleme

Esin Erbek^{1*}, Güneş Bolatlı²

^{1*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0883-8532), esinerbek89@gmail.com

² Siirt Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7648-0237), gunesbolatli83@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 13 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1174875)

ATIF/REFERENCE: Erbek Esin, & Bolatli, G. (2022). The Effect of Mobile Learning in Anatomy Education on Learning Skills and Motivation of Students: Systematic Review. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 269-284.

Öz

Anatomik yapıların anlaşılmasını kolaylaştıran teknolojiler, klasik yöntemlere kıyasla öğrenciler için avantajlıdır. Mobil öğrenme ve üç boyutlu (3D) görselleştirme yöntemlerinin öğrencilerin algı, memnuniyet ve kullanılabilirlikleri açısından oldukça faydalı olduğu bilinmektedir. Bu sistemik derlemenin genel amacı; anatomi eğitiminde mobil öğrenmenin etkilerini araştıran çalışmalarını değerlendirmektir. Araştırmada Google Scholar, Medline, Pubmed ve Web of Science gibi elektronik veri tabanları kullanıldı. Anatomi eğitiminde mobil uygulama kullanımı 2013'den sonraki yayınlanan taramalar incelendi. "anatomy education" ve "mobile learning" anahtar kelimeler kullanılarak, anatomi eğitiminde kullanılan mobil uygulamalar hakkında bilgi içeren araştırma çalışmaları analiz edildi. Araştırmaya Ocak 2013 ve Mart 2022 tarihleri arasındaki veriler toplandı. Bu kapsamda elektronik taramalar sonucunda 12220 makaleye ulaşılmıştır. Araştırmada uygunluk açısından 779 bilimsel yayına ulaşılmış ve bu yayınlardan 30 tanesi, çalışmanın konusuyla ilişkili bulunmuş ve incelemeye alınmıştır. Sistemik inceleme kapsamında 20 (%66) çalışmada mobil öğrenmenin 3D öğrenimi kolaylaştırdığı, motive edici ve eğlenceli olduğu ifade edilmiştir. Çalışmanın 19 (%63) tanesinde anatomi eğitiminde tıp fakültesi öğrencilerinin mobil uygulamalar ile öğrenme etkinliği araştırılmış ve öğrencilerden olumlu dönüşler alınmıştır. Fakat 6 (%20) çalışmada öğrenciler kadavra eğitimi ile öğreniminin daha kolay olduğunu, okul dışında internet erişiminin sıkıntılı olduğunu, kişisel cihazlarına programları indirmede zorlandıklarını ve programların ücretli olmasından dolayı kullanmadıklarını dile getirmişlerdir. 30 çalışmanın 6 (%20) tanesini artırılmış gerçeklik (AR) ile yapılan uygulamalar oluşturmaktadır. Çalışmaların 8 (%26) tanesinde mobil uygulama ile anatomi öğrenen öğrencilerde final sınav sonuçlarının geleneksel yöntem ile öğrenen öğrencilere kıyasla daha yüksek puan aldığı görülmüştür. İncelenen makalelerde; sınıf içinde, laboratuvarında ve sınıf dışında anatomi eğitimi için kullanılan mobil öğrenme tekniklerinin, geleneksel öğrenme yöntemlerine göre başarıyı artırdığı ve daha motive edici olduğu göstermiştir. Mobil uygulamalardan en çok başarı AR programlarının sağladığı ve öğrenci başarısı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Anatomi Eğitimi, Artırılmış Gerçeklik, Mobil Öğrenme, Sistemik Derleme.

The Effect of Mobile Learning in Anatomy Education on Learning Skills and Motivation of Students: Systematic Review

Abstract

Technologies that facilitate the understanding of anatomical structures are advantageous for students compared to classical methods. It is known that mobile learning and three-dimensional (3D) visualization methods are very useful in terms of students' perception, satisfaction and usability. The general purpose of this systematic review is to evaluate the studies investigating the effects of mobile learning in anatomy education. Electronic databases such as Google Scholar, Medline, Pubmed and Web of Science were used in the research. The use of mobile applications in anatomy education scans published after 2013 was reviewed. Research studies containing information about mobile applications used in anatomy education were analyzed using the keywords "anatomy education" and "mobile learning". Data were collected for the study between January 2013 and March 2022. In this context, 12220 articles were reached due to electronic scans. In the research, 779 scientific publications were reached in terms of appropriateness and 30 were found to be related to the subject of the study and were considered. Within the scope of the systematic review, it was stated in 20 (66%) studies that mobile learning facilitates 3D learning, is motivating and fun. In 19 (63%) studies, the learning activity of medical faculty students in anatomy

* Sorumlu Yazar: esinerbek89@gmail.com

education with mobile applications was investigated and positive feedback was received from the students. However, in 6 (20%) studies, students stated that cadaveric education was easier, internet access outside the school was problematic, they had difficulty in downloading programs to their personal devices and they could not use the programs because they were paid. 6 (20%) of 30 studies are applications made with augmented reality (AR). In 8 (26%) of the studies, it was seen that the final exam results of the students who learned anatomy with mobile application got higher scores than the students who learned with the traditional method. Examined articles have shown that mobile learning techniques used for anatomy education in the classroom, in the laboratory, and outside the classroom increase success and are more motivating than traditional learning methods. It has been seen that AR programs provide the most success among mobile applications and do not negatively affect student success.

Keywords: Anatomy Education, Augmented Reality, Mobile Learning, Systematic Review.

1. Introduction

Anatomy is the basic course in all departments related to health sciences (Mansouri et al., 2020). Before studying clinical sciences, it teaches the structure and functioning of the human body. Inadequate anatomy training can potentially lead to misdiagnosis and incorrect practices. As a result, it is an indispensable part of quality medical education (A. Meyer, N. Stomski, S. Innes, & A. Armson, 2016).

Anatomy contains many details that need to be learned and memorized, so it is a rather difficult lesson for students. Many students need educational materials other than print resources to be successful. These materials are generally based on modern educational technologies (Mansouri et al., 2020). In particular, technologies that facilitate spatial visualization and understanding anatomical structures are advantageous for students compared to classical methods. It is known that 3D visualization methods are very useful for students' perception, satisfaction, and usability (Mendez-Lopez, Juan, Molla, & Fidalgo, 2022).

Traditionally, anatomy education is theoretical and cadaveric dissection-based learning. However, there are problems such as high cost, excessive time requirement and limited cadaver availability in cadaver dissection. These problems have led to the emergence of modern computer technologies and the discovery of innovative, complementary tools for anatomy education. One of the applications that have become widespread of these technological developments is mobile applications. These applications are preferred in terms of ease of use and effective use of time. In addition, their low cost has caused them to be widely used by students studying in the health field and used in all fields. In this context, it can be foreseen that mobile applications related to anatomy education can be used more frequently in terms of convenient access to the desired information (Tirkeş, Gökpinar, Arıcı, & Bayralı, 2021).

Mobile learning is defined as any kind of learning or teaching activity carried out with mobile tools. It allows students and instructors to access learning systems over wireless networks using mobile devices. In a study, it is determined that mobile learning has the following characteristics: "visual richness, scientific comprehensiveness, auditory richness, affordability, user-centricity, self-assessment, interactive content, user support." In addition, it is known that it increases the motivation and academic success of the students, as it provides learning at the desired time and at the desired place. These features have brought significant innovations in educational technology by expanding the boundaries of traditional educational methods and have led to an increase in the use of mobile learning. (Bolatlı & Kizil, 2022).

Mobile learning provides students with distinct advantages that can support the mobilized curriculum. It offers students

multiple entry points and learning paths and allows differentiated learning. It makes it possible for students to have different learning tool that suits their needs and to access multiple modalities through mobile devices. Mobile games were preferred to make anatomy education easy, fluent, and motivating. Interaction, competition, entertainment, visual and instant feedback, accessibility, and easy winning aspects of mobile games effectively reinforced learning (Şahin & Çavus, 2019).

The Basis Of Systematic Review: With the advancement of technology in anatomy education, the number of innovative learning resources is increasing. These developments also provide an opportunity to conduct a systematic review and thus assess the impact of innovative learning resources. Although students generally use mobile learning tools well, more experimental research is needed to integrate these applications into the anatomy education curriculum (Golenhofen et al., 2020).

The general purpose of this systematic review is to evaluate the studies investigating the effects of mobile applications in anatomy education. To achieve this goal, the following research questions have been determined: 1) How comprehensively is the mobile application evaluated in anatomy education? 2) What is the contribution of the mobile application to anatomy education?

2. Material and Method

2.1. Design of the Research

This study is a systematic review.

2.2. The Strategy of the Research

Electronic databases such as Google Scholar, Medline, Pubmed, and Web of Science were used in the research. Since the use of mobile applications in anatomy education is a new phenomenon, scans published after 2013 were examined. Research studies containing information about mobile applications used in anatomy education were analyzed using the keywords "anatomy education" and "mobile learning". Data were collected for the study between January 2013 and March 2022. The reference lists of other reviews, related review articles, and the files of the researchers were searched manually to determine the articles.

2.3. Inclusion and Exclusion Criteria in the Research

At the beginning of the research, all citation titles and abstracts were scanned. Articles deemed potentially appropriate were included as full text. If the inclusion of citations was found to be specific to anatomy education and included an assessment protocol detailing student learning, they were included in the study. There were no geographical restrictions, and only full texts in English were included in the study. Summary, letters to the

editor, compilations, systematic reviews, dissertations, textbooks, and congress proceedings were excluded. The full text of the articles included in the study was reviewed by two authors (E.E., G.B.), and the studies were discussed until a consensus was reached.

2.4. Data Extraction

Data in the study consists of sample type (students in medicine, dentistry, nursing, physiotherapy, and other health departments), length of study, type of study, year of publication and teaching environment (classroom, anatomy laboratory, and home), assessment methodology (pretest/posttest, evaluation question scores, and student satisfaction surveys) and teaching method (computer assisted learning tools, mobile devices, online learning methods, 3D application programs, virtual reality augmented images).

2.5. Data Analysis

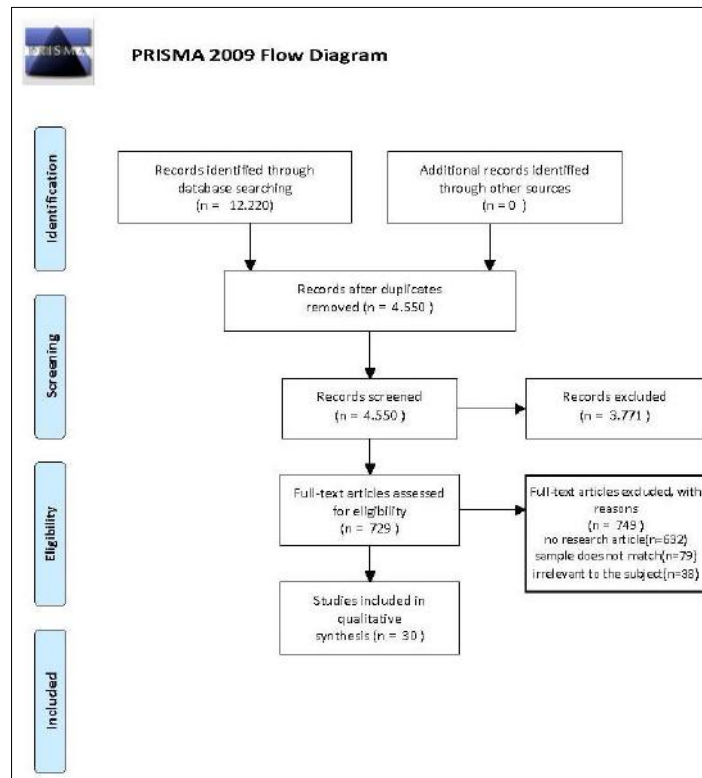
The studies, which two independent researchers systematically compiled, were examined. A data summarization form was created by the researchers in order to form a consensus, and the studies were evaluated according to this form. In this form, eight titles have been determined as follows.

- ✓ Year of study,

- ✓ Authors of the study,
- ✓ The target audience of the study,
- ✓ Number of samples of the study,
- ✓ Mobile application type of the study,
- ✓ Student satisfaction with the study,
- ✓ Learning acquisition of the study and
- ✓ Content of the study.

In this context, using keywords, 12220 articles were reached due to electronic searches in Pubmed, Web of Science, and Google academic databases. In terms of relevance, 779 scientific publications were reached in the research, and 30 of these publications were found to be related to the subject of the study and were included in the review. “Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses statement- PRISMA,” which is a valid and reliable guide for systematic reviews, was used in summarizing the studies (Url-1, 2022) (Figure 1). The findings of this review are presented as follows, and a summary of each article included in the study is given in (Table 1).

Figure 1. PRISMA flowchart that shows the step-by-step process of the application of inclusion and exclusion criteria to generate a final number of studies for analysis in the systematic review.



3. Results and Discussion

3.1. Results

The authors of the articles included in the study presented many views on how anatomy education is used for learning and

teaching in the classroom and virtual environment (Bolatli & Kizil, 2022; Fernández-Alemán, Lopez-Gonzalez, et al., 2016; A. J. Meyer, N. J. Stomski, S. I. Innes, & A. Armson, 2016; Wilkinson, Dafoulas, Garelick, & Huyck, 2020). Various mobile devices, mainly smartphones and tablets, were used in the studies,

and various research methodologies were used to examine the possibilities and limitations of mobile use.

Descriptive Analysis of the Included Studies

In the review, 12220 citations were provided to electronic databases, and after the duplication was removed, 4550 citations were identified, and 3771 of them were removed because they were deemed inappropriate. The remaining 779 citations were evaluated for a full review, of which 749 full-text articles were excluded from the research (632 without research articles, 79 without sample, 38 not relevant to the subject). The remaining 30 full-text articles included in the qualitative synthesis were evaluated.

The following headings were determined when the studies included in the research were examined.

The Effect of Anatomy Learning with a Mobile Application on Students

In the studies included in the research, it has been seen that mobile applications used in anatomy education have a positive effect on students. Within the scope of the systematic review, it was stated in 20 (66%) studies that mobile learning facilitates three-dimensional learning, is motivating and fun. They stated that they can access anatomy notes and images at any time of the day (Bolatli & Kizil, 2022; Bork et al., 2021; Fernández-Alemán, López-González, et al., 2016; Gnanasegaram, Leung, & Beyea, 2020; Golenhofen et al., 2020; Havens, Saulovich, & Saric, 2020; Jamali, Shiratuddin, Wong, Oskam, & Sciences, 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Küçük, Kapakin, & Gökteş, 2016; Lazarus, Sookrajh, & Satyapal, 2017; Mendez-Lopez et al., 2022; Mogali et al., 2019; Moro, Štromberga, Raikos, & Stirling, 2017; Morris, Lambe, Ciccone, & Swinnerton, 2016; Pickering, 2015; Stewart & Choudhury, 2015; Stirling & Birt, 2014; Traser, Hoffman, Seifert, & Wilson, 2015; Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020). In 19 (63%) studies, the learning effectiveness of medical school students in anatomy education with mobile applications was investigated, and positive feedback was received from the students. In addition, students said that learning is more permanent and takes place in a shorter time (Bork et al., 2021; Chandrasekaran et al., 2021; Fernández-Alemán, Lopez-Gonzalez, et al., 2016; Gnanasegaram et al., 2020; Golenhofen et al., 2020; Harmon, Burgoon, & Kalmar, 2022; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Küçük et al., 2016; Lazarus et al., 2017; Mayfield, Ohara, & O'Sullivan, 2013; Mogali et al., 2019; Morris et al., 2016; Pickering, 2015; Raney, 2016; Stewart & Choudhury, 2015; Stirling & Birt, 2014; Traser et al., 2015; Wilkinson et al., 2020). However, in 6 (20%) studies, students stated that cadaveric education was easier, internet access outside the school was problematic, they had difficulty in downloading programs to their personal devices and they could not use the programs because they were paid. It has also been observed that for students who do not have an iPad, mobile is a major obstacle to learning, but for students who use iPads, they improve their learning experience (Chakraborty & Cooperstein, 2018; Havens et al., 2020; Lazarus et al., 2017; Mansouri et al., 2020; A. J. Meyer, N. J. Stomski, S. I. Innes, et al., 2016; Pickering, 2015). In 2 (6%) studies included in the systematic article, in the mobile learning studies in anatomy education on psychology, physiotherapy, and biology students, a statistically positive return was achieved in the satisfaction of the students, and it was seen that learning was easier and permanent (Chakraborty & Cooperstein, 2018; Mendez-Lopez et al., 2022).

In a study on the iPad application, which consisted of nurses taking anatomy and physiology lessons and students studying in the physical education and biology departments; 63% of the students had an iPad, 48% of them were frequent users, and 30% were non-users, and the rest of them constitute the group of students who do not have an iPad. As a result of the survey, it was stated that the students who have an iPad and use it frequently have improved their learning experience and are satisfied compared to those who do not have an iPad and do not use it frequently (Chakraborty & Cooperstein, 2018).

Mayfield et al. (2013) determined in their study which they designed an iPad-based dissection guide, that the rate of students using textbooks and atlases decreased. The students needed fewer trainers, and the need for trainers was less despite spending time of the students on cadavers more.

Mobile Application Programs Used in Anatomy Education

The studies examined have explored various mobile devices, including personal digital-sourced devices, smartphones, and tablets. The mobile devices used in these studies used various research methods to examine their usage possibilities and limitations. Of the 30 studies reviewed, 1 was mobile games, 2 of them were intelligent Sistema De Respuesta Inmediata de la Audiencia in Spanish (i-SIDRA), 1 of them was an e-book, 2 of them were VARK, 2 of them were QR code applications, 1 of them was screencast, 6 of them were AR, 1 of them was AR and virtual reality (VR), 6 of them were iPad, and 8 of them were smartphones and other mobile applications.

Table 1. Synopsis of Each Article Reviewed

AUTHORS	YEAR	TARGET GROUP	NUMBER OF SAMPLE	MOBILE APPLICATION TYPE	STUDENT SATISFACTION	LEARNING OUTCOME
L Lazarus,R Sookrajh, K S Satyapal	2017	Medical Students	179	Mobile Device	The students stated that tablet and mobile devices provide clear and clear images and 3D images provide real images in anatomy learning. The majority of the students stated that they could understand more easily on real cadavers and that there were interruptions in the use of the internet outside the school and that the university was lacking in terms of resources.	Survey
Derek J. Harmon,Jennifer M. Burgoon,Eileen L. Kalmar	2022	Medical Students	195	Mobile Device	They stated that the implementation should be extended to include all anatomy-related materials for each learning block at the authors' institution.	Survey
Joshua J. Gnanasegaram, Regina Leung , Jason A. Beyea	2020	Medical Students	29	Holographic and 3D Model	Holographic model was preferred the most in terms of student motivation.	Assessment Test
Kate Wilkinson, George Dafoulas, Hemda Garelick and Christian Huyck	2020	Medical Students	246	Mobile Quiz Based Games	They stated that it was a great privilege to have these applications and to be able to access the topics and see the answers to the questions at any time of the day and anywhere.	Assessment Test
Magdalena Mendez-Lopez, M. Carmen Juan, Ramon Molla, Camino Fidalgo	2022	Psychology Students	69	AR Application	They explained that learning in 3D was easier and they were satisfied.	Survey
Ramya Chandrasekaran, Shairah Radzi, Peh Zhen Kai, Preman Rajalingam, Jerome Rotgans, Sreenivasulu Reddy Mogali	2021	Medical Students	163	3D Models And Plastinate Models	Students were generally satisfied and stated that learning with 3D structures was valuable and motivating.	Survey
Kathryn L. Havens; Nicole A. Saulovich; Karin J. Saric	2020	Physical Therapy Students	46	Mobile Device	Students were satisfied with the practices and only They had difficulty because of the high number of software references in the program.	Survey
José Luis Fernández-Alemán, Laura López-González, Ofelia González- Sequeros, Chrisina Jayne, Juan José López-Jiménez, Juan Manuel Carrillo- de-Gea, Ambrosio Toval	2016	Pharmacy Faculty Students	108	i-SIDRA System	Students evaluated the practices positively at the end of the study.	Survey
Allan Stirling, James Birt	2014	Medical Students	71	e-Book	The students responded positively and were especially pleased to find the anatomy lecture notes.	Survey Pretest-Posttest
Marcella A. Raney	2016	Medical Students	166	VARK Learning	The students were pleased and found it useful to learn the location and orientation of anatomy structures through 3D structures and the app	Survey

					applications.	
Tandra R. Chakraborty, Deborah F. Cooperstein	2018	Nursing, Physical Education And Biology Students Taking Anatomy And Physiology Courses	324	IPad Application	It has been observed that for students who do not have an iPad, mobile is a major obstacle to learning, but for students who use iPads, they improve their learning experience.	Survey
Christian Moro , Zane Stromberga, Athanasios Raikos , Allan Stirling	2017	Medical Students, Students From Health Sciences, Biomedical And Other Faculties Taking Anatomy Courses	59	AR, VR and IPad	The students who participated in the study found it very useful and useful and stated that they could see the images from a wider angle and that they could see the structures more clearly and that it was really an excellent application.	Assessment Test
José Luis Fernández-Alemána, Laura López-González, Ofelia González- Sequeros, Chrisina Jaynec, Juan José López-Jiménez, Ambrosio Tovalaa	2016	Medical Students	200	i-SIDRA	Students' feedback on their understanding of anatomy concepts They said that it helped them to learn and most of them wanted to repeat the experience in another subject. They also reported that students who used i-SIDRA significantly improved their scores in the final exam.	Survey
Andria Kusuma Wahyudi, Joe Yuan Mambu, Andreuw Vandy Lengkong, Nurhadi, Zalfie Ardian	2019	University Students	32	AR And 3D Cuboid Tracker	Students stated that they got better insights with the 3D cuboid marker	System Usability Scale (SUS) Assessment Test
James D. Pickering*	2015	Medical Students	223	A Screencast	Students felt that they had a better student experience and a belief that their knowledge of the subject had improved. that their images were clear. Also, although the visual component was slightly lower than the auditory component although they said that both the audio and visual elements of the videos were of high quality. Questions were also asked about the accessibility of the resource and although students found it easy to view the resources directly through the Virtual Learning Environment (VLE), they found it difficult to download them to their personal devices.	System Usability Scale (SUS)
Kate Wilkinson & Phil Barter Journal of Pedagogic Development	2016	Students Of Sport And Exercise Undergraduate	251	IPad	They preferred mobile learning more than the traditional method.	Pretest-Posttest

		Program				
Michael H Kurniawana, Suharjitoa, Dianab, Gunawan Witjaksonoa Procedia Computer Science	2018	Medical Students	30	AR	They were satisfied with AR.	Survey
Courtney J. Traser,Leslie A. Hoffman,Mark F. Seifert,Adam B. Wilson Anatomical science educations	2015	Medical Students	194	QR Code Application	They found it useful and it facilitated their learning.	Survey Pretest- Posttest
Sevda Küçük,Samet Kapakin,Yüksel Göktaş	2016	Medical Students	70	AR	Students generally stated that although the subject was difficult, their success was high and the application increased their success. Students also stated that they learned more permanent that learning takes place in a shorter time	Pretest- Posttest Cognitive Load Scale
Stuart Stewart,Bipasha Choudhury	2015	Medical Students	36	iPad	Students increased their academic achievement and recommended the practice.	Survey Pretest- Posttest
N.P. Morris,J. Lambe,J. Ciccione,B. Swinnerton Journal of Computer Asisted learning	2016	Medical Students	177	iPad	They stated that mobile tools were fun and facilitated their learning	Survey Pretest- Posttest
Chandler H. Mayfield,Peter T. Ohara,Patricia S. O'Sullivan Anatomical science education	2013	Medical Students	148	iPad	Reviewing and using the iPad-based lab manual Students stated that it helped them in reaching their goals. They also stated that they prefer ipad to textbooks, atlases and hardcover books.	Perception Survey
Siti Salmi JamaliMohd Fairuz ShiratuddinKok Wai WongCharlotte L. Oskam Procedia - Social and	2015	Medical Students	30	AR	They stated that their motivation increased.	Survey Pretest- Posttest
Sreenivasulu Reddy Mogali,Ranganath Vallabhajosyula,Chee Hon Ng,Darren Lim,Eng Tat Ang,Peter Abrahams Anatomical science Education	2019	Medical Students	120	Accessing Course Materials With QR Code	They gave positive opinions that it increased their motivation	Survey
Felix Bork,Alexander Lehner,Ulrich Eck,Nassir Navab,Jens Waschke,Daniela Kugelmann Anatomical Science	2020	Medical Students	16	Mobil AR	They found it motivating and enjoyable	Survey Pretest- Posttest

Education						
Nikola Golenhofen,Felix Heindl,Claudia Grab-Kroll,David A.C. Messerer,Tobias M. Böckers,Anja Böckers Anatomical Science Education	2020	Medical Students	320	Mobile Device	¾ of the students liked the mobi application and participated in the study by using it.	Survey
Amanda J. Meyer,Norman J. Stomski,Stanley I. Innes,Anthony J. Armson Anatomical Science Education	2016	Medical Students	109	VARK	Of the 8 anatomy applications, 5 are paid and 3 are free applications. Of these, only 2 paid recommended the application to other students. Out of 8 applications, they did not recommend 3 free applications.	Survey
Amanda J. Meyer, Norman J. Stomski,corresponding author C. Dominique Losco, and Anthony J. Armson Chiropr Man Therap	2016	Chiropractic Students	57	IPad		Pretest-Posttest Self-directed Learning Readiness Scale (SDLRS)
Mahmoud Mansouri, Shoaleh Bigdeli, Afsaneh Dehnad, Zohreh Sohrabi, Somayeh Alizadeh & Mohammad Hasan Keshavarzi BMC Medical Education	2020	Medical Students	17	Mobile Phone	Students expressed that they would like more guidance on how to use the apps (training/acclimatization before the session) and even They preferred to work with an educator (instructor training for the group using the applications) rather than on their own. Students stated that they could not use the anatomy apps at home because they were paid and could not afford it. Students preferred to use the apps on tablets/computers rather than smartphones due to the larger screen size and increased image resolution. All the anatomy applications examined did not have enough detail for spinal cord tracts and lesions. In addition, students stated that the applications were too expensive to download and that they could not install the free applications on their phones even with the help of an educator.	Survey
Güneş Bolatli, Hamiyet Kizil	2022	Nursing Students	64	Mobil Phone	Students generally stated that mobile learning had positive effects on learning anatomy.	Pretest-Posttest

Table 1. Synopsis of Each Article Reviewed

AUTHORS	YEAR	TARGET GROUP	NUMBER OF SAMPLE	MOBILE APPLICATION TYPE	STUDENT SATISFACTION	LEARNING OUTCOME
L Lazarus,R Sookrajh, K S Satyapal	2017	Medical Students	179	Mobile Device	The students stated that tablet and mobile devices provide clear and clear images and 3D images provide real images in anatomy learning. The majority of the students stated that they could understand more easily on real cadavers and that there were interruptions in the use of the internet outside the school and that the university was lacking in terms of resources.	Survey
Derek J. Harmon,Jennifer M. Burgoon,Eileen L. Kalmar	2022	Medical Students	195	Mobile Device	They stated that the implementation should be extended to include all anatomy-related materials for each learning block at the authors' institution.	Survey
Joshua J. Gnanasegaram, Regina Leung , Jason A. Beyea	2020	Medical Students	29	Holographic and 3D Model	Holographic model was preferred the most in terms of student motivation.	Assessment Test
Kate Wilkinson, George Dafoulas, Hemda Garelick and Christian Huyck	2020	Medical Students	246	Mobile Quiz Based Games	They stated that it was a great privilege to have these applications and to be able to access the topics and see the answers to the questions at any time of the day and anywhere.	Assessment Test
Magdalena Mendez-Lopez, M. Carmen Juan, Ramon Molla, Camino Fidalgo	2022	Psychology Students	69	AR Application	They explained that learning in 3D was easier and they were satisfied.	Survey
Ramya Chandrasekaran, Shairah Radzi, Peh Zhen Kai, Preman Rajalingam, Jerome Rotgans, Sreenivasulu Reddy Mogali	2021	Medical Students	163	3D Models And Plastinate Models	Students were generally satisfied and stated that learning with 3D structures was valuable and motivating.	Survey
Kathryn L. Havens; Nicole A. Saulovich; Karin J. Saric	2020	Physical Therapy Students	46	Mobile Device	Students were satisfied with the practices and only They had difficulty because of the high number of software references in the program.	Survey
José Luis Fernández-Alemán, Laura López-González, Ofelia González-Sequeros, Chrisina Jayne, Juan José López-Jiménez, Juan Manuel Carrillo-de-Gea, Ambrosio Toval	2016	Pharmacy Faculty Students	108	i-SIDRA System	Students evaluated the practices positively at the end of the study.	Survey
Allan Stirling, James Birt	2014	Medical Students	71	e-Book	The students responded positively and were especially pleased to find the anatomy lecture notes.	Survey Pretest-Posttest
Marcella A. Raney	2016	Medical Students	166	VARK Learning	The students were pleased and found it useful to learn the location and orientation of anatomy structures through 3D structures and the app applications.	Survey

Tandra R. Chakraborty, Deborah F. Cooperstein	2018	Nursing, Physical Education And Biology Students Taking Anatomy And Physiology Courses	324	IPad Application	It has been observed that for students who do not have an iPad, mobile is a major obstacle to learning, but for students who use iPads, they improve their learning experience.	Survey
Christian Moro , Zane Stromberga, Athanasios Raikos , Allan Stirling	2017	Medical Students, Students From Health Sciences, Biomedical And Other Faculties Taking Anatomy Courses	59	AR, VR and IPad	The students who participated in the study found it very useful and useful and stated that they could see the images from a wider angle and that they could see the structures more clearly and that it was really an excellent application.	Assessment Test
José Luis Fernández-Alemána, Laura López-González, Ofelia González-Sequerosb, Chrisina Jaynec, Juan José López-Jiménez, Ambrosio Tovalaa	2016	Medical Students	200	i-SIDRA	Students' feedback on their understanding of anatomy concepts They said that it helped them to learn and most of them wanted to repeat the experience in another subject. They also reported that students who used i-SIDRA significantly improved their scores in the final exam.	Survey
Andria Kusuma Wahyudi, Joe Yuan Mambu, Andreuw Vandy Lengkong, Nurhadi, Zalfie Ardian	2019	University Students	32	AR And 3D Cuboid Tracker	Students stated that they got better insights with the 3D cuboid marker	System Usability Scale (SUS) Assessment Test
James D. Pickering*	2015	Medical Students	223	A Screencast	Students felt that they had a better student experience and a belief that their knowledge of the subject had improved. that their images were clear. Also, although the visual component was slightly lower than the auditory component although they said that both the audio and visual elements of the videos were of high quality. Questions were also asked about the accessibility of the resource and although students found it easy to view the resources directly through the Virtual Learning Environment (VLE), they found it difficult to download them to their personal devices.	System Usability Scale (SUS)
Kate Wilkinson & Phil Barter Journal of Pedagogic Development	2016	Students Of Sport And Exercise Undergraduate Program	251	IPad	They preferred mobile learning more than the traditional method.	Pretest-Posttest

Michael H Kurniawana, Suharjitoa, Dianab, Gunawan Witjaksonoa Procedia Computer Science	2018	Medical Students	30	AR	They were satisfied with AR.	Survey
Courtney J. Traser, Leslie A. Hoffman, Mark F. Seifert, Adam B. Wilson Anatomical science educations	2015	Medical Students	194	QR Code Application	They found it useful and it facilitated their learning.	Survey Pretest- Posttest
Sevda Küçük, Samet Kapakin, Yüksel Göktepe	2016	Medical Students	70	AR	Students generally stated that although the subject was difficult, their success was high and the application increased their success. Students also stated that they learned more permanent that learning takes place in a shorter time	Pretest- Posttest Cognitive Load Scale
Stuart Stewart, Bipasha Choudhury	2015	Medical Students	36	iPad	Students increased their academic achievement and recommended the practice.	Survey Pretest- Posttest
N.P. Morris, J. Lambe, J. Ciccone, B. Swinnerton Journal of Computer Assisted Learning	2016	Medical Students	177	iPad	They stated that mobile tools were fun and facilitated their learning	Survey Pretest- Posttest
Chandler H. Mayfield, Peter T. Ohara, Patricia S. O'Sullivan Anatomical science education	2013	Medical Students	148	iPad	Reviewing and using the iPad-based lab manual Students stated that it helped them in reaching their goals. They also stated that they prefer iPad to textbooks, atlases and hardcover books.	Perception Survey
Siti Salmi Jamali, Mohd Fairuz Shiratuddin, Kok Wai Wong, Charlotte L. Oskam Procedia - Social and	2015	Medical Students	30	AR	They stated that their motivation increased.	Survey Pretest- Posttest
Sreenivasulu Reddy Mogali, Ranganath Vallabhajosyula, Chee Hon Ng, Darren Lim, Eng Tat Ang, Peter Abrahams Anatomical science Education	2019	Medical Students	120	Accessing Course Materials With QR Code	They gave positive opinions that it increased their motivation	Survey
Felix Bork, Alexander Lehner, Ulrich Eck, Nassir Navab, Jens Waschke, Daniela Kugelmann Anatomical Science Education	2020	Medical Students	16	Mobil AR	They found it motivating and enjoyable	Survey Pretest- Posttest
Nikola Golenhofen, Felix Heindl, Claudia Grab-Kroll, David A.C. Messerer, Tobias M. Böckers, Anja Böckers Anatomical Science Education	2020	Medical Students	320	Mobile Device	¾ of the students liked the mobi application and participated in the study by using it.	Survey

Amanda J. Meyer, Norman J. Stomski, Stanley I. Innes, Anthony J. Armson Anatomical Science Education	2016	Medical Students	109	VARK	Of the 8 anatomy applications, 5 are paid and 3 are free applications. Of these, only 2 paid recommended the application to other students. Out of 8 applications, they did not recommend 3 free applications.	Survey
Amanda J. Meyer, Norman J. Stomski, corresponding author C. Dominique Losco, and Anthony J. Armson Chiropr Man Therap	2016	Chiropractic Students	57	IPad		Pretest-Posttest Self-directed Learning Readiness Scale (SDLRS)
Mahmoud Mansouri, Shoaleh Bigdeli, Afsaneh Dehnad, Zohreh Sohrabi, Somayeh Alizadeh & Mohammad Hasan Keshavarzi BMC Medical Education	2020	Medical Students	17	Mobile Phone	Students expressed that they would like more guidance on how to use the apps (training/acclimatization before the session) and even They preferred to work with an educator (instructor training for the group using the applications) rather than on their own. Students stated that they could not use the anatomy apps at home because they were paid and could not afford it. Students preferred to use the apps on tablets/computers rather than smartphones due to the larger screen size and increased image resolution. All the anatomy applications examined did not have enough detail for spinal cord tracts and lesions. In addition, students stated that the applications were too expensive to download and that they could not install the free applications on their phones even with the help of an educator.	Survey
Güneş Bolatlı, Hamiyet Kızıl	2022	Nursing Students	64	Mobil Phone	Students generally stated that mobile learning had positive effects on learning anatomy.	Pretest-Posttest

When the studies included in the research are examined, the most used application module in mobile learning is anatomy atlases and applications that transform images and photographs in books into 3D images via AR. 6 (20%) of 30 studies are applications made with AR. Questionnaires were conducted about their views on these practices and the aspects that need to be improved. It was seen that the application has advantages, facilitates learning, increases motivation, and they stated that the application should be more comprehensive and contain more visuals. According to the survey results, they received positive feedback from the students (Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Küçük et al., 2016; Mendez-Lopez et al., 2022; Moro et al., 2017; Wahyudi, Mambu, Lengkong, & Ardian, 2019).

In 10 (3%) of the studies included in the research, they compared the traditional learning method and mobile application methods to investigate the effect of mobile learning. In 8 (26%) of the studies, it was observed that the final exam results of the students who learned anatomy with the mobile application were higher than the students who learned with the traditional method (Chakraborty & Cooperstein, 2018; Fernández-Alemán, López-González, et al., 2016; Fernández-Alemán, Lopez-Gonzalez, et al., 2016; Lazarus et al., 2017; Moro et al., 2017; Traser et al., 2015; Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020). In the other 2 (6%) studies, it was observed that the anatomy final exam results of the experimental groups were higher, but there was a decrease in their cognitive levels (Bork et al., 2021; Küçük et al., 2016).

8 (26%) of the studies included in the research are exploratory and consist of articles that are not compared (Golenhofen et al., 2020; Harmon et al., 2022; Havens et al., 2020; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Pickering, 2015; Stewart & Choudhury, 2015). These articles have made no direct comparison between mobile learning and other learning experiences and methodologies. The aim of these studies is to document the mobile learning experience through descriptive quantitative and qualitative measurements. The research questions show that the focus is on the students' perspectives on technology, their participation, and their views on mobile learning. In several studies, multiple anatomy topics were examined simultaneously and researched on student engagement, flexible learning models, and the future usability of mobile tools with different mobile learning applications in the classroom (Harmon et al., 2022; Havens et al., 2020; Jamali et al., 2015; Pickering, 2015). These studies aim to document the potential and experience of mobile learning through qualitative and quantitative measurements. In these studies, there was no comparison made, and the measures used by the researchers, qualitative data such as observations and interviews, student scores, questionnaires, mobile usage, and participant satisfaction are included (Golenhofen et al., 2020; Harmon et al., 2022; Havens et al., 2020; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Pickering, 2015; Stewart & Choudhury, 2015).

Positive Results Of Mobile Learning

Wilkinson et al. (2020) have seen that with gameplay in mobile learning, the learning of anatomy is reinforced, the information is repeated, the success rate is increased, and it makes learning fun by taking the lesson away from boring. In 3 studies included in the systematic article, it was found that the exam results of the students who received anatomy education with mobile applications compared to traditional learning methods were statistically significantly higher ($p < 0.001$) (Fernández-

Alemán, López-González, et al., 2016; Stirling & Birt, 2014; Wilkinson & Barter, 2016). Morris et al. (2016) stated that using the iPad during the practical lesson was enjoyable and improved students (76.3%-82.4%) learning, and students (78.9%-85.9%) stated that it was easy to use the device.

Negative Consequences Of Mobile Learning

When we look at the studies researched in this systematic article, Gross anatomy mostly constitutes anatomy subjects in mobile learning. It examines the skeleton, muscle, joint, nervous system, all organ structures, and body parts as content (Bork et al., 2021; Chakraborty & Cooperstein, 2018; Chandrasekaran et al., 2021; Fernández-Alemán, López-González, et al., 2016; Fernández-Alemán, Lopez-Gonzalez, et al., 2016; Havens et al., 2020; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Lazarus et al., 2017; Mayfield et al., 2013; Mogali et al., 2019; Raney, 2016; Traser et al., 2015; Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020). Other studies also include neuroanatomy, microanatomy, and embryology (Golenhofen et al., 2020; Lazarus et al., 2017; Mogali et al., 2019; Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020). When the students were asked which anatomy subjects would be more useful to learn with mobile applications, 56% of them stated that it was the cardiovascular system and 29% of them stated that it was the musculoskeletal system (Chakraborty & Cooperstein, 2018). In the iPad-based anatomy laboratory session, it was observed that cadaver dissection was facilitated with three-dimensional images, but the presence of anatomical variations that could be seen affected the content and activity results (Küçük et al., 2016; Mayfield et al., 2013; Meyer, Stomski, Losco, Armson, & Therapies, 2016).

In the studies, mobile learning was mostly carried out in the classroom and anatomy laboratory environment. This situation has brought limitations to the studies. Because the reasons such as the lack of internet access for students outside of school, the lack of iPad tools for some students, and the fact that the applications are paid and cannot be downloaded to their phones have imposed limitations on the studies (Bolatlı & Kizil, 2022; Lazarus et al., 2017; Morris et al., 2016).

Evaluation Of Learning Achievements In Anatomy Education

In 30 studies included in the study, questionnaires, pretest-posttest, and evaluation tests were used to evaluate the learning outcomes of anatomy education. Of the 30 studies included in this systematic review, 16 were made with only a questionnaire, 6 were both pretest-posttest and questionnaire, 1 of them was both pretest-posttest and self-directed learning readiness scale (SDLRS), respectively 3 of them were only pretest-posttest, and 4 of them were evaluation tests (Bork et al., 2021; Chakraborty & Cooperstein, 2018; Fernández-Alemán, López-González, et al., 2016; Harmon et al., 2022; Havens et al., 2020; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Lazarus et al., 2017; Mansouri et al., 2020; Mayfield et al., 2013; Mendez-Lopez et al., 2022; A. J. Meyer, N. J. Stomski, S. I. Innes, et al., 2016; Mogali et al., 2019; Morris et al., 2016; Pickering, 2015; Raney, 2016; Stewart & Choudhury, 2015; Stirling & Birt, 2014; Traser et al., 2015; Wahyudi et al., 2019). In the surveys conducted in 16 studies, the highest number of participants was 324, and 82% of this number were female students, and 18% were male students (Chakraborty & Cooperstein, 2018). In the three studies using pretest and posttest, the maximum number of participants is 251, and the studies using the evaluation test have a maximum of 246 participations (Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020).

3.2. Discussion

With the use of technology in education, the use of mobile phones and educational applications is increasing. It is possible to access applications anytime and anywhere via mobile phones over the Internet. Mobile learning, which is included in educational applications, is an educational tool whose use is increasing (Liu et al., 2014)

In classical anatomy education, there are problems such as using the laboratory in limited time and not being able to access information outside the classroom. Anatomy books are boring for many students, and it becomes difficult to memorize and keep in memory since they contain too many details. Students also generally expressed that visual learning remains easier in memory (Co et al., 2021). The main purpose of teaching cadavers, which is one of the important teaching methods in anatomy education, is to enable students to examine the anatomical structures they see in the textbooks in three dimensions and to see the relationship between these structures concretely. Although this method provides many advantages, finding and preserving cadavers can cause many ethical and health problems (Küçük et al., 2016). While most anatomists and surgeons argue that clinical anatomy learning is based on cadaver dissection, some argue that there should be technology-based education. Problems with cadaveric education have increased the need for alternative education means (Rosario, 2021).

Mobile learning is defined as learning using mobile technologies such as mobile phones, smartphones, e-readers, and tablets. It is argued that these devices offer unique access to communication and information. Mobile technology is more affordable, more functional than other technologies, and seems to better support learning in the classroom and at home in new ways. Mobile learning is an application that gives students the flexibility to study whenever and wherever they want. The allowed flexibility supports students to learn at their own pace and style (Liu et al., 2014). Mobile learning also has a positive impact on the academic success of students. Mobile augmented reality (AR) integrates digital data into the real environment, providing users with a comprehensive sensory experience (Küçük et al., 2016). For this reason, mobile learning can be offered as an alternative, especially in departments without a laboratory or where the number of cadavers is insufficient (Korf et al., 2008; Nicholson, Chalk, Funnell, & Daniel, 2006; Parker, 2002).

Studies conducted on mobile learning in anatomy education stated that student satisfaction is higher than traditional learning methods and that difficult subjects can become more permanent in a shorter time. It has also been seen that mobile learning increases the motivation of students (Havens et al., 2020; Küçük et al., 2016; Mayfield et al., 2013; Wilkinson & Barter, 2016). With mobile learning, it is possible to access high-quality education and information wherever and whenever you want. Therefore, it has been stated that the mobile application can bring a new breath to anatomy education (Bolatlı & Kizil, 2022).

Students now have access to a wide variety of electronic learning resources, such as online websites, software packages, and “applications” available on their mobile phones. Augmented reality is a technology that offers a new educational approach that helps students develop critical capacity and understand scientific research concepts more deeply. In addition, AR allows examining difficult-to-understand abstract concepts such as three-dimensional shapes and geometric objects through textbooks

(Sural, 2017). According to the studies included in the systematic article, it was found that AR-related students increased their course success, and the AR encouraged students. In literature studies, it has been seen that programs that transform anatomy atlas or images in books into 3D images through AR have improved students' learning potential and that learning with three-dimensional images is easier and more effective and, at the same time, increases the motivation of students (Bork et al., 2021; Jamali et al., 2015; Kurniawan & Witjaksono, 2018; Küçük et al., 2016; Mendez-Lopez et al., 2022; Moro et al., 2017; Wahyudi et al., 2019). On the other hand, applications for obtaining high-quality images are expensive, and many of them have been criticized by anatomists for failing to convey a realistic anatomical representation. Although the e-learning packages available on the market claim to show 3D anatomy, there are studies stating that the representations on a screen are not actually three-dimensional compared to the actual cadaveric anatomy (Demirtaş, Onay, & Günerigök, 2019).

Stirling and Birt (2014) stated that mobile e-book applications in anatomy learning increased by 13% compared to the traditional application method. 4 (13%) of the articles included in the research with iPad-based mobile learning and 8 (26%) of them with smartphones stated that mobile learning increased student satisfaction, motivation, course success, and permanent learning (Bolatlı & Kizil, 2022; Chakraborty & Cooperstein, 2018; Golenhofen et al., 2020; Harmon et al., 2022; Havens et al., 2020; Lazarus et al., 2017; Mayfield et al., 2013; A. J. Meyer, N. J. Stomski, C. D. Losco, et al., 2016; Morris et al., 2016; Stewart & Choudhury, 2015; Wilkinson & Barter, 2016; Wilkinson et al., 2020). In addition, students noted that using mobile devices in a practical classroom is valuable and useful for learning (Morris et al., 2016).

In previous studies on mobile learning, it was observed that students' interest in the course increased and there was a reasonable level of academic learning and motivation (Chen, Kao, & Sheu, 2003; Kumar et al., 2010; Liaw, Hatala, & Huang, 2010).

Among the studies included in the research, Traser et al. (2015) stated that in their study on QR code applications, students were allowed to evaluate their knowledge with instant feedback. Mogali et al. (2019) found in their study that learning becomes easier, access to course content is easy, and it provides independent learning. However, it has been emphasized that more research is needed to see the effect of QR codes on students' anatomy education. In addition, using QR codes did not significantly contribute to practical exam performance.

It is known that mobile games, which are popular in many areas, are also effective, especially in education (Hamari, Koivisto, & Sarsa, 2014). Studies conducted in education and learning have shown that mobile games increase participation, motivation, and learning tasks in learning outcomes and make the learning process more enjoyable. However, some negative aspects have also been highlighted in studies that require attention, such as increased competition, difficulties in task evaluation, and design features. When a comparison is made between the control and experimental groups consisting of 246 students, Wilkinson and Barter (2016) found that the success rate of the students in the experimental group was statistically higher.

In studies conducted in other fields, it has been seen that mobile learning is effective in medicine and science, helps students use grammar, and brings a new perspective and solutions for their learning (Seisto et al., 2011).

Limitations of the Study

In the systematic review, studies containing valid results for the research may not be available because there is a threat of inadequacy to search the literature, and it is tried to reach the literature within the possibilities available in the research. Since the number of samples is insufficient in some of the studies examined, there are limitations related to the data analysis. Failure to identify appropriate studies will likely be limited when we consider the given range of keywords used to select studies, the time chosen to collect appropriate studies, relevant and comprehensive databases, and manual search among known journals. In this review, the number of studies on the subject is growing rapidly, and we encourage other researchers to continue where we finished the literature review for this important topic.

4. Conclusions and Recommendations

This systematic review was done by considering the effectiveness of mobile applications used in anatomy education and student feedback. It has been found that mobile learning techniques used for anatomy education in the classroom, in the laboratory, and outside the classroom increase success and are more motivating than traditional learning methods. It has been seen that AR programs provide the most success among mobile applications and do not negatively affect student success.

The use of AR and other mobile programs has been shown to have a very positive effect on students' spatial understanding and three-dimensional understanding of anatomical structures. We think that these innovative applications can be conveniently downloaded to all students' mobile devices anywhere, and the high image quality of the free applications can further increase the success rate. However, insufficient research has been done in this study, and academic programs need to integrate more innovative techniques to evaluate three-dimensional anatomy learning properly.

It is important that the applications used in mobile learning are suitable for the needs of the students and the technological infrastructure. While planning the process, the orientation process for the students regarding the environment and technology to be used should be included. Thus, we think that the problems that may arise from the features of the developed applications will be minimized and a suitable learning environment will be provided for the students.

In the study, the mobile learning approach focused more on the students' individual learning. Since the application offers a flexible and individual learning environment to students, it can be thought that it may be useful to integrate such applications with distance education textbooks. When the results obtained by the pre-test-post-test and the feedback of the students are considered, it is thought that the continuity of the study can be ensured.

Overall, based on the findings of the study, mobile learning in anatomy education seems to provide a learning environment for students and educators where they can potentially access the learning system at any time of the day and anywhere. It can be concluded that mobile learning is an alternative learning technique suitable for traditional teaching practices in the new age where new technology is developing.

References

- Bolatli, G., & Kizil, H. (2022). The effect of mobile learning on student success and anxiety in teaching genital system anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 15(1), 155-165.
- Bork, F., Lehner, A., Eck, U., Navab, N., Waschke, J., & Kugelmann, D. (2021). The effectiveness of collaborative augmented reality in gross anatomy teaching: A quantitative and qualitative pilot study. *Anatomical Sciences Education*, 14(5), 590-604.
- Chakraborty, T. R., & Cooperstein, D. F. (2018). Exploring anatomy and physiology using iPad applications. *Anatomical Sciences Education*, 11(4), 336-345.
- Chandrasekaran, R., Radzi, S., Kai, P. Z., Rajalingam, P., Rotgans, J., & Mogali, S. R. (2021). A validated instrument measuring students' perceptions on plastinated and three-dimensional printed anatomy tools. *Anatomical Sciences Education*.
- Chen, Y.-S., Kao, T.-C., & Sheu, J.-P. (2003). A mobile learning system for scaffolding bird watching learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(3), 347-359.
- Co, M., Cheung, K. Y. C., Cheung, W. S., Fok, H. M., Fong, K. H., Kwok, O. Y., Tsang, M. K. (2021). Distance education for anatomy and surgical training—A systematic review. *The Surgeon*.
- Demirtaş, İ., Onay, T., & Günerigök, F. (2019). Anatomi eğitimi için geliştirilmiş mobil uygulamalar. *Tıp Eğitimi Dünyası*, 18(55), 41-49. doi: 10.25282/ted.455806
- Fernández-Alemán, J. L., López-González, L., González-Sequeros, O., Jayne, C., López-Jiménez, J. J., Carrillo-de-Gea, J. M., & Toval, A. (2016). An empirical study of neural network-based audience response technology in a human anatomy course for pharmacy students. *Journal of Medical Systems*, 40(4), 1-12.
- Fernández-Alemán, J. L., Lopez-Gonzalez, L., Gonzalez-Sequeros, O., Jayne, C., López-Jiménez, J. J., & Toval, A. (2016). The evaluation of i-SIDRA—a tool for intelligent feedback—in a course on the anatomy of the locomotor system. *International Journal of Medical Informatics*, 94, 172-181.
- Gnanasegaram, J. J., Leung, R., & Beyea, J. A. (2020). Evaluating the effectiveness of learning ear anatomy using holographic models. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 49(1), 1-8.
- Golenhofen, N., Heindl, F., Grab-Kroll, C., Messerer, D. A., Böckers, T. M., & Böckers, A. (2020). The use of a mobile learning tool by medical students in undergraduate anatomy and its effects on assessment outcomes. *Anatomical Sciences Education*, 13(1), 8-18. doi:10.1002/ase.1878
- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification. Paper presented at the 2014 47th Hawaii international conference on system sciences.
- Harmon, D. J., Burgoon, J. M., & Kalmar, E. L. (2022). Development and assessment of an integrated anatomy mobile app. *Clinical Anatomy*, 35(5), 686-696.
- Havens, K. L., Saulovich, N. A., & Saric, K. J. (2020). A case report about anatomy applications for a physical therapy hybrid online curriculum. *Journal of the Medical Library Association*, 108(2), 295. doi: 10.5195/jmla.2020.825
- Jamali, S. S., Shiratuddin, M. F., Wong, K. W., & Oskam, C. L. (2015). Utilising mobile-augmented reality for learning human anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197, 659-668.

- Korf, H.-W., Wicht, H., Snipes, R. L., Timmermans, J.-P., Paulsen, F., Rune, G., & Baumgart-Vogt, E. (2008). The dissection course—necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 190(1), 16-22.
- Kumar, A., Tewari, A., Shroff, G., Chittamuru, D., Kam, M., & Canny, J. (2010). An exploratory study of unsupervised mobile learning in rural India. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Kurniawan, M. H., & Witjaksono, G. (2018). Human anatomy learning systems using augmented reality on mobile application. *Procedia Computer Science*, 135, 80-88.
- Küçük, S., Kapakin, S., & Göktaş, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411-421.
- Lazarus, L., Sookrajh, R., & Satyapal, K. (2017). Tablet technology in medical education in South Africa: a mixed methods study. *BMJ Open*, 7(7), doi:10.1136/bmjopen-2016-013871
- Liaw, S.-S., Hatala, M., & Huang, H.-M. (2010). Investigating acceptance toward mobile learning to assist individual knowledge management: Based on activity theory approach. *Computers & Education*, 54(2), 446-454.
- Liu, M., Scordino, R., Geurtz, R., Navarrete, C., Ko, Y., & Lim, M. (2014). A look at research on mobile learning in K-12 education from 2007 to the present. *Journal of research on Technology in Education*, 46(4), 325-372.
- Mansouri, M., Bigdeli, S., Dehnad, A., Sohrabi, Z., Alizadeh, S., & Keshavarzi, M. H. (2020). Exploring the features of mobile phone application of anatomy in basic medical sciences: a qualitative study. *BMC Medical Education*, 20(1), 1-9.
- Mayfield, C. H., Ohara, P. T., & O'Sullivan, P. S. (2013). Perceptions of a mobile technology on learning strategies in the anatomy laboratory. *Anatomical Sciences Education*, 6(2), 81-89.
- Mendez-Lopez, M., Juan, M. C., Molla, R., & Fidalgo, C. (2022). Evaluation of an augmented reality application for learning neuroanatomy in psychology. *Anatomical Sciences Education*, 15(3), 535-551.
- Meyer, A. J., Stomski, N. J., Innes, S. I., & Armson, A. (2016). VARK learning preferences and mobile anatomy software application use in pre-clinical chiropractic students. *Anatomical Sciences Education*, 9(3), 247-254.
- Meyer, A. J., Stomski, N. J., Losco, C. D., & Armson, A. J. (2016). The influence of anatomy app use on chiropractic students' learning outcomes: a randomised controlled trial. *Chiropractic & Manual Therapies*, 24(1), 1-5.
- Mogali, S. R., Vallabhajosyula, R., Ng, C. H., Lim, D., Ang, E. T., & Abrahams, P. (2019). Scan and learn: Quick response code enabled museum for mobile learning of anatomy and pathology. *Anatomical Sciences Education*, 12(6), 664-672.
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559.
- Morris, N. P., Lambe, J., Ciccone, J., & Swinnerton, B. (2016). Mobile technology: students perceived benefits of apps for learning neuroanatomy. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(5), 430-442.
- Nicholson, D., Chalk, C., Funnell, W. R. J., & Daniel, S. J. (2006). A randomized controlled study of a computer-generated three-dimensional model for teaching ear anatomy. *Medical Education*, 40(11), 1081-1087. doi:10.1111/j.1365-2929.2006.02611.x
- Parker, L. M. (2002). Anatomical dissection: why are we cutting it out? Dissection in undergraduate teaching. *ANZ Journal of Surgery*, 72(12), 910-912.
- Pickering, J. D. (2015). Anatomy drawing screencasts: Enabling flexible learning for medical students. *Anatomical Sciences Education*, 8(3), 249-257.
- Raney, M. A. (2016). Dose-and time-dependent benefits of iPad technology in an undergraduate human anatomy course. *Anatomical Sciences Education*, 9(4), 367-377.
- Rosario, M. G. (2021). The Perceived Benefit of a 3D Anatomy Application (App) in Anatomy Occupational Therapy Courses. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 6(1), 8-14.
- Seisto, A., Federley, M., Kuula, T., Paavilainen, J., Vihavainen, S., J. I. J. o. M., & Learning, B. (2011). Involving the end-users in the development of language learning material. 3(2), 43-56.
- Stewart, S., & Choudhury, B. (2015). Mobile technology: Creation and use of an iBook to teach the anatomy of the brachial plexus. *Anatomical Sciences Education*, 8(5), 429-437.
- Stirling, A., & Birt, J. (2014). An enriched multimedia eBook application to facilitate learning of anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 7(1), 19-27.
- Sural, I. (2017). Mobile augmented reality applications in education. In *Mobile technologies and augmented reality in open education* (pp. 200-214): IGI Global.
- Şahin, T., & Çavus, N. (2019). Education in the Digital Age: Technological Trends in Anatomy Education. *Folklor/Edebiyat*, 25(97), 31-46. doi:10.22559/folklor.925
- Tirkeş, G., Gökpinar, D., Arıcı, E. E., & Bayralı, A. (2021). Nöroanatomî Dersi İçin Bir Mobil Uygulama Önerisi. *European Journal of Science and Technology*(26), 197-202. doi:10.31590/ejosat.950201
- Traser, C. J., Hoffman, L. A., Seifert, M. F., & Wilson, A. B. (2015). Investigating the use of quick response codes in the gross anatomy laboratory. *Anatomical Sciences Education*, 8(5), 421-428.
- Url-1. (2022). Retrieved from www.prisma-statement.org
- Wahyudi, A. K., Mambu, J. Y., Lengkong, A. V., & Ardian, Z. (2019). Implementing augmented reality as a digital props of brain anatomy using 3d cuboid tracker. Paper presented at the 2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS).
- Wilkinson, K., & Barter, P. (2016). Do mobile learning devices enhance learning in higher education anatomy classrooms? *Journal of Pedagogic Development*, 6(1), 14-23.
- Wilkinson, K., Dafoulas, G., Garelick, H., & Huyck, C. (2020). Are quiz-games an effective revision tool in Anatomical Sciences for Higher Education and what do students think of them? *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 761-777. doi/10.1111/bjet.12883



Adaptation of Some Alternative and Winter Barley Varieties to Erzurum Dry Agricultural Conditions

Selçuk Kodaz^{1*}, Kamil Haliloğlu², Ali Öztürk³

^{1*} Atatürk University, Faculty of Agriculture Department of Field Crops, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4599-3574), selcuk.kodaz@atauni.edu.tr

² Atatürk University, Faculty of Agriculture Department of Field Crops, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4014-491X), kamillh@atauni.edu.tr

³ Atatürk University, Faculty of Agriculture Department of Field Crops, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7673-114X), aoturk@atauni.edu.tr

(First received 25 September 2022 and in final form 7 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1194185)

ATIF/REFERENCE: Kodaz, S., Haliloğlu, K. & Öztürk, A. (2021). Adaptation of Some Alternative and Winter Barley Varieties to Erzurum Dry Agricultural Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (41), 285-294.

Abstract

This research was conducted at Atatürk University Plant Production and Research Centre Directorate during the 2017-2018 and 2018-2019 cropping years, and the adaptation of a total of 60 barley varieties (34 alternative and 26 winter varieties) was examined in Erzurum dry agricultural conditions. According to the average of the cropping years, the vegetative period of the varieties varied between 244.8-255.6 days, the grain-filling period was between 27.0-32.3 days, plant height was 83.8-117.8 cm, the number of spikes per m² was 375.6-715.0, and the number of grains per spike was 17.8-24.0. Thus, the grain weight was between 34.5-43.4 g, the grain yield was between 225.3-425.1 kg da⁻¹, the biological yield was between 874.1-1283.4 kg da⁻¹, and the harvest index was between 25.7-37.1%. In terms of the characteristics examined, it was determined that the differences between the varieties and the effect of the cropping seasons on these characteristics were significant. Variety × cropping year interaction was significant for the vegetative period, grain yield, biological yield, and harvest index, except for other characteristics. The highest grain yield was obtained from Olgun variety (425.1 kg da⁻¹), followed by Kalaycı-97 (422.2 kg da⁻¹), İnce-04 (418.5 kg da⁻¹) and Çetin 2000 (418.1 kg da⁻¹).

Anahtar Kelimeler: Barley, adaptation, variety, winter cropping, grain yield.

Bazı Alternatif ve Kışlık Arpa Çeşitlerinin Erzurum Kuru Tarım Koşullarına Adaptasyonu

Öz

Bu araştırma 2017-2018 ve 2018-2019 ürün yıllarında yürütülmüş, 34'ü alternatif ve 26'sı kışlık olmak üzere toplam 60 arpa çeşidinin Erzurum kuru tarım koşullarına adaptasyonu incelenmiştir. Ürün yıllarının ortalamasına göre çeşitlerin vejetatif dönemi 244.8-255.6 gün, tane dolum süresi 27.0-32.3 gün, bitki boyu 83.8-117.8 cm, m²'deki başak sayısı 375.6-715.0, başaktaki tane sayısı 17.8-24.0, 1000 tane ağırlığı 34.5-43.4 g, tane verimi 225.3-425.1 kg da⁻¹, biyolojik verim 874.1-1283.4 kg da⁻¹, hasat indeksi ise %25.7-37.1 arasında değişim göstermiştir. İncelenen karakterler yönünden çeşitler arasındaki farklar ile ürün yıllarının bu karakterler üzerindeki etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Çeşit x yıl interaksyonu vejetatif dönem, tane verimi, biyolojik verim ve hasat indeksi için önemli, diğer karakterler için önemsiz çıkmıştır. En yüksek tane verimi Olgun çeşidinden elde edilmiş (425.1 kg da⁻¹), bu çeşidi Kalaycı-97 (422.2 kg da⁻¹), İnce-04 (418.5 kg da⁻¹) ve Çetin 2000 (418.1 kg da⁻¹) çeşitleri takip etmiştir.

Keywords: Arpa, adaptasyon, çeşit, kışlık ekim, tane verimi

* Corresponding Author: selcuk.kodaz@atauni.edu.tr

1. Introduction

Barley is a plant belonging to the *Hordeum* genus of the Poaceae family (El Rabey et al., 2014). Barley is grown and improved for two main purposes in the world and our country, to be used as fodder in animal feeding and as malting (beer) in the industry (Aydoğan et al., 2011). In addition, barley is included in the food industry due to the high content of β -glucan and digestible fiber in its grain, and barley flour is mixed with wheat flour as an additive in some countries. In addition, barley is used in the food industry in the form of biscuits, semolina, barley bread, barley cereal, barley tea, baby food, and crackers (Sipahi et al., 2010).

After wheat, the most produced cool climate grain type barley in the world and Turkey is barley. While the share of barley in cultivated agricultural areas is around 3.4% in the world, this value is 12% for our country and 9.6% for Erzurum (Anonymous, 2020). The cultivation area of barley, which has an important place in the agriculture of our country and Eastern Anatolia, reached its highest values with 3.8 million ha in Turkey in 1998 and 65 thousand ha in Erzurum in 2004. It decreased in the following years and reached 3.2 million ha in Turkey in 2021 decreased to 37 thousand ha in Erzurum (Anonymous, 2021). While barley cultivation areas have decreased in our country and Erzurum, the demand for barley as concentrate has increased, and Turkey has recently become a country that imports barley.

In the Erzurum region, where animal husbandry is an important sector, concentrated feed deficit is an important problem, especially in dry years. 85% of the barley producers in the province are local population, 15% are planting Tokak 157/37 variety, and all barley planting is done between 15 March and 15 May in summer and generally in irrigated areas (Öztürk & Akkuş, 2015). Until the Eastern Anatolia Agricultural Research Institute developed a barley variety named Olgun in 2011, there was no winter barley variety. The increase in the number of winter barley varieties of foreign origin registered in our country in recent years provides an important opportunity to increase the cultivation area and yield of barley in the Eastern Anatolia Region (Öztürk et al., 2018).

Barley grain rich in various mineral substances, is widely used in animal nutrition (Sönmez & Yılmaz, 2000). Barley grain contains approximately 67% carbohydrates, 10% protein, 2% fat, 5% cellulose, and minerals such as calcium, phosphorus, potassium, and vitamins A, E, and B. Since the cellulose content (4-6%) prevents aggregation in the rumen, forage barley is easy to digest and increases milk fat and milk sugar in dairy cows (Sipahi et al., 2010).

Grain is the main product of barley in our country. Apart from the grain, its fresh and dry stems are also economically important. Our production of other grains and barley should be increased regularly to meet the basic food needs of our growing population, concentrate feed of our animals and raw materials in the industry, and be able to export. For this reason, it is important to determine barley varieties with high adaptability and grain yield according to regions. In addition, the adaptations of newly developed varieties that can adapt to changing climatic conditions should be investigated at regular intervals. In this study, which winter adaptation of 60 barley cultivars to Erzurum dry farming conditions was investigated.

2. Material and method

In this research, a total of 60 barley varieties (34 alternative and 26 winter barley varieties) were used as plant material (Table 1), and ammonium sulfate and triple superphosphate were used as fertilizer sources. The research was carried out in the experimental area of Atatürk University Plant Production Application and Research Center Directorate in Erzurum, in the 2017-2018 and 2018-2019 crop years, in dry farming conditions, according to the randomized blocks trial design and in four repetitions. Every two rows in each block, 2.0 m long, 3-5 cm deep, and 20 cm apart in the marker rows, 1 seed at 1 cm intervals (500 seeds/m²). Sowing was done on 05.10.2017 in the first year and on 24.09.2018 in the second year. 3 kg N da⁻¹ and 5 kg da⁻¹ P₂O₅ were applied to the blocks, which were turned into a basin, with planting, and when the plants reached the rooting period, they were also fertilized at 3 kg N da⁻¹. Weeds were removed by hand plucking when necessary. 50 cm from the beginning and end of the rows were left as an edge effect, and the plants in the remaining 1 m section were cut with a sickle from a height of 10 cm from the soil level. The plants made into bunches, were left to dry in the field for 3 days and then threshed with the parcel threshing machine.

According to the meteorological data of Erzurum province of the years of the experiment and long years, in the first year of the study (2017-2018), 60.3 mm more precipitation fell than the average of many years, and the annual average temperature was higher than in long years. In the second year (2018-2019), 23.7 mm less precipitation fell and the annual average temperature was higher than in long years.

The soils of the experiment site are in clayey-loamy texture, the organic matter rate of the samples is 1.33%-1.46%, the favorable P₂O₅ rate is 6.3-8.2 kg da⁻¹, the suitable K₂O rate is 89.2-96.8 kg da⁻¹, the lime rate is 4.8-5.4%, the pH value is 6.68-6.83. According to this, the soils of the trial site are salt-free, neutral reaction, moderately calcareous, rich in potassium, medium in phosphorus, and poor in organic matter and nitrogen.

Table 1. Barleys used in the experiment and some properties

	Variety name	Institution and date of registration	Spike properties
Winter varieties	Avcı-2002	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2002	6 rows
	Aydanhanım	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2002	2 rows
	Balkan 96 (Igri)	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-1996	2 rows
	Bolayır	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-2007	2 rows
	Clarica	Ata Tohumculuk İşl.San. ve Tic.A.Ş.-2013	2 rows
	Çetin 2000	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2000	6 rows
	Durusu	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2007	2 rows
	Emon	Tarar Un ve Gıda San. Tic. Ltd.Şti.-2014	2 rows
	Escadre	Ata Tohumculuk İşl.San. ve Tic.A.Ş.-2013	6 rows
	Gazda	Tareks Tar.Ür. A. G. İth.İhr.Tic.A.Ş.-2013	2 rows
	Harman	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-2011	2 rows
	Hasat	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-2014	2 rows
	Lord	Tareks Tar.Ür. A. G. İth.İhr.Tic.A.Ş.-2011	6 rows
	Manava	Alfa Toh. Tar. Gid. İnş. Hay. Paz. San. Tic. Ltd. Şti-2014	2 rows
	Meriç	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2005	6 rows
	Olgun	Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Ens. M.-2011	6 rows
	Oliver	Tareks Tar.Ür. A. G. İth.İhr.Tic.A.Ş.-2013	6 rows
	Premium	Ata Tohumculuk İşl.San. ve Tic.A.Ş.-2013	2 rows
	Ramata	Alfa Toh. Tar. Gid. İnş. Hay. Paz. San. Tic. Ltd. Şti-2015	6 rows
	Scarpia	Marmara Tohum Geliştirme A.Ş.-2015	6 rows
Seymen	Sarı Tohumculuk San. ve Tic. Ltd.Şti.-2015	2 rows	
Sladoran	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-1998	2 rows	
Sultan	Tekcan Tohumculuk Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.-2015	6 rows	
Tokak 157/37	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-1963	6 rows	
Yıldız	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2007	2 rows	
Zeus	Progen Tohum A.Ş.-2014	6 rows	
Alternative varieties	Akar	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2012	2 rows
	Akdane	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2011	2 rows
	Arcanda	Progen Tohum A.Ş.-11.04.2014	2 rows
	Atılır	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2005	2 rows
	Başgül	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2003	2 rows
	Beyşehir	Bahri Dağdaş Uluslararası Tar. Araş. Ens. M.-1998	2 rows
	Burakbey	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2013	2 rows
	Bülbül 89	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-1989	2 rows
	Cervoise	Ata Tohumculuk İşl.San. ve Tic.A.Ş.-2011	6 rows
	Cumhuriyet 50	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-1973	2 rows
	Çıldır 02	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-2002	2 rows
	Çumra 2001	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2001	2 rows
	Efes 98	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-1998	2 rows
	Erciyes	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2006	2 rows
	Erginel 90	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-1990	6 rows
	İnce-04	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-2004	2 rows
	Kalaycı-97	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-1997	2 rows
	Karatay 94	Bahri Dağdaş Uluslararası Tar. Araş. Ens. M.-1996	2 rows
	Keser	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-2007	2 rows
	Kıral-97	Bahri Dağdaş Uluslararası Tar. Araş. Ens. M.-1997	6 rows
	Konevi	Bahri Dağdaş Uluslararası Tar. Araş. Ens. M.-1998	2 rows
	Larende	Bahri Dağdaş Uluslararası Tar. Araş. Ens. M.-2006	2 rows
	Martı	Trakya Tarımsal Araştırma Ens.Müd.-2009	6 rows
	Orza 96	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-1996	2 rows
	Özdemir-05	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-2005	2 rows
	Sur-93	GAP Uluslararası Tarımsal Araş. ve Eğitim Merk. Müd./Diyarbakır-2002	2 rows
	Şahin-91	GAP Uluslararası Tarımsal Araş. ve Eğitim Merk. Müd./Diyarbakır-1991	2 rows
	Tarm-92	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-1992	2 rows
	Toprak	Anadolu Efes Bir. ve Malt San. A.Ş.-2011	2 rows
	Ünver	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-2013	2 rows
Yalın	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2014	2 rows	
Yerçil-147	Geçit Kuşluğu Tarımsal Arşt.Enst.Müd.-1976	2 rows	
Yesevi 93	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-1993	2 rows	
Zeynel Ağa	Tarla Bitkileri Merkez Arş.Ens. Müd.-2003	2 rows	

3. Results and Discussion

It was determined that the differences between barley varieties in terms of vegetative period, grain filling time, plant height, the number of spikes per m², the number of grains per spike, 1000 grain weight, grain yield, biological yield, and harvest index, and the effect of crop years on these characters were determined. Cultivar x year interaction was significant for the

vegetative period, grain yield, biological yield, and harvest index, but insignificant for other characters (Tables 2, 3, 4).

3.1. Vegetative period, grain filling period, and plant height

The vegetative period, grain filling time, and plant height values of barley cultivars and variance analysis results of these characters are given in Table 2. According to the average of the

varieties, the vegetative periods of the 2017-2018 and 2018-2019 crop years were 254.2 and 247.3 days, respectively; Grain filling times were 30.7 and 28.6 days, and plant heights were 107.8 and 97.84 cm (Table 2). In the second crop year, June, when the spike took place, was hotter and drier than the first year. This decrease in the vegetative period may have resulted from this. The second crop year was hotter and drier than the first year. This decrease in grain filling time and plant height may have resulted from this.

The vegetative period of the cultivars changed between 244.8-255.6 days according to the average of the years and the shortest vegetative period was observed in the Avcı-2002 cultivar. This cultivar was followed by Karatay-94 (245.1 days), Kalaycı-97 (245.1 days), and Ramata (245.0 days), and the difference between them was insignificant. Sultan cultivar had the longest vegetative period, followed by Clarica (255.4 days), Konevi (255.0 days), and Sladoran (255.0 days). Since the vegetative period of the varieties varies according to the years, the year x variety interaction was found to be important (Table 2).

Table 2. Vegetative period, grain filling time and plant height of barley cultivars and variance analysis results of these characters

Variety name	Vegetative period (day)			Grain filling time (day)			Plant height (cm)			
	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik	
Avcı-2002	249.0	240.5	244.8	29.3	27.3	28.3	100.0	91.1	95.5	
Aydanhanım	250.8	242.8	246.8	28.3	26.3	27.3	119.0	103.5	111.2	
Balkan 96	247.8	244.5	246.1	29.3	27.3	28.3	102.3	94.3	98.3	
Bolayır	256.3	247.3	251.8	31.0	28.8	29.9	113.4	103.7	108.5	
Clarica	259.3	251.5	255.4	32.5	30.5	31.5	101.3	87.9	94.7	
Çetin 2000	258.3	251.8	255.0	30.3	28.5	29.4	115.3	104.4	109.8	
Durusu	253.8	247.3	250.5	31.8	29.3	30.5	105.7	97.9	101.8	
Emon	251.3	244.3	247.8	29.3	27.3	28.3	108.4	96.8	102.6	
Escadre	257.5	251.5	254.5	32.3	30.3	31.3	114.6	106.5	110.5	
Gazda	256.8	250.5	253.6	30.3	28.3	29.3	95.3	90.0	92.6	
Harman	255.3	247.5	251.4	31.3	29.5	30.4	113.7	104.6	109.2	
Hasat	252.3	244.5	248.4	31.3	29.3	30.3	104.0	100.3	102.2	
Lord	257.8	251.3	254.5	29.5	27.5	28.5	110.9	98.9	104.9	
Manava	256.3	247.5	251.9	30.0	28.0	29.0	110.9	99.2	105.0	
Meriç	255.3	247.5	251.4	32.8	30.5	31.6	105.5	98.8	102.1	
Olgun	254.3	247.3	250.8	32.3	29.8	31.0	123.6	110.0	116.8	
Oliver	251.8	246.5	249.1	32.3	30.3	31.3	106.1	91.0	98.5	
Premium	251.8	242.5	247.1	32.5	29.0	30.8	100.8	95.7	98.2	
Ramata	247.8	243.3	245.5	30.8	27.8	29.3	100.7	92.6	96.7	
Scarpia	250.8	245.3	248.0	28.8	26.8	27.8	121.5	103.6	112.5	
Seymen	252.0	248.8	250.4	28.5	27.0	27.8	84.8	82.9	83.8	
Sladoran	258.3	251.8	255.0	30.8	28.5	29.6	126.3	106.5	116.4	
Sultan	259.3	252.0	255.6	30.8	29.5	30.1	95.8	93.5	94.6	
Tokak 157/37	253.3	247.0	250.4	32.3	28.8	30.5	112.8	97.0	104.9	
Yıldız	252.0	247.8	249.9	28.5	26.5	27.5	97.9	95.6	96.7	
Zeus	251.5	245.8	248.6	28.8	27.5	28.1	107.6	103.9	105.7	
Akar	255.0	247.5	251.3	32.8	29.8	31.3	123.4	112.2	117.8	
Akdane	253.8	246.8	250.3	31.0	28.8	29.9	110.9	103.0	106.9	
Arcanda	255.0	246.8	250.9	33.0	30.3	31.6	99.1	96.0	97.6	
Atılır	253.8	245.3	249.5	30.3	29.0	29.6	106.5	96.8	101.6	
Başgül	255.0	247.0	251.0	32.3	29.8	31.0	104.0	91.9	98.0	
Beyşehir	256.8	248.8	252.8	32.5	29.3	30.9	98.5	93.6	96.0	
Burakbey	255.8	248.0	251.9	29.8	27.5	28.6	110.6	101.9	106.3	
Bülbül 89	254.3	247.8	251.0	29.3	27.0	28.1	120.9	99.8	110.3	
Cervoise	256.3	250.3	253.3	28.3	27.3	27.8	98.5	89.0	93.7	
Cumhuriyet 50	255.8	249.3	252.5	30.5	29.0	29.8	115.9	104.0	109.9	
Çıldır 02	257.0	248.8	252.9	33.3	30.8	32.0	98.1	92.8	95.4	
Çumra 2001	255.3	247.0	251.1	32.8	30.0	31.4	114.7	105.7	110.2	
Efes 98	252.3	245.3	248.8	30.8	28.0	29.4	119.6	101.6	110.6	
Erciyes	253.0	247.0	250.0	28.3	26.8	27.5	98.4	98.0	98.2	
Erginel 90	256.8	248.8	252.8	28.8	27.5	28.1	111.9	95.8	103.8	
İnce-04	250.8	242.5	246.6	32.0	29.8	30.9	104.6	92.8	98.7	
Kalaycı-97	248.8	241.5	245.1	32.8	30.5	31.6	91.4	90.2	90.8	
Karatay 94	248.8	242.0	245.1	32.8	29.8	31.3	103.4	100.3	101.8	
Keser	250.8	245.0	247.9	30.0	27.8	28.9	110.9	96.9	103.9	
Kıral-97	251.8	246.8	249.3	28.8	26.5	27.6	108.7	97.1	102.9	
Konevi	259.3	250.8	255.0	27.8	26.5	27.1	117.0	96.9	106.9	
Larende	257.3	249.8	253.5	28.8	27.8	28.3	107.6	92.2	99.9	
Martı	257.3	249.8	253.5	32.8	30.5	31.6	110.9	98.6	104.7	
Orza 96	251.3	244.5	247.9	30.8	28.8	29.8	117.7	108.5	113.1	
Özdemir-05	253.3	245.5	249.4	30.5	27.8	29.1	111.2	100.0	105.6	
Sur-93	254.8	247.5	251.1	32.8	31.5	32.1	94.1	82.6	88.4	
Şahin-91	255.5	248.0	251.8	32.8	31.8	32.3	107.6	95.8	101.7	
Tarm-92	256.8	249.0	252.9	32.0	28.8	30.4	110.7	100.4	105.5	
Toprak	253.3	246.3	249.8	32.8	30.5	31.6	105.0	95.1	100.0	
Ünver	256.8	250.5	253.6	32.8	30.5	31.6	105.1	92.6	98.8	
Yalın	257.8	251.8	254.8	29.5	27.3	28.4	107.6	95.5	101.5	
Yerçil-147	256.0	249.0	252.5	30.0	27.5	28.8	116.2	105.0	110.6	
Yesevi 93	253.8	247.8	250.8	28.8	26.3	27.5	114.6	105.1	109.8	
Zeynel Ağa	251.3	245.3	248.3	27.8	26.3	27.0	98.2	93.8	96.0	
Average	254.2	247.3	250.7	30.7	28.6	29.7	107.8	97.8	102.8	
F value (Year)	-	-	4304.7**	-	-	938.4**	-	-	166.4**	
F value (Variety)	50.9**	15.7**	47.7**	38.3	**	9.6**	32.4**	4.3**	2.0**	5.6**

F value (Block)	4.0**	1.3	3.9**	7.2 **	1.4	5.3**	0.7	0.6	1.1
F value (YxV)	-	-	2.5**	-	-	1.3	-	-	0.7
CV (%)	0.3	0.6	0.5	1.8	3.3	2.6	7.7	8.9	8.3
LSD (0.05) (Y)	-	-	0.2	-	-	1.4	-	-	1.5
LSD (0.05) (V)	1.2	2.0	1.1	0.8	1.3	0.8	11.6	12.1	8.4
LSD (0.05) (YxV)	-	-	1.6	-	-	1.1	-	-	11.8

F values with * are 0.05, F values with ** are 0.01 degrees of significance.

When the years are evaluated separately, the vegetative period in the 2017-2018 crop year varied between 247.8-259.3 days, while Balkan 96 and Ramata varieties had the shortest vegetative period, followed by Karatay 94 (248.3 days) and Kalaycı-97 (248.8 days). The difference was insignificant. While Konevi, Sultan, and Clarica cultivars had the longest vegetative period, these cultivars were followed by Sladoran (258.3 days) and Çetin 2000 (258.3 days) and the difference between them was insignificant. In the 2018-2019 crop year, the vegetative period varied between 240.5-252.0 days, while Avcı-2002 had the shortest vegetative period, followed by Kalaycı-97 (241.5 days) and Karatay 94 (242.0 days), and the difference between them was insignificant. While the Sultan variety had the longest vegetative period, this variety was followed by Yalın (251.8 days), Sladoran (251.8 days), and Çetin 2000 (251.8 days) varieties, Sultan variety with the longest vegetative period, and Cervoise variety with 250.3 days vegetative period. Difference between them was insignificant. Since the vegetative period of the varieties varies according to the years, the year x variety interaction was found to be significant ($P < 0.01$) (Table 2). When the years are evaluated separately, the vegetative period in the 2017-2018 crop year varied between 247.8-259.3 days, while Balkan 96 and Ramata varieties had the shortest vegetative period, followed by Karatay 94 (248.3 days) and Kalaycı-97 (248.8 days). The difference was insignificant. While Konevi, Sultan and Clarica cultivars had the longest vegetative period, these cultivars were followed by Sladoran (258.3 days) and Çetin 2000 (258.3 days) and the difference between them was insignificant. In the 2018-2019 crop year, the vegetative period varied between 240.5-252.0 days, while Avcı-2002 had the shortest vegetative period, followed by Kalaycı-97 (241.5 days) and Karatay 94 (242.0 days), and the difference between them was insignificant. While the Sultan variety had the longest vegetative period, this variety was followed by Yalın (251.8 days), Sladoran (251.8 days), and Çetin 2000 (251.8 days). Closely to our findings, Öztürk et al. (2018) determined the vegetative period as 257.4 and 258.7 days in two barley cultivars planted in Erzurum conditions in winter. Kandemir (2004) reported that the vegetative period in barley varieties in Tokat conditions changed between 146.7-167.0 days in the first year and 152.3-168.0 days in the second year.

According to the average years, the grain filling time of the varieties varied between 27.0-32.3 days, Zeynel Ağa had the shortest grain filling time and Şahin-91 had the longest grain filling time. Konevi (27.1 days), Aydanhanım (27.3 days) and Yesevi 93 (27.5 days) varieties have a short grain filling time; Sur-93 (32.1 days), Çıldır-02 (32.0 days) and Ünver (31.6 days) cultivars drew attention as other cultivars with a long grain filling time. Öztürk et al. (2018) determined the grain filling time as 31.0 and 31.7 days in two cultivars planted in winter. Significant differences were determined in terms of grain filling time between barley varieties planted in summer under Erzurum irrigated farming conditions, and Öztürk et al. (2018), 34.5-40.3 days by Çağlar et al. (2009) reported grain filling times varying between 32.3-33.3 days.

According to the average of the years, the plant height of the cultivars varied between 83.8-117.8 cm. Akar variety had the highest plant height, followed by the Olgun (116.8 cm), Sladoran (116.4 cm), and Orza 96 (113.1 cm) varieties. The difference between Akar cultivar with the longest plant height and Çetin 2000 cultivar with 109.8 cm plant height was insignificant. The shortest plant height was measured in the Seymen variety, followed by the Sur-93 (88.4 cm) and Kalaycı-97 (90.8 cm) varieties and the difference between them was insignificant. Kendal et al. (2010), 90.0-128.1 cm, 73.6-89.7 cm by Çöken and Akman (2016), and 74.8-104.1 cm by İmamoğlu and Yılmaz (2012). Dogan et al. (2014) reported that plant height is a morphological feature that indirectly affects yield, and although it is a character with high heritability, it is affected by the environment.

3.2. Number of spikes per square meter, number of grains per spike, and 1000-grain weight

The number of ears per square meter, number of grains per ear, and 1000 grain weight values of barley varieties and the variance analysis results of these characters are presented in Table 3. According to the average of the varieties, the number of spikes per square meter was 593.8 and 541.7, the number of grains per spike was 22.5 and 19.1, and the weight of 1000 grains was 40.5 g and 37.6 g, respectively, in the crop years 2017-2018 and 2018-2019 (Table 3). (Sönmez et al., 1996) reported in their study that low rainfall and short growth period caused a decrease in the number of ears per m^2 . The number of grains per spike depends on the total and fertile spikelet number per spike, the number of flowers in each spikelet, and their grain setting ratio. Grain-setting rates are also affected by environmental factors (Kaydan & Yağmur, 2007). 1000 grain weight is a genetically managed trait and varies according to the variety and environmental conditions (Çölkesen et al., 1994). The precipitation, which was 285.6 mm in the first year, decreased to 170.9 mm in the second year. The reason for the decrease in the number of ears per m^2 , the number of grains per spike, and the weight of 1000 grains may be due to the drier second year.

According to the average of the years, the number of spikes per m^2 of the cultivars varied between 375.6-715.0. While the Atılır variety had the highest number of spikes in m^2 , this variety was followed by Ramata (670.6), Akar (650.0), and Gazda (636.3). It was determined that the number of ears per m^2 was the lowest in the Zeus variety, and Ünver (388.8), Zeynel Ağa (442.5) and Bolayır (451.9) varieties took the last place in terms of the number of ears per m^2 (Table 3). (Akdeniz et al., 2004), in their research in Van conditions, reported that the number of ears per m^2 for barley varieties varied between 417.5 and 551.5. Budaklı et al. (2005) determined the number of ears per m^2 in barley varieties between 642.3-881.4 in Bursa conditions. Sirat and Sezer (2009) determined the number of ears of barley varieties per m^2 between 394.6-547.5 in the conditions of Bafra Plain and drew attention to the fact that the highest number of ears per m^2

was obtained from the Zeynel Ağa variety. In another study carried out in Bursa conditions, the number of ears per m² in barley cultivars varied between 468.8 and 988.0, the lowest number of ears per m² was found in Vamıkhoca 98 cultivar, and the highest number of 15 in line (İmamoğlu & Yılmaz, 2012). Karahan and Sabancı (2010) determined that the number of ears per m² in barley varieties varied between 378-661, and this value was 643 and 451 for Diyarbakır and Ceylanpınar locations, respectively.

Researchers pointed out that the Şerifehanım-98 cultivar, which has the highest number of spikes in the Diyarbakır location, ranks lower in the Ceylanpınar location, and that tillering in cultivars and the number of spikes per m² may vary depending on the environment.

Table 3. The results of the variance analysis of barley varieties with the number of ears per m², the number of grains per ear, and 1000-grain weights.

Variety name	Number of ears per m ²			Number of grains per ear			1000-grain weights (g)		
	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik
Avcı-2002	563.8	522.5	543.1	22.8	20.0	21.4	38.4	35.5	36.9
Aydanhanım	612.5	565.0	588.8	23.8	20.8	22.3	41.2	38.1	39.6
Balkan 96	547.5	487.5	517.5	22.5	19.0	20.8	42.0	38.6	40.3
Bolayır	478.8	425.0	451.9	25.5	22.5	24.0	41.4	37.2	39.3
Clarica	645.0	590.0	617.5	22.3	18.3	20.3	38.3	35.3	36.8
Çetin 2000	636.3	586.3	611.3	25.3	21.3	23.3	38.9	35.9	37.4
Durusu	615.0	553.8	584.4	24.5	20.5	22.5	42.3	38.4	40.3
Emon	635.0	598.8	616.9	21.5	18.0	19.8	43.4	39.5	41.4
Escadre	645.0	592.5	618.8	22.3	18.5	20.4	37.6	35.1	36.4
Gazda	663.8	608.8	636.3	23.5	19.3	21.4	43.8	39.8	41.8
Harman	497.5	492.5	495.0	21.5	17.8	19.6	41.1	38.4	39.7
Hasat	655.0	596.3	625.6	23.3	19.5	21.4	41.5	38.8	40.2
Lord	608.8	566.3	587.5	24.5	19.5	22.0	37.9	35.6	36.8
Manava	565.0	515.0	540.0	22.5	18.3	20.4	41.2	38.8	40.0
Meriç	623.8	566.3	595.0	24.8	20.8	22.8	38.8	36.0	37.4
Olgun	623.8	592.5	608.1	26.0	21.0	23.5	38.3	35.7	37.0
Oliver	660.0	578.8	619.4	22.0	18.5	20.3	38.4	36.6	37.5
Premium	543.8	528.8	536.3	22.5	18.3	20.4	43.7	38.7	41.2
Ramata	702.5	638.8	670.6	20.3	17.5	18.9	38.0	36.1	37.1
Scarpia	677.5	591.3	634.4	22.5	19.0	20.8	38.6	37.2	37.8
Seymen	555.0	493.8	524.4	23.8	20.5	22.1	42.9	39.6	41.3
Sladoran	595.0	555.0	575.0	22.5	19.0	20.8	42.2	38.4	40.3
Sultan	655.0	553.8	604.4	23.3	18.3	20.8	38.0	37.3	37.7
Tokak 157/37	516.3	492.5	504.4	18.8	16.8	17.8	43.2	40.6	41.9
Yıldız	595.0	498.8	546.9	22.5	19.3	20.9	42.3	40.5	41.4
Zeus	382.5	368.8	375.6	19.8	17.5	18.6	39.8	37.2	38.5
Akar	690.0	610.0	650.0	22.3	19.8	21.0	39.7	37.1	38.4
Akdane	537.5	510.0	523.8	23.8	20.5	22.1	39.9	36.0	38.0
Arcanda	618.8	601.3	610.0	22.0	20.3	21.1	36.2	32.8	34.5
Atılır	742.5	687.5	715.0	24.8	21.0	22.9	34.9	34.1	34.5
Başgül	621.3	566.3	593.8	23.5	20.0	21.8	39.8	36.4	38.1
Beyşehir	633.8	562.5	598.1	20.5	17.8	19.1	41.8	37.4	39.6
Burakbey	652.5	546.3	599.4	22.3	19.5	20.9	38.7	35.4	37.1
Bülbül 89	631.3	565.0	598.1	22.8	19.0	20.9	41.5	37.9	39.7
Cervoise	483.8	457.5	470.6	22.0	19.5	20.8	41.3	37.5	39.4
Cumhuriyet 50	648.8	558.8	603.8	24.3	21.0	22.6	40.6	37.2	38.9
Çıldır 02	535.0	495.0	515.0	24.8	20.0	22.4	41.7	38.7	40.2
Çumra 2001	487.5	505.0	496.3	23.8	19.5	21.6	41.1	37.7	39.4
Efes 98	645.0	580.0	612.5	22.8	19.0	20.9	42.3	38.2	40.2
Erciyes	610.0	521.3	565.6	22.0	18.3	20.1	41.9	37.9	39.9
Erginel 90	607.5	585.0	596.3	21.0	18.8	19.9	38.3	36.6	37.4
İnce-04	657.5	582.5	620.0	23.0	18.8	20.9	42.8	39.7	41.2
Kalaycı-97	640.0	572.5	606.3	23.5	19.3	21.4	41.7	38.9	40.3
Karatay 94	590.0	538.8	564.4	24.8	21.0	22.9	41.6	37.9	39.8
Keser	583.8	481.3	532.5	24.5	20.0	22.3	39.8	36.0	37.9
Kıral-97	501.3	478.8	490.0	22.0	19.3	20.6	38.6	36.7	37.8
Konevi	615.0	550.0	582.5	23.5	19.8	21.6	41.8	38.8	40.3
Larende	532.5	495.0	513.8	25.8	20.8	23.3	41.1	37.8	39.5
Martı	587.5	532.5	560.0	22.5	19.0	20.8	37.8	35.5	36.7
Orza 96	562.5	503.8	533.1	19.8	17.3	18.5	39.8	37.4	38.6
Özdemir-05	627.5	583.8	605.6	20.3	17.8	19.0	45.0	41.9	43.4
Sur-93	623.8	571.3	597.5	20.3	16.5	18.4	41.4	38.6	40.0
Şahin-91	558.8	505.0	531.9	20.3	17.3	18.8	41.4	39.0	40.2
Tarm-92	652.5	601.3	626.9	19.5	16.3	17.9	42.5	40.0	41.2
Toprak	482.5	477.5	480.0	19.8	17.5	18.6	42.7	40.1	41.4
Ünver	406.3	361.3	383.8	21.5	17.8	19.6	43.6	41.5	42.6
Yalın	611.3	557.5	584.4	21.5	18.8	20.1	38.6	36.8	37.7
Yerçil-147	641.3	590.0	615.6	19.8	16.8	18.3	38.9	37.2	38.1
Yesevi 93	640.0	592.5	616.3	20.8	17.8	19.3	40.0	37.9	39.0
Zeynel Ağa	470.0	415.0	442.5	22.5	18.5	20.5	37.0	35.2	36.1
Average	593.8	541.7	567.7	22.5	19.1	20.8	40.5	37.6	39.0

F value (Year)	-	-	142.9**	-	-	1319.9**	-	-	748.6**
F value (Variety)	8.7**	6.5**	14.8**	11.1**	6.3**	16.3**	22.2**	6.8**	21.8**
F value (Block)	2.9*	3.2*	6.1**	4.2**	1.6	5.3**	0.9	0.2	0.5
F value (YxV)	-	-	0.5	-	-	1.1	-	-	1.1
CV (%)	8.1	8.8	8.4	4.6	5.6	5.1	2.2	3.6	3.0
LSD (0.05) (Y)	-	-	8.6	-	-	0.2	-	-	0.2
LSD (0.05) (V)	67.3	66.5	47.0	1.4	1.5	1.0	1.3	1.9	1.1
LSD (0.05) (YxV)	-	-	66.4	-	-	1.5	-	-	1.6

F values with * are 0.05, F values with ** are 0.01 degrees of significance.

The number of grains per spike of barley cultivars varied between 17.8-24.0 and the highest grain count per spike was determined to be in Bolayır, Olgun (23.5), Larende (23.3) and Çetin 2000 (23.3). The lowest number of grains per spike was detected in Tokak 157/37 cultivars, followed by Tarm-92 (17.9), Yerçil-147 (18.3), and Sur-93 (18.4) (Table 3). The number of grains per ear in barley cultivars was determined between 20.0-46.3 by İmamoğlu and Yılmaz (2012), and 16.3-20.2 by Kaydan and Yağmur (2007). The number of grains per spike depends on the number of fertile spikelets and the grain attachment ratio of the spikelets, and these factors may vary according to genotype and environmental factors.

According to the average of the years, 1000 grain weights of barley varieties varied between 34.5-43.4 g. Özdemir-05 variety had the highest 1000-grain weight, followed by Ünver (42.6 g), Tokak 157/37 (41.9 g), and Gazda (41.8 g). The lowest 1000-grain weight was determined in the Arcanda variety, followed by Atlırlı (34.5 g), Zeynel Ağa (36.1 g), and Escadre (36.4 g) varieties (Table 3). 1000 grain weight is a genetically managed trait and varies according to the variety and environmental conditions (Çölkesen et al., 1994). Akdeniz et al. (2004) 40.69-51.74 g in Van conditions, and Aydoğan et al. (2011) reported 1000 grain weights varying between 38.30-43.17 g in Konya conditions.

3.3. Grain yield, biological yield, and harvest index

The grain yield, biological yield, and harvest index values of barley cultivars and the variance analysis results of these characters are shown in Table 4. Grain yield was 423.7 and 309.2 kg da⁻¹, the biological yield was 1205.0 and 976.4 kg da⁻¹, and the harvest index was 34.9% and 32.0%, respectively, in the first and second crop years of the cultivars. The number of ears per m², the number of grains per spike, and 1000 grain weight are the factors affecting the yield. The decrease in these elements causes a decrease in grain yield. The factors affecting the biological yield are the plant height and the number of spikes per m². The decrease in plant height and number of ears per m² also causes a decrease in biological yield. (Kırtok, 1984) report that the harvest index can be affected by environmental conditions, while Singh and Stoscopef, (1971) report that there is a significant relationship between year and variety in terms of harvest index.

According to the years' average, the varieties' grain yields varied between 225.3-425.1 kg da⁻¹. Olgun variety had the highest grain yield, followed by Kalaycı-97 (422.2 kg da⁻¹), İnce-04 (418.5 kg da⁻¹) and Çetin 2000 (418.1 kg da⁻¹) varieties. The difference between the Olgun variety with the highest grain yield and the Scarpia variety with 400.1 kg/da grain yield was insignificant. The lowest grain yield was determined in the Zeus variety, followed by Zeynel Ağa (263.7 kg da⁻¹), Ünver (268.8 kg da⁻¹), and Toprak (283.2 kg da⁻¹). Since the grain yields of the

cultivars changed according to the years, the year x cultivar was found to be significant (P<0.01) (Table 4). When the years are evaluated separately, the grain yields of the cultivars ranged from 275.3 to 501.90 kg da⁻¹ in the 2017-2018 crop year, while the Kalaycı-97 cultivar had the highest grain yield; This cultivar was followed by Efes 98 (495.9 kg da⁻¹), Olgun (495.8 kg da⁻¹) and İnce-04 (490.6 kg da⁻¹) and Kalaycı-97 cultivar with the highest grain yield and 468.2 kg da⁻¹ grain yield. The difference with the Scarpia cultivar was insignificant. While Zeus variety has the lowest grain yield; This variety was followed by Ünver (304.5 kg da⁻¹), Toprak (308.5 kg da⁻¹), and Zeynel Ağa (312.0 kg da⁻¹). Grain yields of the cultivars ranged from 175.2 to 373.6 kg da⁻¹ in the 2018-2019 crop year, while the Gazda cultivar had the highest grain yield; This cultivar was followed by Arcanda (370.1 kg da⁻¹), Harvest (360.9 kg da⁻¹), and Çetin 2000 (358.1 kg da⁻¹) cultivars. While the Zeus variety has the lowest grain yield; Zeynel Ağa (215.5 kg da⁻¹), Ünver (233.2 kg da⁻¹), and Toprak (257.9 kg da⁻¹) followed this variety. It is noteworthy that the grain yields obtained in this study were significantly higher than the grain yields obtained in previous studies in Erzurum irrigated farming conditions (Akkaya & Akten, 1990; Öztürk et al., 2001; Çağlar et al., 2009). Even if the varieties used in the research are different, these results clearly show the superiority of winter planting in dry farming conditions in terms of yield. Karahan and Sabancı (2010) reported that the grain yield of barley cultivars varied between 388-487 kg/da in Diyarbakır conditions and the Vamıkhoça-98 cultivar had the highest grain yield. Kızılgöçü et al. (2016) determined that grain yield in barley genotypes ranged from 324.3 kg da⁻¹ to 445.8 kg da⁻¹.

According to the average of the years, the biological yields of the cultivars varied between 874.1-1283.4 kg da⁻¹. Gazda variety had the highest biological yield, followed by Durusu (1237.3 kg da⁻¹), Efes-98 (1214.4 kg da⁻¹), and Çetin 2000 (1210.2 kg da⁻¹) varieties. The lowest biological yield was determined in the Zeus cultivar, and Zeynel Ağa (887.7 kg da⁻¹), Ünver (920.4 kg da⁻¹), and Orza 96 (939.8 kg da⁻¹) cultivars took the last place in terms of biological yield (Table 4). Since the biological yields of the cultivars vary according to the years, the year x cultivar interaction was found to be significant (P<0.01) (Table 4). When the years are evaluated separately, the biological yields of the varieties in the 2017-2018 crop year ranged between 1019.0-1330.6 kg da⁻¹, while the Gazda variety had the highest biological yield; this variety was followed by Durusu (1325.9 kg da⁻¹), Kalaycı-97 (1320.3 kg da⁻¹) and Efes 98 (1308.2 kg da⁻¹). While Cervoise variety has the lowest biological efficiency; This cultivar was followed by Ünver (1034.8 kg da⁻¹), Orza 96 (1043.9 kg da⁻¹), and Zeus (1047.9 kg da⁻¹), and the difference between the Cervoise cultivar with the lowest biological yield and Akdane cultivar with 1073.9 kg da⁻¹ biological yield. was found to be insignificant. In the 2018-2019 crop year, the biological yields of the varieties ranged from 700.3 to 1236.2 kg da⁻¹, while the Gazda variety had the highest biological yield; this cultivar was followed by Durusu (1148.8 kg da⁻¹), Atlırlı (1128.9 kg da⁻¹) and Efes 98

(1120.7 kg da⁻¹) cultivars. While the Zeus variety has the lowest biological yield; Zeynel Ağa (727.4 kg da⁻¹), Ünver (806.1 kg da⁻¹), and Orza 96 (835.6 kg da⁻¹) followed this variety. Çöken and Akman (2016) determined the biological yield of barley varieties between 749.4-1366.1 kg da⁻¹ in Isparta conditions, they obtained the highest biological yield from Akar and the lowest biological yield from the İnce-04 variety.

The harvest index of barley cultivars varied between 25.7-37.1% as the average of the crop years. The highest harvest index was determined in the Olgun variety, followed by Meriç (36.8%), Özdemir-05 (36.7%), Yalın (36.1%), and Scarpia (35.8%). The lowest harvest index was calculated for the Zeus cultivar, followed by Toprak (29.1%), Ünver (29.2%), and Zeynel Ağa (29.7%) cultivars. Since the harvest indices of the cultivars changed according to the years, the year x cultivar interaction was found to be significant (P<0.01) (Table 4).

Table 4. The results of the variance analysis of barley varieties with the number of ears per m², the number of grains per ear, and 1000-grain weights

Variety name	Number of ears per m ²			Number of grains per ear			1000-grain weights (g)		
	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik	2017-2018	2018-2019	Birleşik
Avcı-2002	563.8	522.5	543.1	22.8	20.0	21.4	38.4	35.5	36.9
Aydanhanım	612.5	565.0	588.8	23.8	20.8	22.3	41.2	38.1	39.6
Balkan 96	547.5	487.5	517.5	22.5	19.0	20.8	42.0	38.6	40.3
Bolayır	478.8	425.0	451.9	25.5	22.5	24.0	41.4	37.2	39.3
Clarica	645.0	590.0	617.5	22.3	18.3	20.3	38.3	35.3	36.8
Çetin 2000	636.3	586.3	611.3	25.3	21.3	23.3	38.9	35.9	37.4
Durusu	615.0	553.8	584.4	24.5	20.5	22.5	42.3	38.4	40.3
Emon	635.0	598.8	616.9	21.5	18.0	19.8	43.4	39.5	41.4
Escadre	645.0	592.5	618.8	22.3	18.5	20.4	37.6	35.1	36.4
Gazda	663.8	608.8	636.3	23.5	19.3	21.4	43.8	39.8	41.8
Harman	497.5	492.5	495.0	21.5	17.8	19.6	41.1	38.4	39.7
Hasat	655.0	596.3	625.6	23.3	19.5	21.4	41.5	38.8	40.2
Lord	608.8	566.3	587.5	24.5	19.5	22.0	37.9	35.6	36.8
Manava	565.0	515.0	540.0	22.5	18.3	20.4	41.2	38.8	40.0
Meriç	623.8	566.3	595.0	24.8	20.8	22.8	38.8	36.0	37.4
Olgun	623.8	592.5	608.1	26.0	21.0	23.5	38.3	35.7	37.0
Oliver	660.0	578.8	619.4	22.0	18.5	20.3	38.4	36.6	37.5
Premium	543.8	528.8	536.3	22.5	18.3	20.4	43.7	38.7	41.2
Ramata	702.5	638.8	670.6	20.3	17.5	18.9	38.0	36.1	37.1
Scarpia	677.5	591.3	634.4	22.5	19.0	20.8	38.6	37.2	37.8
Seymen	555.0	493.8	524.4	23.8	20.5	22.1	42.9	39.6	41.3
Sladoran	595.0	555.0	575.0	22.5	19.0	20.8	42.2	38.4	40.3
Sultan	655.0	553.8	604.4	23.3	18.3	20.8	38.0	37.3	37.7
Tokak 157/37	516.3	492.5	504.4	18.8	16.8	17.8	43.2	40.6	41.9
Yıldız	595.0	498.8	546.9	22.5	19.3	20.9	42.3	40.5	41.4
Zeus	382.5	368.8	375.6	19.8	17.5	18.6	39.8	37.2	38.5
Akar	690.0	610.0	650.0	22.3	19.8	21.0	39.7	37.1	38.4
Akdane	537.5	510.0	523.8	23.8	20.5	22.1	39.9	36.0	38.0
Arcanda	618.8	601.3	610.0	22.0	20.3	21.1	36.2	32.8	34.5
Atılır	742.5	687.5	715.0	24.8	21.0	22.9	34.9	34.1	34.5
Başgül	621.3	566.3	593.8	23.5	20.0	21.8	39.8	36.4	38.1
Beyşehir	633.8	562.5	598.1	20.5	17.8	19.1	41.8	37.4	39.6
Burakbey	652.5	546.3	599.4	22.3	19.5	20.9	38.7	35.4	37.1
Bülbül 89	631.3	565.0	598.1	22.8	19.0	20.9	41.5	37.9	39.7
Cerveise	483.8	457.5	470.6	22.0	19.5	20.8	41.3	37.5	39.4
Cumhuriyet 50	648.8	558.8	603.8	24.3	21.0	22.6	40.6	37.2	38.9
Çıldır 02	535.0	495.0	515.0	24.8	20.0	22.4	41.7	38.7	40.2
Çumra 2001	487.5	505.0	496.3	23.8	19.5	21.6	41.1	37.7	39.4
Efes 98	645.0	580.0	612.5	22.8	19.0	20.9	42.3	38.2	40.2
Erciyes	610.0	521.3	565.6	22.0	18.3	20.1	41.9	37.9	39.9
Erginel 90	607.5	585.0	596.3	21.0	18.8	19.9	38.3	36.6	37.4
İnce-04	657.5	582.5	620.0	23.0	18.8	20.9	42.8	39.7	41.2
Kalaycı-97	640.0	572.5	606.3	23.5	19.3	21.4	41.7	38.9	40.3
Karatay 94	590.0	538.8	564.4	24.8	21.0	22.9	41.6	37.9	39.8
Keser	583.8	481.3	532.5	24.5	20.0	22.3	39.8	36.0	37.9
Kıral-97	501.3	478.8	490.0	22.0	19.3	20.6	38.6	36.7	37.8
Konevi	615.0	550.0	582.5	23.5	19.8	21.6	41.8	38.8	40.3
Larende	532.5	495.0	513.8	25.8	20.8	23.3	41.1	37.8	39.5
Martı	587.5	532.5	560.0	22.5	19.0	20.8	37.8	35.5	36.7
Orza 96	562.5	503.8	533.1	19.8	17.3	18.5	39.8	37.4	38.6
Özdemir-05	627.5	583.8	605.6	20.3	17.8	19.0	45.0	41.9	43.4
Sur-93	623.8	571.3	597.5	20.3	16.5	18.4	41.4	38.6	40.0
Şahin-91	558.8	505.0	531.9	20.3	17.3	18.8	41.4	39.0	40.2
Tarm-92	652.5	601.3	626.9	19.5	16.3	17.9	42.5	40.0	41.2
Toprak	482.5	477.5	480.0	19.8	17.5	18.6	42.7	40.1	41.4
Ünver	406.3	361.3	383.8	21.5	17.8	19.6	43.6	41.5	42.6
Yalın	611.3	557.5	584.4	21.5	18.8	20.1	38.6	36.8	37.7
Yeşil-147	641.3	590.0	615.6	19.8	16.8	18.3	38.9	37.2	38.1
Yesevi 93	640.0	592.5	616.3	20.8	17.8	19.3	40.0	37.9	39.0
Zeynel Ağa	470.0	415.0	442.5	22.5	18.5	20.5	37.0	35.2	36.1
Average	593.8	541.7	567.7	22.5	19.1	20.8	40.5	37.6	39.0

F value (Year)	-	-	142.9**	-	-	1319.9**	-	-	748.6**
F value (Variety)	8.7**	6.5**	14.8**	11.1**	6.3**	16.3**	22.2**	6.8**	21.8**
F value (Block)	2.9*	3.2*	6.1**	4.2**	1.6	5.3**	0.9	0.2	0.5
F value (YxV)	-	-	0.5	-	-	1.1	-	-	1.1
CV (%)	8.1	8.8	8.4	4.6	5.6	5.1	2.2	3.6	3.0
LSD (0.05) (Y)	-	-	8.6	-	-	0.2	-	-	0.2
LSD (0.05) (V)	67.3	66.5	47.0	1.4	1.5	1.0	1.3	1.9	1.1
LSD (0.05) (YxV)	-	-	66.4	-	-	1.5	-	-	1.6

F values with * are 0.05, F values with ** are 0.01 degrees of significance.

When the years are evaluated separately, the harvest indexes of the varieties vary between 26.3-38.3% in the 2017-2018 crop year; While the Meriç variety had the highest harvest index, this variety was followed by Olgun (38.2%), Oliver (38.0%) and Efes 98 (37.9%). Zeus variety had the lowest harvest index, followed by Toprak (28.5%), Ünver (28.5%), and Zeynel Ağa (29.8%), and the differences between the following varieties were insignificant. In the 2018-2019 crop year, the harvest indexes of the varieties varied between 25.1-36.6%; the Özdemir-05 variety had the highest harvest index, this variety was followed by Olgun (36.1%), Meriç (35.2%) and Yalın (35.2%) varieties and Özdemir-05 variety with the highest harvest index had 34.6% harvest index. The difference with the Scarpia cultivar was insignificant. While the Zeus variety had the lowest harvest index, this variety was followed by Escadre (28.3%), Beyşehir (28.4%), and Ünver (28.9%). The difference was insignificant. Kaydan and Yağmur (2007), in their study of Van conditions, reported that the harvest index of barley varieties varied between 21.11-36.43%. Akdeniz et al. (2004) reported harvest index of barley varieties was between 38.0-48.6%, and 15.5%-30.1% by Çöken and Akman (2016). Kırtok (1984) reported that the harvest index was affected by environmental conditions, while Singh and Stoscopef (1971) reported that the year x variety interaction was important in terms of the harvest index.

4. Conclusions

Our barley production should be increased regularly to meet the basic food needs of our growing population, concentrate feed of our animals and raw material needs of the industry, and be able to export. For this, it is important to determine the superior barley varieties in terms of adaptability and grain yield according to the regions. In this study, the winter adaptation of 60 barley cultivars to Erzurum dry farming conditions was investigated, and the highest grain yield was obtained from the Olgun cultivar. Kalaycı-97, İnce-04, and Çetin 2000 varieties also took the first place with their high grain yields. These cultivars can be suggested more confidently as alternative promising cultivars for the region by being tested in large areas and different locations.

5. Acknowledgment

This article was produced from the doctoral thesis titled "Adaptation of Barley Varieties to Erzurum Dry Agricultural Conditions, Characterization and Genetic Diversity in terms of Early Drought Resistance" in the Department of Field Crops, Institute of Science and Technology, Atatürk University, under the supervision of Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU.

Kaynakça

Akdeniz, H., Keskin, B., Yılmaz, İ., & Oral, E. (2004). A Research on Yield and Yield Components of Some Barley Cultivars. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 14(2), 119-125.

- Akkaya, A., & Akten, Ş. (1990). A study on the spring barley varieties will be adapted to Erzurum conditions. *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, 21(1), 9-27.
- Anonim. (2020). Turkish Statistical Institute (TÜİK), Crop production statistics. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Anonim. (2021). Turkish Statistical Institute (TÜİK). Crop production statistics. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Aydoğan, S., Şahin, M., Göçmen Akaçık, A., & Ayrancı, R. (2011). Determination of High Yielding and Quality of Barley Genotypes in Konya Conditions. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 25(1), 10-16.
- Budaklı, E., Bayram, G., Türk, M., & Çelik, N. (2005). The Effects of Different levels of Nitrogen on Yield, Yield Components and Quality in Some Two-Rowed Barley (*Hordeum vulgare* conv. *distichon*) Varieties. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 19(2), 1-11.
- Çağlar, Ö., Bulut, S., Öztürk, A., & Molla, N. (2009). Effects Of Seeding Rates on Plant Growth and Yield in Tokak 157/37 and Tarm-92 Barley Cultivars. *8. Field Crops Congress*, p. 520-525. Hatay. Türkiye.
- Çöken, İ., & Akman, Z. (2016). Determination of Yield and Quality Characteristics of Barley Cultivars in Isparta Ecological Conditions. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 20(1), 91-97.
- Çölkesen, M., Öktem, A., Eren, N., & Akıncı, C. (1994). A research on the effect of different sowing densities on yield and yield components of barley cultivars under irrigated conditions of Harran Plain. *Field Crops Congress*, 1, p. 13-17. İzmir, 1, s. 13-17. İzmir.
- Doğan, Y., Kendal, E., Karahan, T., & Çiftçi, V. (2014). Determination Of Yield And Some Quality Characteristics İn Some Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes İn Diyarbakır Conditions. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 31(2), 31-40.
- El Rabey, H. A., Al-Malki, A. L., Abulnaja, K. O., Ebrahim, M. K., Kumosani, T., & Khan, J. A. (2014). Phylogeny of ten species of the genus *Hordeum* L. as revealed by AFLP markers and seed storage protein electrophoresis. *Molecular Biology Reports*, 41(1), 365-372.
- İmamoğlu, A., & Yılmaz, N. (2012). Determination of Yield and some Quality Properties of some Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes in Bursa Ecological Conditions. *Anadolu Journal of the Aegean Agricultural Research Institute*, 22(2), 13-36.
- Kandemir, N. (2004). Determination of Malting Barley Cultivars Suitable for Tokat-Kazova Conditions. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 21(2), 94-100.
- Karahan, T., & Sabancı, C. O. (2010). Determination of Yield and Yield Components of Some Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars in Southeast Anatolia Ecological Conditions. *Horticultural Studies*, 27(1), 1-11.

- Kaydan, D., & Yağmur, M. (2007). A Research on Yield and Yield Components of Some Two-Rowed Barley Varieties (*Hordeum vulgare* L. conv. *Distichon*) in Van Ecological Conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(3), 269-278.
- Kendal, E., Kılıç, H., Tekdal, S., & Altıkat, A. (2010). Studies on Yield and Yield Components of Some Barley Genotypes Under Diyarbakır and Adıyaman Dry Conditions. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 14(2), 49-58.
- Kırtok, Y. (1984). Biological yield, harvest index, and grain yield in cereals. I. Effects of Environmental Conditions as Agricultural Criteria. *Journal of Natural Sciences*, 8(1), 96-102.
- Kızılgöçü, F., Akıncı, C., Albayrak, Ö., Biçer, B. T., Başdemir, F., & Yıldırım, M. (2016). Investigation of Yield and Quality Parameters of Barley Genotypes in Diyarbakır and Şanlıurfa Conditions. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 25(1), 146-150.
- Öztürk, A., & Akkuş, S. (2015). Barley farming in Erzurum, productivity problems and solutions. *II. Field Crops Congress*, p. 146-150. Çanakkale.
- Öztürk, A., Çağlar, Ö., & Tufan, A. (2001). Adaptation of some barley cultivars in Erzurum conditions. *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, 32(2), 109-115.
- Öztürk, A., Polat, R., Kodaz, S., & Aydın, M. (2018). Yield Response of Winter Barley to Seeding Rates under Erzurum Rainfed Conditions. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 321-327.
- Singh, I. D., & Stoskopf, N. C. (1971). Harvest index in cereals 1. *Agronomy Journal*, 63(2), 224-226.
- Sipahi, H., Sayım, İ., Ergun, N. C., & Çetin, G. (2010). Development of high malting quality barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. Biotechnology work package: Production of doubly haploid plants. *TUBİTAK Projects*.
- Sirat, A., & Sezer, İ. (2009). Determination of Suitable Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Cultivars for Bafra Plan. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 24(3), 167-173.
- Sönmez, F., Ülker, M., Yılmaz, N., Ege, H. & Apak, R. (1996). Effects of Different Sowing Rates on Yield and Yield Components of Some Barley Cultivars. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 6 (1), 133-146.
- Sönmez, F., & Yılmaz, N. (2000). The Effects of Nitrogen and Phosphorous on Contents of Some Macro and Micro Nutrients in Barley Grain. *Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 65-75.



Determination of Worldwide Country Clusters by Selecting the Best Machine Learning Algorithm via MULTIMOORA for Covid-19 Pandemic

Sevgi Abdalla^{1*}, Ozlem Alpu²

^{1*} Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Statistics, Eskisehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4177-5868), sayhan@ogu.edu.tr

² Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Statistics, Eskisehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2302-2953), oyalpu@ogu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1123516)

ATIF/REFERENCE: Abdalla, S., Alpu, O. (2022). Determination of Worldwide Country Clusters by Selecting the Best Machine Learning Algorithm via MULTIMOORA for Covid-19 Pandemic. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 295-306.

Abstract

In this study, to present an integrated approach to clustering analysis based on multi-objective decision making, it is aimed to determine the best clustering algorithm among 11 different clustering algorithms by evaluating all 27 internal validity criteria simultaneously with MULTIMOORA method. In the study, initially, the best clustering algorithm was determined according to the optimal number of clusters for two COVID-19 datasets. Then, it focuses on determining the relationship of the country clusters with the classes determined according to the human development index. In the result of the analyses, countries affected by the COVID-19 pandemic have clustered via the CLARA and SOM algorithms according to their proximity calculated from the Euclidean distance. Three optimal number of clusters were determined for both datasets. The incidence rate variable is the more dominant factor than case fatality rate in the real difference between clusters. Another remarkable finding is that while countries with economic power and a high level of human development are expected to be less affected by the pandemic before the vaccination, the level of being affected by the pandemic increases in terms of both variables as the level of human development increases.

Keywords: Machine learning, Clustering, Internal validation criteria, MULTIMOORA, COVID-19.

MULTIMOORA ile En İyi Makine Öğrenimi Algoritmasını Seçimi ve Covid-19 Pandemisi için Dünya Çapında Ülke Kümelerinin Belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada, çok amaçlı karar vermeye dayalı kümeleme analizine entegre bir yaklaşım sunmak amacıyla, 27 iç geçerlilik kriterinin tamamı MULTIMOORA yöntemi ile eş zamanlı olarak değerlendirilerek 11 farklı kümeleme algoritması arasından en iyi kümeleme algoritmasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada öncelikle iki veri kümesi için en uygun küme sayısı ve bu küme sayısına bağlı olarak en iyi kümeleme algoritması belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen ülke kümelerinin insani gelişmişlik sınıflarıyla ilişkisinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda COVID-19 salgınından etkilenen ülkeler, Öklid uzaklığı aracılığıyla hesaplanan yakınlıklarına göre CLARA ve SOM algoritmaları ile kümelendirilmiştir. Her iki veri kümesi için de en uygun küme sayısı olarak üç küme belirlenmiştir. Vaka-ölüm oranına kıyasla insidans oranının kümeler arasındaki gerçek farkta daha baskın faktör olduğu bulunmuştur. Bir diğer dikkat çekici bulgu ise, ekonomik gücü ve insani gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerin, aşılama öncesinde pandemiden daha az etkilenmesi beklenirken, insani gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerin pandemiden etkilenme düzeyinin her değişken bakımından da yüksek olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenimi, Kümeleme, İç geçerlilik kriterleri, MULTIMOORA, COVID-19,

* Sorumlu Yazar: sayhan@ogu.edu.tr

1. Introduction

Since December 2019, the world has been faced with the COVID-19 pandemic, which is perhaps one of the biggest health crises of the last century. Researchers around the world are making efforts to compare and understand the spread of the COVID-19 pandemic by country (Khafaeie & Rahim, 2020; Wu et al., 2020; Chu, 2021; Hasell et al., 2020; Li et al., 2021; Kuster & Overgaard, 2021; McKenzie & Adams, 2020; Yuan et al., 2021; Harapan et al., 2020).

Additionally, the COVID-19 pandemic has shown that the ability of countries, societies, and individuals to respond quickly to such crises is dramatically low and not evenly distributed. The unequal conditions of countries are related to their economic and socio-cultural power, besides many other reasons. In some studies, the effects of the economic and socio-cultural power of countries' ability to cope with the COVID-19 pandemic have been revealed (Li et al., 2021; Siddik, 2020; Sharma et al., 2021; Liu et al., 2020; Shahbazi & Khazaei, 2020; Marzialli et al., 2021; Gokmen et al., 2021; Rocha et al., 2021; Hezam, 2021; Asem et al., 2021).

As a result, while the impact of the epidemic on the economy is felt both in countries with well-developed economies and in developing countries, it has been revealed that pre-existing inequalities have increased in many areas, especially in the fields of health, education, and employment. In addition to these inequalities, clustering countries based on the incidence and case fatality rates announced for COVID-19 is of vital importance to create a geographical risk assessment. It is obvious that the results of cluster analysis are of undeniable importance for researchers and commentators of different disciplines from all walks of society in determining strategies to suppress the epidemic. In clustering analysis, the use of case fatality rates (CFR) and incidence rates (IR) as key indicators of disease characteristics is important for the comparison of these indicators between countries, determining national and international priorities, and recognition of health system performance. It is seen that the pre-vaccination pandemic had a greater effect on countries with a large economy and high human development index, with the degree of impact varying from country to country. In this respect, the following question is suggested: 'Can the levels of human development of countries be a measure of success/failure in the combat against the COVID-19 pandemic?' Based on this question, four main objectives were determined in the study. These objectives can be listed as follows:

- (1) To categorize countries in terms of similarities according to their level of being impacted by the COVID-19 pandemic before vaccination,
- (2) To reveal if there is a relationship between the categories of countries in terms of human development index and levels of being impacted by the COVID-19 epidemic; and to determine the extent of its relationship.

Furthermore, additional objectives have been defined to determine the course of the post-vaccination pandemic and whether there is a difference between the categories of countries pre- and post-vaccination. For these purposes, CFR and IR variables as well as the ratio of fully vaccinated people relative to population (VAC-R) are included in the evaluation of the post-vaccination process. Thus, additional objectives are defined as

follows when the post-vaccination pandemic data are considered in the study.

- (3) To reveal similarities/dissimilarities between the groups of countries pre- and post- vaccination and,
- (4) To reveal similarities/dissimilarities between the level of human development and the groups of countries post-vaccination.

However, the classification of countries with similar structures in terms of incidence, case fatality rate, and people fully vaccinated rate in the same clusters, and thus the performance of clustering results (although these changes depending on time), is possible by determining the optimal clustering algorithm, the optimal number of clusters and the appropriate criteria. For this reason, it is not possible to mention the optimal solution for the clustering problem that is analyzed with a single randomly selected and applied algorithm and validation criterion.

For all these objectives, 11 clustering algorithms, which are considered successful in the literature, were used. Among the algorithms considered, determining the optimal clustering algorithm and the number of clusters is included in the class of multi-objective decision-making (MODM) problems. There are many MODM techniques developed for the solution of such problems in the literature. The MULTIMOORA method has been used due to the numerical values of the selection criteria determined in the solution of this problem and the effectiveness of the algorithm. Thus, to cluster countries according to their level of impact from the COVID-19 pandemic, various algorithms have been compared according to different criteria and the optimal clustering algorithm, and, accordingly, the number of clusters has been determined.

Finally, in this study, the relationship between the clustering results and the categories according to the human development index of the countries has been revealed. Therefore, this study contributes to the literature both regarding the proposed solution approach and in terms of demonstrating the relationship of clustered countries with the level of human development.

2. Material and Method

2.1. Clustering Methods

The algorithms used in the study are included in the following sub-sections.

2.2.1. K-means Algorithm

The k-means algorithm is one of the partitioning cluster algorithms that require predetermining the number of clusters to be created. Thus, it is aimed to minimize the sum of squares within the group for the specified number of clusters (Hartigan and Wong, 1979). Although it is an advantage that this algorithm is easy to implement and can be applied in large data sets, it has the disadvantage that if the initial number of clusters cannot be determined, the clusters obtained depend on the selection method of the first cluster centroids. Also, it is sensitive to outliers, cannot be used in categorical data, and is not suitable for finding non-convex clusters (Berkhin, 2002).

The k-means algorithm is a poor choice for clustering unless special conditions (i.e., spherical cluster, no outliers, and properly initializing, etc.) are met on the data (Estivill-Castro and Yang, 2000). It can also converge to the local maximum at low quality

(Bradley et al., 1997; Fraley and Raftery, 1998). It is also stated that since it is sensitive to transformations such as scaling and is statistically biased, it can converge to incorrect parameter values (Estivill-Castro and Yang, 2000).

2.2.2. Partitioning Around Medoids (PAM)

In this algorithm, the number of clusters must be predetermined by the researcher, and k initial cluster centroids are required to start the algorithm. PAM is considered as more robust because it allows the use of the L_2 norm as well as other measures of dissimilarity. The algorithm gives successful results in small datasets. However, due to its computational complexity, its performance is poor on massive datasets. Another disadvantage is that the researcher has to determine the number of clusters (Han et al., 2012).

2.1.3. Clustering Large Applications (CLARA)

Since the PAM algorithm cannot show the desired sensitivity in large data sets, the use of the CLARA algorithm developed by (Kaufman and Rousseeuw, 2005) in large data sets seems to be the biggest advantage. However, choosing the right sample size provides good results from the algorithm. Since the algorithm determines the cluster centers as k -medoids amongst these samples, if an observation with k -medoids is not selected for sampling, the algorithm cannot make a correct clustering. Because the algorithm determines cluster centers as k -medoids from these samples, the algorithm cannot make an accurate clustering if the sampling of a medoid that is a k -medoid is not selected. Since CLARA finds the best k -medoids in the sample from the dataset, then it cannot perform a good clustering if any of the best sampled medoids are away from the best k -medoids (Han et al., 2012).

2.1.4. Divisive Analysis (DIANA)

Diana algorithm belongs to the class of hierarchical clustering algorithms. It begins with the clustering process in a single cluster included all observations, and repeatedly classifies until each cluster includes only one observation (Kaufman and Rousseeuw, 2005). It can be applied to datasets where distance measures, which are similarity measures, are used. Additionally, DIANA is not affected by the initial selection of the cluster center; in other words, it always provides a unique cluster. Determining how to classify from a large cluster into smaller clusters is a drawback of divisive methods. Examining the probabilities of how many different ways a dataset will be partitioned takes computational time. In short, since the algorithm runs heuristic methods for partitioning, it can lead to erroneous clustering. In addition, due to the computational workload, DIANA does not optimize by backtracking the partitioning within the algorithm. Because of the high computational load, it is not preferred to be used in large datasets.

2.1.5. Fuzzy Analysis (FANNY)

This algorithm implements fuzzy clustering, where each cluster contains observations with partial membership. Therefore, a vector is defined that indicates the partial membership of each observation in each cluster. The algorithm estimates the membership function to minimize the objective function. Observations are grouped into clusters with high membership. This algorithm requires the use of datasets with at least interval-scaled variables or a dissimilarity matrix. The algorithm does not allow the occurrence of one cluster; it provides fuzzy sets to the researcher to assign observations to more than one cluster. In

addition, due to the numerical reasons in the initial step and the difficulty of interpreting large k values, the algorithm allows the utmost number of clusters to be half ($n/2$) of the maximal number of observations (Kaufman and Rousseeuw, 2005).

According to existing fuzzy clustering algorithms, the advantages of the algorithm are that it uses the dissimilarity matrix, is more robust for the spherical cluster assumption, and yields a new graphical representation (Silhouette plot) to the user (Itoh, 2013).

Fuzzy clustering presents more detailed insight into the structure of the dataset than hard clustering. However, a large number of observations and clusters, as well as the number of these outputs (the amount of detailed information), can sometimes become a drawback for using the algorithm. The lack of representative observations, the complexity of fuzzy clustering algorithms, and the long computation time can be considered as other disadvantages. However, it is considered attractive by researchers because of the fuzziness property, which allows using the uncertainties of real-life data (Kaufman and Rousseeuw, 2005).

2.1.6. Self-organizing Map (SOM)

This algorithm includes an unsupervised learning based on artificial neural networks for dimension reduction and data clustering. The SOM algorithm, also known as Kohonen Networks, has been used as a classification technique in a variety of areas with great success (Kiang, 2001). Besides being used for clustering purposes, it is a data visualization tool (Flexer, 2001).

One of the most important reasons why neural network-based techniques such as the SOM method are preferred to statistical modelling techniques is that they do not necessitate any assumptions regarding the data distribution. In addition, unlike some statistical clustering methods, the SOM method does not require assumptions about the initial number of clusters, the variables distributions, and the independence between the variables. The SOM method has started to be used frequently in cluster analysis studies due to its usefulness and flexibility against statistical assumptions. Furthermore, SOM presents a map with a lower-dimensional representation of higher-dimensional data and displays clusters on this map (Dunham, 2003)

SOM is also considered an effective algorithm when working with high dimensional data.

The one drawback of the SOM method is that it cannot provide a measure of the validity of cluster analysis results. In addition, since SOM cannot provide the features/variables that will enable clusters to be distinguished from each other, it would be more meaningful to use it together with a rule set such as C5.0.

2.1.7. Self-organizing Tree Algorithm (SOTA)

SOTA is a hybrid neural network algorithm developed by (Dopazo, and Carazo, 1997) combining the advantages of SOM and hierarchical clustering. The algorithm has a structure which is based on a divisive hierarchical binary tree. It uses a fast algorithm and is, therefore, suitable for clustering datasets with a large number of observations. It is considered an advantage to combine hierarchical clustering with SOM. The algorithm provides a mapping by reducing complex data sets. SOTA allows a built-in assessment of the reliability of any cluster in the entire hierarchy in the analysis. Producing dendrograms that explain the clustering at different hierarchical levels allows the management

of the resolution. Additionally, it is robust to outliers. The fact that SOTA has a hierarchical tree structure and that clusters are obtained proportionally to the heterogeneity of the data are considered as two important advantages (Herrero et al., 2001).

2.1.8. Agglomerative Nesting (AGNES)

AGNES, one of the hierarchical clustering algorithms, has a bottom-to-top clustering structure. Each observation is considered as a cluster at the initial stage, and the most similar pairs among them are clustered. This process continues until there is no more observation to the cluster.

This algorithm has the advantages of not requiring predetermining the number of clusters and being easy to use. The sensitivity of the distance matrix to outliers, the splitting of large clusters, and the inability to cope with convex and different size clusters can be considered as the disadvantages of the algorithm. In addition, the computational time may be longer depending on the size of the dataset. Determining the correct number of clusters with a dendrogram can be difficult.

2.1.9. Hierarchical Clustering Algorithm

This algorithm is preferred if the number of clusters is not predetermined or decided. In the algorithm, the visual perceptibility of the clusters is high because the observations or variables that are close to each other are grouped in terms of proximity or distance measures. It gives much better results in data sets containing values that are characterized as outliers, extremes, and noisy values, compared to partitional clustering methods. It can be applied to all types of data and gives more accurate results than partitional clustering methods. In general, the disadvantage of hierarchical clustering algorithms is that the number of operations to be performed increases as the number of observations or variables increases. Therefore, it is a very time-consuming algorithm in large data sets. However, this disadvantage can be reduced by computers with more powerful processing capabilities. Another drawback of the method is that hierarchical clustering algorithms do not have a precise criterion to determine at which stage of the solution to stop, and an observation cannot be reassigned to another cluster after it is included in a cluster (Aydın and Seven, 2015).

2.1.10. EM Algorithm

The EM algorithm uses the model-based soft clustering method (Dempster et al., 1977) For this reason, the clusters formed are generally not in a disconnected form from each other. The EM algorithm prefers to use an estimation method instead of using distance measures to determine which cluster an observation will be in. The fact that the likelihood increases with each iteration, both steps (E and M) are easy to implement, and the solution of the maximization (M) step has a closed form are the advantages of the EM algorithm (Couvreur, 1997, Gupta, and Chen, 2011). Very slow convergence of the algorithm, convergence to the local optimal, and the use of forward-backward probabilities are the disadvantages of the EM algorithm (McLachlan et al., 2004).

2.1.11. Genie Algorithm

The algorithm Genie is a multi-objective clustering algorithm, as effective and simple as any other distance-based hierarchical clustering algorithm (Gagolewski et al., 2016). It only requires a measure of similarity between a pair of observations. Partitioning of a dataset can be carried out with various structure

of data such as intensive, sparse, and string. It can also be used with various metrics such as L_2 norm, L_1 norm, cosine, and Levenshtein. It also allows the number of clusters to be predetermined. It always returns exactly the desired number of clusters. The algorithm provides coherent clustering results against small changes in the Gini threshold.

The time complexity of a clustering algorithm mostly depends on size of data which can increase the number of dissimilarity computations. Such a restriction makes it disadvantageous to use all classical linkage criteria for larger datasets, except for the single linkage criterion. However, it is known that the results of single linkage method are affected by outliers and therefore will not always produce an accurate clustering structure. To cope with these drawbacks, the Genie algorithm has been suggested.

According to the comparisons made by (McLachlan et al., 2004) this algorithm is shown to be quite practical and useful. While single linkage gives fast results, they state that it mostly outperforms such methods as Ward and average linkage in terms of quality of clustering. Furthermore, the algorithm can be easily parallelized and accelerated further. Additionally, there is no requirement to pre-compute the complete distance matrix to accomplish clustering.

2.3. Clustering Validation Measures

The performance scores of clustering algorithms are associated with validity measures, which represent the quality of a clustering algorithm that creates convenient clusters without any information about the cluster [Rendón et al., 2011, Pérez et al., 2020]. In the literature, cluster validity measures, mostly called validation indices are grouped as internal, external, and relative measures (Wani, and Riyaz, 2016). The internal type of validation measures employs the information by processing the observed unlabeled original data (Moshtaghi et al., 2019). In contrast, external validity indices use prior information such as pre-defined class-labelled data to extract information about the clustering structure [Rendón et al., 2011]. The indices achieve the scores by comparing a cluster to a given partition. Finally, relative validation indices consider the structure of clustering by comparing different conditions (e.g., parameter values, i.e., varying the number of clusters) for the same algorithm (Dalton et al., 2009).

In the literature, many different clustering validation measures exist (Milligan, 1981, Bolshakova, and Azuaje, 2003). Desgraupes (2012) brought together a total of 42 validation measures, internal, external, and relative, in the clusterCrit package he developed for the R software and gave detailed information about the mathematical structure of the measures.

The quality or performance of a clustering analysis and a clustering algorithm is often examined using measures of internal validation when not to know the number of clusters in advance, or the cluster labels are not known (Van Craenendonck and Blockeel, 2015) While some of these developed measures should be minimized (e.g., connectivity, Ball-Hall, etc.), some of them should be maximized (silhouette, etc.). Since some measures are based on the difference between two measures, then, the difference should be minimized or maximized (Desgraupes, 2012). However, choosing the right one among so many validation measures is a difficult decision for the researcher.

Since many studies use a single clustering technique or algorithm, such as k-means (Kurniawan et al., 2020), the choice of validity measures has not been given due attention. If more than one algorithm is used, it is seen that the internal validity measures of silhouette (Kucukefe, 2020, António et al., 2021], and within-cluster sum of squares (Virgantari, and Faridhan, 2020) are often taken into account. However, to the best of our knowledge, no clustering study or program has been encountered that recommends the best algorithm by considering all the criteria.

In this study, a common consensus-based solution was aimed at by choosing the best clustering algorithm for the COVID-19 dataset by considering all of the internal validity criteria. For this purpose, 27 internal validity measures included in the clusterCrit package were taken into account (see Desgraupes, 2012, p. 21) and values for all of these internal validity measures were obtained.

2.4 MULTIMOORA

The MOORA method built on the base of multi-objective methods was suggested by Brauers and Zavadskas for ranking the alternatives concerning their performances (Brauers et al., 2008). The remarkable feature of the method is to satisfy the robustness conditions (Brauers et al., 2008, Brauers and Zavadskas, 2011] which might be depicted as follows; (i) has to make allowances for all potential independent objectives, (ii) enables autonomy in consumers' preferences, (iii) handles the interrelations between objectives and alternatives in one structure at a time, not required paired comparisons, (iv) represent the performance scores by the cardinal numbers, (v) requires to be far from subjectivity, and (vi) processes the actual data.

The fact that the MOORA is the only one which satisfies all conditions mentioned above, hence, makes the method more prominent than the others. The method is a combination of two methods, such as the ratio system and reference point method (Brauers and Zavadskas, 2011). In addition, the MULTIMOORA method was developed by integrating the Full Multiplicative Form to these methods. The solution process of the MULTIMOORA is given in the following:

2.4.1. The Ratio System

Step 1. Obtaining a decision matrix: The values (x_{ij}) in a decision matrix refer to performances of an alternative on the identified objectives. Here i and j represent the objectives and the alternatives, respectively.

Step 2. Normalize the values. To utilize the ratio system, the performance values are normalized by using the formula in the following.

$$x_{ij}^* = \sqrt{\frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}$$

Step 3. Optimize the ratio system by calculating the utility.

The utility is a value, that is, the difference between the utility of maximized and minimized objectives, represented as follows.

$$U(a_j) = \sum_{i=1}^g (x_{ij}^*) - \sum_{i=g+1}^n (x_{ij}^*)$$

Step 4. This step requires ranking of the utilities from the top to the bottom and maximum utility $U(a_i)$ shows the most preferable alternative.

2.4.2. The Reference Point Approach

This approach requires the normalized values of performance scores as in the ratio system method. Then, by using the Tchebycheff metric that is called min-max metric, the reference point is determined. Brauers and Ginevičius (2010) have highlighted that this metric is the most robust among all the alternative metrics of reference point theory. The reference point r_i , refers to the best utility value for the i th criterion, which has to be maximized or minimized.

$$\min(j)\{\max(i)|r_i - x_{ij}^*|\} \text{ where } r_i \begin{cases} \max x_{ij}^* \\ \min x_{ij}^* \end{cases}$$

2.4.3. The Full Multiplicative Form and MULTIMOORA

The MULTIMOORA method uses a multiplicative utility function that provides such advantages as simple application, less computational time, basic mathematical calculations, high stability, no extra assumptions, or parameters.

$$U_j \prod_{i=1}^n x_{ij}$$

with $j: 1, 2, \dots, m$ alternatives and $i: 1, 2, \dots, n$ objectives

U_j represents the overall utility of alternative j only if it has a one-sided objective. However, if the decisions require performing the mixed objectives, the utility function has been formulated as follows:

$$U_j^* = \frac{A_j}{B_j}; A_j = \prod_{i=1}^g x_{ij} \text{ and } B_j = \prod_{i=g+1}^n x_{ij}$$

A_j and B_j are the overall utility of the related objectives which are maximized and minimized. Finally, if the alternative has the best utility, the ranks are assigned by ordering those final utilities by utilizing dominance-based theory (Brauers and Zavadskas, 2011).

2.5. COVID-19 Datasets and Preprocessing

In this study, three datasets are used. One is the COVID-19 pre-vaccination dataset consisting of case fatality rate and incidence rate (per 1m) variables, provided from (OWD, 2022), and involving the collection of records from the beginning of the pandemic until the 14th of March 2021 inclusive. These two variables have been seen to play a significant role in explaining the pandemic and determining its effects in different areas (Karmakar et al., 2021; VoPham et al., 2020; Tosepu et al., 2020; Ahmad et al., 2020). The reason for taking this date as a reference is the fact that vaccination was started in economically strong countries and was carried out rapidly. Considering the possibility that vaccination may completely change the course of the pandemic based on countries and continents, the data regarding the pre-vaccination period has been analyzed to try to shed light onto the second phase of the study.

The second dataset in the study contains information about VAC-R which is added as an extra variable to the dataset (OWD, 2022). The dataset is called COVID post-vaccination dataset includes the records of countries for three variables such as case fatality rate, incidence rate, and people fully vaccinated rate from March 15th, 2021, to January 31st, 2022.

The third one is the Human Development Index dataset. This dataset is obtained from the 2020 Human Development Report (HDR, 2020). The dataset initially included 222 country records. However, since it will be a comparative study with country groups clustered according to their degree of impact from the pandemic with human development levels, country data common to both datasets have been analyzed. The final datasets include COVID-19 pandemic records for a total of 172 countries. The whole data analysis process was carried out in R-Studio version 1.4.1103 (RStudio Team, 2021) by using packages NbClust (Charrad et al., 2014), clusterCrit (Desgraupes, 2016), optCluster (Sekula et al., 2017), cluster (Maechler et al., 2021), genieclust (Gagolewski et al., 2016), and MESS (Wickham et al., 2021).

3. Results and Discussion

3.1. Determining The Optimal Numbers Of Clusters for The COVID-19 Datasets

In the study, initially, the optimal number of clusters to which countries belong was determined for both datasets according to the level of impact from the COVID-19 pandemic. For this purpose, the clustering tendency of the datasets was determined by using the Hopkins statistics which shows that they are more likely to be clustered and have a strong clustering tendency. The values of the Hopkins statistics were found as 0.82 and 0.77 for the pre- and post-vaccination datasets, respectively.

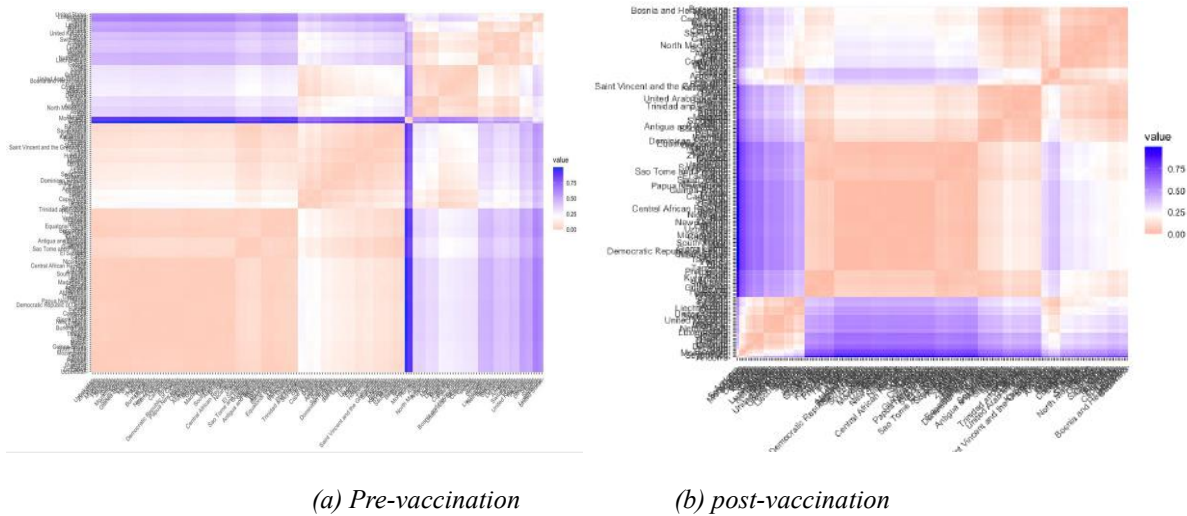


Figure 1. Ordered dissimilarity images (ODI) for the COVID-19 datasets

Another method that is called visual assessment tendency (VAT) introduced by (Bezdek & Hathaway, 2002), provides a reordered matrix of pairwise object dissimilarities via an intensity image. When the ordered dissimilarity images (ODI) shown in Figure 1 are examined, the objects represented by the pink-

colored pixels represent more similar objects, while the blue represents objects that are completely distant from each other. According to Figure 1, it is seen that the countries in the pixels coded as three regions form homogeneous groups for both datasets and there is good clustering.

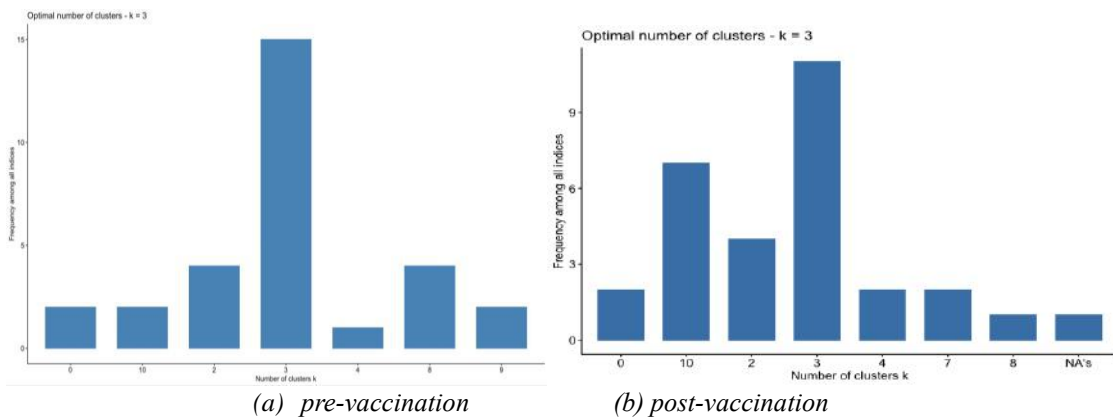


Figure 2. The optimal number of clusters suggested by the NbClust package for the COVID-19 datasets sayıları

Furthermore, hierarchical clustering analysis was conducted via the NbClust package. For the number of clusters from 2 to 10, analysis performances were obtained in terms of 30 criteria *e-ISSN: 2148-2683*

(Charrad et al., 2014). The number of clusters recommended by the largest number of criteria for each dataset according to the modal value (Figure 2) was adopted in the study. In other words,

three clusters were recommended as the optimal number of clusters in terms of a total of 15 and 11 criteria in both datasets for pre-vaccination and post-vaccination periods, respectively.

Finally, by combining the results of the ODI and NbClust package, the number of clusters was determined as three for each dataset as shown in Figure 1 and 2.

3.2. Determining the optimal clustering algorithm for both COVID-19 datasets

In the clustering analysis, it is observed that the Ward.D2 method for the COVID-19 datasets has better clustering performance in terms of 27 criteria compared to the single linkage and complete linkage methods as a result of various trials. The performances of the algorithms represent the dissimilarities of the

clusters with the total within-cluster variance between countries according to each internal criterion. Based on the decision matrices which are constructed separately for each dataset, alternative clustering algorithms through the MULTIMOORA technique are ranked according to their clustering performances and ranking results of two analyses are demonstrated in Table 1.

As a result of the algorithm performance rankings obtained by considering 27 criteria together, the optimal clustering algorithm to be used to determine the clusters of countries in the COVID-19 pre-vaccination dataset is determined as CLARA. In addition, the optimal clustering algorithm for the COVID-19 post-vaccination data is determined by utilizing a similar calculation procedure of the COVID-19 pre-vaccination dataset. According to the results given in Table 1, the SOM algorithm is selected as the optimal clustering algorithm for the post-vaccination dataset.

Table 1. Ranking results of the MULTIMOORA method to select the best clustering algorithm

Alternative Clustering Algorithms	Ranking for the pre-vaccination dataset	Ranking for the post-vaccination dataset
AGNES	6	7
CLARA	1	10
DIANA	7	2
FANNY	2	4
GCLUST	4	6
HCLUST	3	5
KMEANS	10	11
EM MODEL	11	3
PAM	5	8
SOM	9	1
SOTA	8	11

3.3. Clustering results according to the level of impact of the COVID-19 pandemic on countries

Countries affected by the COVID-19 pandemic have clustered via the CLARA and SOM algorithms according to their proximity calculated from the Euclidean distance in terms of CFR, IR (per 1m), and VAC-R per relative population variables.

3.3.1. Clustering results of the COVID-19 pre-vaccination dataset

According to the results given in Table 2, the cluster medoid for Cluster 1 is determined as Slovakia. Pandemic statistics of Slovakia are given as 2.53 for CFR and 61,887.78 (per 1m) for IR in the records. It is observed that the most affected countries in the world are given in Cluster 1. When Cluster 2 is examined, Libya is determined as the cluster medoid (IR: 21,101.29 and CFR: 1.65). In terms of IR, the IR of Cluster 2 is almost 3 times lower, when compared to the country statistics in the cluster medoid (61,877.78) of Cluster 1. The IR of the countries in Cluster 2, as well as the CFR, is determined to be low ($1.65 < 2.53$). In addition, when their position on the world map is observed, most of the countries in Cluster 2, which are represented in green color, are in the northern hemisphere, and that many countries in

this cluster (Cluster 2) are economically strong. This situation offers a perspective to address and evaluate the COVID-19 pandemic from another viewpoint.

Finally, most of the countries in Asia and Africa are gathered in Cluster 3 and this cluster is represented in black in Figure 3 (a). Ethiopia is determined as the cluster medoid for Cluster 3 with an IR of 1,526.28 and a CFR of 1.45. Although they are close to Cluster 2 in terms of CFR, a great difference is observed in terms of the IR. It is concluded that the countries in Cluster 1 are the country group most affected by the pandemic.

3.3.2. Clustering results of the COVID-19 post-vaccination dataset

According to Table 3, the clustering of 172 countries differs slightly from those of the pre-vaccination period. Cluster 1 included a total of 30 countries, with variable averages of 0.77% for CFR, 270240.91 for IR, and 70.39% for VAC-R, respectively. The vaccination rates of the countries in this cluster are highest compared to other clusters of countries. At the same time, the number of cases compared to the population is observed to be at the highest level in Cluster 1. However, despite the high number of cases, the average CFR in this cluster is found to be considerably lower than the average of other clusters.

Table 2. List of countries in terms of their level of being impacted by the COVID-19 pandemic for the pre-vaccination period

Cluster No	Countries
Cluster 1 (Cluster size: 47) medoid: Slovakia (CFR:2.53; IR:61,887.78)	Andorra, Argentina, Armenia, Austria, Bahrain, Belgium, Bosnia and Herzegovina, Brazil, Chile, Colombia, Croatia, Cyprus, Czechia, Estonia, France, Georgia, Ireland, Israel, Italy, Jordan, Kuwait, Latvia, Lebanon, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Moldova, Montenegro, Netherlands, North Macedonia, Panama, Peru, Poland, Portugal, Qatar, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Arab Emirates, United Kingdom, United States
Cluster 2 (Cluster Size: 46) medoid: Libya (CFR: 1.65; IR:21,101.29)	Albania, Azerbaijan, Bahamas, Barbados, Belarus, Belize, Bolivia, Botswana, Bulgaria, Canada, Cape Verde, Costa Rica, Denmark, Dominican Republic, Ecuador, Eswatini, Finland, Germany, Greece, Guyana, Honduras, Iceland, Iran, Iraq, Kazakhstan, Libya, Maldives, Mexico, Morocco, Namibia, Norway, Oman, Palestine, Paraguay, Russia, Saint Lucia, Saint Vincent and the Grenadines, Seychelles, South Africa, Suriname, Tanzania, Tunisia, Turkey, Ukraine, Uruguay
Cluster 3 (Cluster Size: 79) medoid: Ethiopia (CFR:1.45; IR:1,526.28)	Afghanistan, Algeria, Angola, Antigua and Barbuda, Australia, Bangladesh, Benin, Bhutan, Brunei, Burkina Faso, Burundi, Cambodia, Cameroon, Central African Republic, Chad, China, Comoros, Congo, Cuba, Democratic Republic of Congo, Djibouti, Egypt, El Salvador, Equatorial Guinea, Ethiopia, Gabón, Gambia, Ghana, Grenada, Guatemala, Guinea, Guinea-Bissau, Haiti, India, Indonesia, Jamaica, Japan, Kenya, Lesotho, Liberia, Madagascar, Malawi, Malaysia, Mali, Mauritania, Mauritius, Mongolia, Mozambique, Myanmar, Nepal, Niger, Nicaragua, Nigeria, Pakistan, Philippines, Rwanda, Sao Tome and Principe, Saudi Arabia, Senegal, Sierra Leone, Singapore, South Korea, South Sudan, Sri Lanka, Sudan, Syria, Tajikistan, Thailand, Togo, Trinidad and Tobago, Uganda, Uzbekistan, Venezuela, Vietnam, Yemen, Zambia, Zimbabwe

*CFR: Case fatality rate. **IR: Incidence rate

Table 3 List of countries in terms of their level of being impacted by the pandemic for the COVID-19 post-vaccination dataset

Cluster No	Countries
Cluster 1 (Cluster size: 30) mean values: (CFR:0.77; IR:270240.91. VAC-R: 70.39%)	Andorra, Austria, Bahrain, Belgium, Croatia, Cyprus, Czechia, Denmark, Estonia, France, Georgia, Ireland, Israel, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Maldives, Montenegro, Netherlands, Portugal, Serbia, Seychelles, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, United States
Cluster 2 (Cluster Size: 59) mean values: (CFR:1.61; IR:111777.54. VAC-R: 60.94%)	Albania, Antigua and Barbuda, Argentina, Armenia, Australia, Azerbaijan, Bahamas, Barbados, Belarus, Belize, Bolivia, Bosnia and Herzegovina, Botswana, Brazil, Bulgaria, Canada, Cape Verde, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Finland, Germany, Greece, Grenada, Guyana, Hungary, Iceland, Iran, Italy, Jordan, Kazakhstan, Kuwait, Lebanon, Malaysia, Malta, Moldova, Mongolia, North Macedonia, Norway, Oman, Palestine, Panama, Paraguay, Peru, Poland, Qatar, Romania, Russia, Saint Lucia, Saint Vincent and the Grenadines, Singapore, Suriname, Trinidad and Tobago, Tunisia, Turkey, Ukraine, United Arab Emirates, Uruguay
Cluster 3 (Cluster Size: 83) mean values: (CFR:2.18; IR:15635.86 VAC-R: 33.90%)	Afghanistan, Algeria, Angola, Bangladesh, Benin, Bhutan, Brunei, Burkina Faso, Burundi, Cambodia, Cameroon, Central African Republic, Chad, China, Comoros, Congo, Democratic Republic of Congo, Djibouti, Dominican Republic, Ecuador, Egypt, El Salvador, Equatorial Guinea, Eswatini, Ethiopia, Gabon, Gambia, Ghana, Guatemala, Guinea, Guinea-Bissau, Haiti, Honduras, India, Indonesia, Iraq, Jamaica, Japan, Kenya, Kyrgyzstan, Lesotho, Liberia, Libya, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Mauritius, Mexico, Morocco, Mozambique, Myanmar, Namibia, Nepal, New Zealand, Nicaragua, Niger, Nigeria, Pakistan, Papua New Guinea, Philippines, Rwanda, Sao Tome and Principe, Saudi Arabia, Senegal, Sierra Leone, South Africa, South Korea, South Sudan, Sri Lanka, Sudan, Syria, Tajikistan, Tanzania, Thailand, Togo, Uganda, Uzbekistan, Venezuela, Vietnam, Yemen, Zambia, Zimbabwe

*CFR: Case fatality rate. **IR: Incidence rate ***VAC-R: people's fully vaccinated rate per relative population

3.3.3. Comparative results of the clustering analysis on the world map

In this part of the study, a comparative evaluation of the clustering analysis was presented. The categories determined by the level of impact on the countries of the pandemic for COVID-19 datasets are shown on the map in Figure 3. Considering the distribution of the COVID-19 pandemic clusters in the world, Cluster 1 is represented in purple on the map. According to Figure 3(a), the pandemic has seriously affected a large part of the American continent and the European continent. It is noteworthy to point out that the countries of the European Union and USA, which hold world power economically, are also in this cluster. There were 47 countries in Cluster 1 in the pre-vaccination period

while 30 countries were included in it in the post-vaccination period. When Figure 3(a) and 3(b) are compared, it is seen that all countries in cluster 1 in South America are in cluster 2 in the post-vaccination period. The reason for this is that the countries in South America are more behind the vaccination rates of developed countries in vaccination. In addition, it is observed that 10 countries in Europe have shifted from Cluster 1 to Cluster 2 in terms of vaccination and case fatality rates. It is known that only 30 countries have a very high vaccination rate, and the majority of these countries have a high level in terms of the economic and human development index

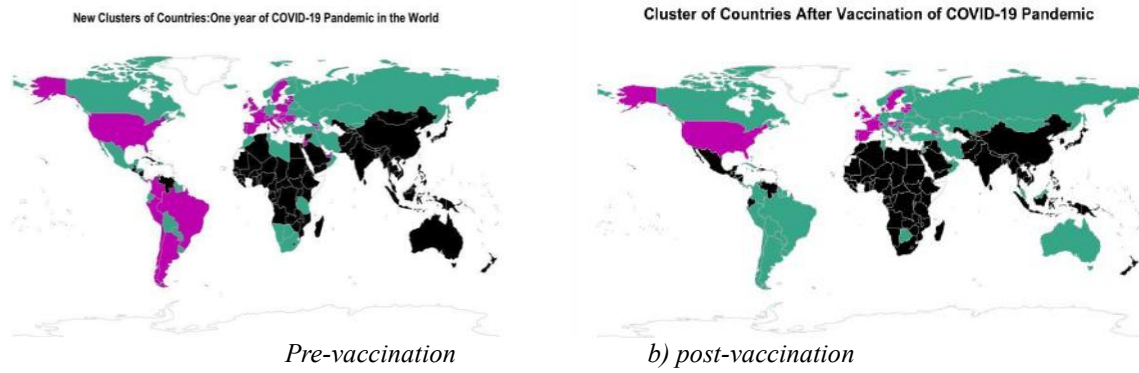


Figure 3 New clusters of countries for COVID-19 pandemic in the world.

Cluster 2 for both datasets is represented in green on the world map. Considering the spread of the countries in Cluster 2 in the world, there are 46 countries in this cluster in the pre-vaccination period while 59 countries are included in it according to post-vaccination statistics. This is because, as previously stated, the vaccination statistics of many countries in the South American continent are higher than Cluster 3 and are included in Cluster 2.

Examining the spread of countries on the world map, the number of countries in Cluster 3 increased from 79 pre-vaccination to 83 in the post-vaccination period. Almost all countries in Central America, except for Cuba, are in Cluster 3. Cuba is in Cluster 3 before vaccination, while it is in Cluster 2 in the post-vaccination period. In addition, a similar interpretation can be made for the Australian continent. This suggests that Cuba and Australia have a high vaccination rate.

As a result, as the vaccination rate increased, the CFR decreased, and vaccination was found to make a significant difference to the clusters of countries.

3.3.4. Relationship between human development levels and clusters of COVID-19 pandemic

To examine the difference between the human development levels and the country clusters, the two-dimensional contingency tables given in Table 4 were formed. To calculate the association between these two ordinal categorical variables, the gamma (γ) coefficient of Goodman and Kruskal (Kvålseth, 2017) was preferred. The value of Goodman-Kruskal's Gamma statistic was calculated as $G=0.8228$ for the pre-vaccination contingency table and $G=0.924$ for the post-vaccination contingency table given in Table 4. Furthermore, according to the result of the hypothesis test ($Z = 14.326$, $p\text{-value} < 2.2e-16$) for the significance of this test statistic, the null hypothesis was rejected at the 0.01 significance level. The value of gamma statistic investigates that the strong similarity between the groups of countries based on human development and the country clusters of the COVID-19 pandemic is quite high and positively associated.

Besides, when the clusters created for the post-vaccination period are taken into account, it was found that the similarity between the categories of countries after vaccination and HDI (gamma:0.924) was greater than the pre-vaccination similarity (gamma:0.823). Therefore, as these results show, the countries with high vaccination rates are also countries with very high and high HD level

Table 4 Contingency tables of HD levels and COVID-19 pandemic clusters for both COVID-19 datasets

Human Development Levels of Countries				
<i>Before vaccination</i>	Very High	High	Medium	Low
<i>Cluster 1 (high)</i>	38	9	0	0
<i>Cluster 2 (medium)</i>	17	20	8	1
<i>Cluster 3 (low)</i>	9	17	23	31
<i>After vaccination</i>	Very High	High	Medium	Low
<i>Cluster 1 (high vac.)</i>	28	2	0	0
<i>Cluster 2 (medium vac.)</i>	30	27	2	0
<i>Cluster 3 (low vac.)</i>	6	17	29	31

4. Conclusions and Recommendations

Since the declaration of the pandemic, many clustering studies have been conducted for the COVID-19 data presented in different sources in the world and Turkey and taken at various date intervals. Although the k-means algorithm is mostly preferred due to its general success in determining country clusters, it has been observed that the hierarchical clustering analysis algorithm is used in a few studies. To the best of our knowledge, a study on COVID-19 has not been encountered in which a detailed clustering process considering all the criteria was performed as in this study.

In this study, it has been proposed to use one of the MODM methods based on 27 validation measures for the selection of algorithms with which researchers have the most difficulty and indecisiveness in cluster analysis.

According to the results, the incidence rate variable is the most dominant factor in the real difference between clusters. Another remarkable finding is that while countries with economic power and a high level of human development are expected to be less affected by the pandemic before the vaccination, the level of being affected by the pandemic increases in terms of both variables as the level of human development increases.

According to the cluster statistics in question, it has been observed that the vaccination rate has no positive effect on the number of cases while significantly reducing the case fatality rate. Therefore, countries with high HDI levels have a high vaccination rate and consequently low case fatality rates. However, the effect of vaccination on the number of cases might not seem to be very significant.

South Asian countries, except for Central America, almost the entire African continent, and the Australian continent, lagged far behind in the vaccination process and therefore there was no significant decrease in case fatality rates. Compared to developed countries, there has been a delay in the delivery of vaccines to

developing world countries, or it has been concluded that their culture and the way they handle the pandemic process have influenced societies' attitudes towards vaccination. In short, this study has revealed the geographical location of countries and clustering similarities pre- and post- vaccination in the pandemic, and then has provided the possible relationship of these clusters with the level of human development.

Consequently, being able to deal with diseases that occur worldwide requires global cooperation in identifying, controlling, and preventing these diseases. It is therefore vital to establish a geographic risk assessment and to group countries for this risk assessment. Thus, it can be ensured that diseases are prevented before they become pandemics thanks to the measures to be taken quickly and on time.

References

- Ahmad, K., Erqou, S., Shah, N., Nazir, U., Morrison, A.R., Choudhary, G., Wu, W. C. (2020). Association of poor housing conditions with COVID-19 incidence and mortality across US counties. *PloS One*, 15(11), e0241327.
- Asem, N., Ramadan, A., Hassany, M., Ghazi, R.M., Abdallah, M., Ibrahim, M., Gamal, E. M. Hassan, S., Kamal, N., & Zaid, H. (2021). Pattern and determinants of COVID-19 infection and mortality across countries: An ecological study. *Heliyon*, 7(7).
- Aydın, N. & Seven, A. N. (2015). İl nüfus ve vatandaşlık müdürlüklerinin iş yoğunluğuna göre hibrid kümeleme ile sınıflandırılması. *Journal of Management and Economics Research*, 13 (2), 181-201.
- Berkhin, P. *Survey of Clustering Data Mining Techniques*, Accrue Software Inc., San Jose, California, USA (2002).
- Bezdek, J., & Hathaway, R.J. (2002). VAT: A tool for visual assessment of (cluster) tendency. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 3, 2225 - 2230. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2002.1007487>.

- Bolshakova, N. Azuaje, F.J. (2003). Cluster validation techniques for genome expression data, *Signal Process.* 83 825-833. [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(02\)00475-9](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(02)00475-9).
- Bradley, P. S., Mangasarian, O. L. and Street, W. N. Clustering via Concave Minimization, in *Advances in Neural Information Processing Systems 9*, M. C. Mozer, M. I. Jordan, and T. Petsche (Eds.) (1997) 368- 374, MIT Press.
- Brauers, K.W.M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Vilutienė, T. (2008). Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method. *Journal of Business Economics and Management*, 9(4) 245-255. <https://doi.org/10.3846/1611-1699.2008.9.245-255>
- Brauers, W.K.M., & Zavadskas, E. K. (2011). MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy property, *Technological and Economic Development of Economy* 17(1) 174-188. <https://doi.org/10.3846/13928619.2011.560632>.
- Brauers, W.K.M. & Ginevičius R., (2010). The Economy of the Belgian Regions tested with MULTIMOORA, *Journal of Business Economics and Management*. 11(2), 173–209. <http://doi.org/10.3846/jbem.2010.09>.
- Cebeci, Z. (2020). fevalid: an r package for internal validation of probabilistic and possibilistic clustering. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.35377/saucis.03.01.664560>
- Charrad, M. Ghazzali, N. Boiteau, & V. Niknafs, A. (2014). NbClust: an R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, 61 (6) 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06>.
- Chu, J. (2021). A statistical analysis of the novel coronavirus (COVID-19) in Italy and Spain. *PLoS ONE*, 16(3), e0249037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249037>.
- Couvreur, C. The EM algorithm: a guided tour. In: Kárný M., Warwick K. (eds) *Computer Intensive Methods in Control and Signal Processing*. Birkhäuser, Boston, MA (1997). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1996-5_12.
- Dalton, L. Ballarin, V., & Brun, M. (2009). Clustering algorithms: on learning, validation, performance, and applications to genomics, *Current Genomics*. 10 430-445. <https://dx.doi.org/10.2174/138920209789177601>.
- Dempster, A.P., Laird, N.M. & Rubin, D.B. (1977) Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm, *Journal of the Royal Statistical Society*. 39(1),1–38.
- Desgraupes, B. (2012). ClusterCrit: Clustering Indices. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/clusterCrit/>.
- Desgraupes, B. (2016). ClusterCrit: clustering indices R package version 1.2.8. <https://cran.r-project.org/web/packages/clusterCrit/>.
- Dopazo, J. Carazo, J.M. Phylogenetic reconstruction using an unsupervised growing neural network that adopts the topology of a phylogenetic tree, *J Mol Evol*. 44(2) (1997) 226-33. <http://dx.doi.org/10.1007/pl00006139>.
- Dunham, M.H. *Data Mining Introductory and Advanced Topics*, Prentice Hall, USA (2003).
- Fraley, C. Raftery, A.E. How many clusters? Which clustering method? Answers via model-based cluster analysis, *Computer Journal*. 41(8) (1998) 578–588.
- Flexer, A. On the use of self-organizing maps for clustering and visualization, *Intelligent Data Analysis*, 5(5) (2001) 373-384.
- Gagolewski, M., Bartoszuk, M., & Cena, A. (2016). Genie: A new, fast, and outlier-resistant hierarchical clustering algorithm. *Inform Sci*, 363, 8–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2016.05.003>.
- Gokmen, Y., Baskici, C., & Ercil, Y. (2021). The impact of national culture on the increase of COVID-19: A cross-country analysis of European countries. *International Journal of Intercultural Relations*, 81, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijintrel.2020.12.006>.
- Gupta, M. R. & Chen, Y. (2011). Theory and use of the EM algorithm, *Foundations and Trends in Signal Processing*. 4(3), 223-296. <http://dx.doi.org/10.1561/20000000034>.
- Halkidi M., Batistakis Y., & Vazirgiannis M., On clustering validation techniques, *Journal of Intelligent Information Systems*. 17 (2001) 107–145. <https://doi.org/10.1023/A:1012801612483>.
- Han, J. Kamber M., Pei, J. *Data mining: Concepts and techniques*, (3rd ed.). Morgan Kaufmann Publishers (2012).
- Harapan, H., Itoh, N., Yufika, A. Winardi, W., Keam, S. Te, H., Megawati, Hayati, D. Z., Wagner, A.L., & Mudatsir, M. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *J Infect Public Health*, 13(5), 667-673. doi: 10.1016/j.jiph.2020.03.019.
- Hartigan, J.A & Wong, M.A., Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*. 28 (1979) 100-108. <http://dx.doi.org/10.2307/2346830>.
- Hasell, J., Mathieu, E., Beltekian, D., Macdonald, B., Giattino, C., Ortiz-Ospina, E., Roser, M., & Ritchie, H. (2020). A cross-country database of COVID-19 testing. *Scientific Data*, 7(1), 345. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00688-8>.
- Herrero, J. Valencia A., Dopazo, J. A hierarchical unsupervised growing neural network for clustering gene expression patterns, *Bioinformatics*. 17(2) (2001) 126-36. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/17.2.126>.
- Hezam, I.M. (2021). COVID-19 Global Humanitarian Response Plan: An optimal distribution model for high-priority countries. *ISA Transactions*. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.006>.
- HDR. (2020). *Human Development Reports*. <http://hdr.undp.org/en/2020-report> (google Scholar)
- Itoh, H. Market area analysis of ports in Japan: an application of fuzzy clustering, in: *The IAME2013 Annual Conference*, Marseille, France. (2013) 1-21. hal-00918672
- Karmakar, M. Lantz, P. M., & Tipirneni, R. (2021). Association of social and demographic factors with COVID-19 incidence and death rates in the US. *JAMA network open*, 4(1), e2036462.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. J. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley & Sons (2005).
- Khafaie, M.A., & Rahim, F., (2020). Cross-country comparison of case fatality rates of COVID-19/SARS-COV-2. *Osong. Public Health Res Perspect*, 11(2), 74-80. <https://dx.doi.org/10.24171/j.phrp.2020.11.2.03>.
- Kiang M.Y., Extending the Kohonen self-organizing map networks for clustering analysis, *Computational Statistics and Data Analysis*. 38 (2001) 161–180. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(01\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(01)00040-8).
- Kurniawan, R. Sheikh Abdullah, S. N. H. Lestari, F. Nazri, M. Z. A. Mujahidin, A. and Adnan, N. (2020) Clustering and correlation methods for predicting coronavirus COVID-19 risk analysis in pandemic countries, 8th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM). 1-5. <https://doi.org/10.1109/CITSM50537.2020.9268920>.
- Kuster, A.C., & Overgaard, H.J. (2021). A novel comprehensive metric to assess effectiveness of COVID-19 testing: Inter-country comparison and association with geography,

- government, and policy response. *PLoS One*, 16(3), e0248176. doi: 10.1371/journal.pone.0248176
- Kucukefe, B. (2020). Clustering macroeconomic impact of COVID-19 in OECD countries and China, *Ekonomi Politika Ve Finans Araştırmaları Dergisi*. 5 (2020) 280–291. <https://doi.org/10.30784/epfad.811289>.
- Kvålseth, T.O. (2017). An alternative measure of ordinal association as a value-validity correction of the Goodman–Kruskal gamma. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 46 (21), 10582-10593. <http://doi.org/10.1080/03610926.2016.1239114>
- Li, M., Zhang, Z., Cao, W., Liu, Y., Du, B., Chen, C., Liu, Q., Uddin, M.N., Jiang, S., Chen, C., Zhang, Y., & Wang, X. (2021). Identifying novel factors associated with COVID-19 transmission and fatality using the machine learning approach. *Sci Total Environ*, 764, 142810. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142810.
- Liu, K., He, M., Zhuang, Z., He, D., & Li, H. (2020). Unexpected positive correlation between human development index and risk of infections and deaths of COVID-19 in Italy. *One Health*, 10, 100174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100174>
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., & Hornik, K. (2021). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.2 — For new features, see the 'Changelog' file (in the package source). <https://CRAN.R-project.org/package=cluster>.
- Marziali, E.M., Hogg, R.S., Oduwole, O.A. & Card, K.G. (2021). Predictors of COVID-19 testing rates: A cross-country comparison. *International Journal of Infectious Diseases*, 104, 370-372.
- McKenzie, G., & Adams, B. (2020). A country comparison of place-based activity response to COVID-19 policies. *Applied geography*, 125, 102363. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102363>.
- McLachlan, G.J. Krishnan, T. & Ng, S.K. (2004). The EM algorithm, Working Paper No. 2004, 24, Humboldt-Universität zu Berlin, Center for Applied Statistics and Economics (CASE), Berlin <http://hdl.handle.net/10419/22198>.
- Milligan, G.W. (1981). A monte carlo study of thirty internal criterion measures for cluster analysis, *Psychometrika*. 46(2), 187–199.
- Moshtaghi M., Bezdek, J. CERfani, S.M., Leckie, C. & Bailey, J. (2019). Online cluster validity indices for performance monitoring of streaming data clustering, *International Journal of Intelligent Systems*. 34, 541 - 563. <https://dx.doi.org/10.1002/int.22064>.
- OWD. (2022). COVID-19 Data, <https://ourworldindata.org/coronavirus-testing#testing-for-covid-19-background-the-our-world-in-data-covid-19-testing-dataset>.
- Pérez, L.A., García-Vico, Á.M., González, P., & Carmona, C.J. (2020). Techniques for evaluating clustering data in R, *The Clustering Package*. <https://cran.r-project.org/web/packages/Clustering/vignettes/Clustering.pdf>
- Estivill-Castro, V&Yang., J. (2000), Fast and Robust General Purpose Clustering Algorithms. In: Mizoguchi R., Slaney J. (eds) *PRICAI 2000 Topics in Artificial Intelligence*. *PRICAI 2000. Lecture Notes in Computer Science*. vol 1886. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-44533-1_24.
- Rendón, E., Abundez, I., Arizmendi, A., & Quiroz, E.M. (2011). Internal versus external cluster validation indexes. *International Journal of Computers and Communications*, 5(1).
- Rocha, R., Atun, R., Massuda, A., Rache, B., Spinola, P., Nunes, L., Lago, M., & Castro, M.C. (2021). Effect of socioeconomic inequalities and vulnerabilities on health-system preparedness and response to COVID-19 in Brazil: a comprehensive analysis. *Lancet Glob Health*, 9, e782–92.
- RStudio Team. (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA <http://www.rstudio.com/>.
- Sekula, M., Datta, S., & Datta, S. (2017). optCluster: An R package for determining the optimal clustering algorithm. *Bioinformatics*, 13(3), 101-103. <http://doi.org/10.6026/97320630013101>
- Shahbazi, F., & Khazaei, S. (2020). Socio-economic inequality in global incidence and mortality rates from coronavirus disease 2019: an ecological study. *New Microbe and New Infect*, 38, 100762.
- Sharma, A., Borah, S. B., & Moses, A.C. (2021). Responses to COVID-19: The role of governance, healthcare infrastructure, and learning from past pandemics. *Journal of Business Research*, 122, 597-607. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.011>
- Siddik, N. A. (2020). Economic stimulus for COVID-19 pandemic and its determinants: evidence from cross-country analysis. *Heliyon*, 6 (12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05634>.
- Tosepu, R., Gunawan, J., Effendy, D. S., Lestari, H., Bahar, H., & Asfian, P. (2020). Correlation between weather and COVID-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 725, 138436.
- Van Craenendonck, T., & Blockeel, H. (2015). Using Internal Validity Measures to Compare Clustering Algorithms. *ICML 2015 AutoML Workshop*.
- Virgantari, & Faridhan, Y.E. K-means clustering of COVID-19 cases in Indonesia's provinces, in: *Proceedings of the International Conference on Global Optimization and Its Applications Jakarta, Indonesia (2020)*.
- VoPham, T., Weaver, M.D., Hart, J. E., Ton, M., White, E., Newcomb, P. A. (2020). Effect of social distancing on COVID-19 incidence and mortality in the US. *MedRxiv: the preprint server for health sciences*. <https://doi.org/10.1101/2020.06.10.20127589>
- Yuan, J., Wu, Y., Jing, W., Liu, J., Du, M., Wang, Y., & Liu, M. (2021). Association between meteorological factors and daily new cases of COVID-19 in 188 countries: A time series analysis, *Science of The Total Environment*, 780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146538>.
- Wani, M.A. & Riyaz, R. A (2016). new cluster validity index using maximum cluster spread based compactness measure, *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*. 9(2) 179-204. <https://doi.org/10.1108/IJICC-02-2016-0006>.
- Wickham, H., Hester, J., & Chang, W. (2021). devtools: Tools to make developing R packages Easier. R package version 2.4.2. <https://CRAN.r-project.org/package=devtools>
- Wu, J.T., Leung, K., & Leung, G.M. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: A modeling study. *The Lancet*, 395 (10225), 689-697.



Derin Öğrenme Yaklaşımlarıyla Çevresel İzlemeye Yönelik Çok Sınıflı Sahne Sınıflandırma

Şaziye Özge Atik^{1*}

^{1*} Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2876-040X), soatik@gtu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Ocak 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1057643)

ATIF/REFERENCE: Atik, S. O. (2022). Derin Öğrenme Yaklaşımlarıyla Çevresel İzlemeye Yönelik Çok Sınıflı Sahne Sınıflandırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 307-314.

Öz

Bu çalışmada uzaktan algılama sahne sınıflandırma veri setlerinden UC Merced ve WHU-RS19 üzerinde Alexnet, Densenet, ResNet, VGG derin ağlarının farklı modellerinin performans analizleri yapılmıştır. Kullanılan modellerin test aşamasında derin öğrenme modellerinin sınıflandırma sonuçlarına ait değerlendirme ölçütleri hesaplanmıştır. Kullanılan ESA modellerinin veri setlerindeki performansları genel doğruluk ölçütünde değerlendirilmiştir. DenseNet201 modelinin, UC Merced ve WHU-RS19 veri setlerinin her ikisinde de yapılan testlerde daha yüksek performanslı sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. ESA modelleri uygulanarak elde edilen sonuçlar, literatürde bu veri setlerini kullanan diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. UC Merced veri setindeki uygulamada %98.81 genel doğruluk ile bu çalışmada kullanılan DenseNet201 modelinin literatürde kıyası yapılan diğer çalışmalardan daha yüksek performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, her iki veri setinde benzer olan arazi kullanım sınıfları belirlenmiş ve en iyi performans gösteren algoritmadaki sınıflandırma doğruluğu sonuçları yorumlanmıştır. İki veri setinde de bulunan benzer sınıfların yapılan testlerde sınıflandırılması kesinlik, duyarlılık ve F_1 skoru ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Son olarak, iki veri setindeki ortak sınıflar için WHU-RS 19 veri seti kullanılarak eğitilen modellerin testleri UC Merced veri setinde ve UC Merced veri setinde eğitilen modellerin testleri WHU-RS 19 veri setinde yapılarak model transfer edilebilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Sahne sınıflandırma, Çevresel izleme, Evrimsel Sinir Ağları

Multi-Class Scene Classification for Environmental Monitoring with Deep Learning Approaches

Abstract

In this study, performance analyzes of different models of Alexnet, Densenet, ResNet, VGG deep networks were performed on UC Merced and WHU-RS19, which are remote-sensing scene classification datasets. In the testing phase of the models used, the evaluation criteria of the classification results of the deep learning models were calculated. The performances of the CNN models used in the data sets were evaluated in the general accuracy criterion. It has been observed that the DenseNet201 model has higher performance results in tests performed on both UC Merced and WHU-RS19 datasets. The results obtained by applying ESA models were compared with the results of other studies using these datasets in the literature. It has been observed that the DenseNet201 model used in this study has a higher performance than other studies compared to the literature, with an overall accuracy of 98.81% in the application in the UC Merced dataset. In addition, land use classes that are similar in both data sets were determined and the classification accuracy results in the best-performing algorithm were interpreted. Classification of similar classes in both datasets in tests was evaluated using precision, sensitivity, and F1 score criteria. Finally, for the common classes in the two datasets, the models trained using the WHU-RS 19 dataset were tested on the UC Merced dataset and the models trained in the UC Merced dataset were tested on the WHU-RS 19 dataset, and the model transferability was investigated.

Keywords: Deep learning, Scene classification, Environmental monitoring, Convolutional Neural Networks

* Sorumlu Yazar: soatik@gtu.edu.tr

1. Giriş

Yer gözlem uygulamaları ve çevresel izleme, özellikle son on yılda tüm dünyada yaygın bir şekilde yayılmıştır. Bu uygulamalar, dünyadaki sınırlı doğal ve diğer kaynakların sınırlı olması sebebiyle her yıl daha önemli hale gelmektedir. Hava aracı kaynaklı (Atik vd., 2018) ve uydu kaynaklı (Dönmez ve Tunç, 2016) sensör görüntüleri gibi uzaktan algılanan verileri kullanmak, geo-konumsal, yer gözlemleri ve daha fazla uygulama için ana veri kaynaklarıdır. Derin öğrenme teknikleri, bilgisayarlı görü ile birçok endüstride her yıl daha popüler hale gelmektedir. Derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalar daha az zaman alması ve daha düşük maliyete sahip olması özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Derin öğrenme yaklaşımları, görüntü işleme ve bilgisayarla görmede birçok aşama için hızlı hesaplamalar ve analizler sağlar. Son yıllarda, uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak hava görüntülerinin sınıflandırması (Weng vd., 2017; Bi vd., 2019), semantik görüntü segmentasyonu (Diakogiannis vd., 2020; Atik ve Ipbuker, 2021), nesne tespiti (Napierkowska vd., 2018) gibi çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Yapay zeka kullanımının yüksek işlem performansına sahip donanım ihtiyacı gelişen bilgisayar sistemleri sayesinde giderilebilmektedir. Yapay zeka teknolojilerinin kullanımı bir çok alanda olduğu gibi, uzaktan algılama uygulamaları için otomatik ve yarı otomatik yaklaşımlara olanak sağlar. Pek çok sınıflandırma görevi için pekiştirmeli öğrenme modelleri kullanılmaktadır (Donmez ve Ipbuker, 2018). Örneğin, kentsel büyümenin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve arazi kullanımının tespiti, uzaktan algılama verileri kullanılarak mümkündür. Uzaktan algılama ile otomatik sınıflandırma ve etiketleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için birçok veri seti bulunmaktadır. Semantik bilgilerin çıkarılması ve bölgesel izlemenin gerçekleştirilebilmesi için bu veri setleri kullanılarak oldukça çeşitli uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir. Bu veri setlerine örnek olarak; WHU-RS19 (Sheng vd., 2012), UC Merced (UCM) (Yang ve Newsam, 2010), AID (Xia vd., 2017), NPWU-RFSISC45 (Cheng vd., 2017), Patternet (Zhou vd., 2018), Category Ground Scene (Brown ve Süsstrunk, 2011), Brazilian Coffee Scene (Penatti vd., 2015) ve BigEarthNet (Sumbul vd., 2019) verilebilir. Literatürde birçok çalışmada, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak derin öğrenme yöntemleri ile bilgi çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Petrovska vd. (2020) UC Merced ve WHU-RS veri setlerinde SVM algoritması ile oluşturulan konsantrasyon özellikleri üzerinden ESA-bazlı sınıflandırma yapmışlardır. Özyurt vd. (2020) geliştirdikleri optimize edilmiş Wavelet Entropi algoritması ile evrimsel sinir ağları (ESA) özelliklerinin boyutunu azaltarak UC Merced veri setini sınıflandırmışlardır. Muhammed vd. (2018) yaptıkları çalışmada önceden eğitilmiş VGGNet mimarilerini kullanarak UCM ve WHU-RS veri setlerinde 4-katmanlı SVM sınıflandırıcısıyla sınıflandırma yapmışlardır. Stivaktakis vd. (2019) UC Merced veri seti üzerinde veri artırımı yaparak çalışmada önerilen yöntem ile ESA kullanarak güncel yöntemlerden F1 skor için % 6 daha iyi sonuç elde etmişlerdir. Marmanis vd. (2015) çalışmalarında UC Merced veri setinde özellik birleştirme algoritması uygulayarak derin öğrenme ağlarını kullanmışlardır.

Literatürdeki uygulamalarda arazi kullanım sınıflarına sahip veri setleri kullanılarak farklı görevler gerçekleştirilebilmektedir. Görüntülerin sahne sınıflandırması Şekil 1'de gösterildiği gibi üç ana grup altında toplanabilir. İkili sınıflandırmanın iki sınıfı vardır ve görüntüler bunlardan yalnızca birine atanabilir. Çok sınıflı

sınıflandırmada birçok sınıf vardır ve görüntüler etiketlerden biri olarak etiketlenir. Bunun yanısıra çoklu etiket sınıflandırması için görüntüler birden fazla etikete sahip olabilir ve sınıf numarası ikiden fazladır. Aynı zamanda, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri içeren veri setleri, çok sınıflı sınıflandırma veya çok etiketli sınıflandırma için kullanılabilir. Sonuç olarak, sınıflandırma türü, veri kümesinin kapsamına ve kategori türüne bağlıdır.

Tekil Sınıflandırma	Çoklu-Sınıf Sınıflandırması	Çoklu-Etiket Sınıflandırması
Etiket 1 ✓	Etiket 1	Etiket 1 ✓
Etiket 2	Etiket 2 ✓	Etiket 2
	Etiket 3	Etiket 3 ✓
	Etiket 4	Etiket 4 ✓

	Etiket	Etiket

Şekil 1. Sahne sınıflandırması çeşitleri (Figure 1. Types of scene classification)

Stivaktakis vd. (2019) UC Merced veri seti üzerinde veri artırımı yaparak çalışmada önerilen yöntem ile ESA kullanarak güncel yöntemlerden F1 skor için % 6 daha iyi sonuç elde etmişlerdir. Marmanis vd. (2015) çalışmalarında UC Merced veri setinde özellik birleştirme algoritması uygulayarak derin öğrenme ağlarını kullanmışlardır. Hu vd. (2022) WHU-RS veri setini kullanarak MINet olarak adlandırdıkları ESA tabanlı algoritma ile sahne sınıflandırması yapmışlardır. UC Merced, WHU-RS19, RSSCN7 ve AID veri setlerini kullanarak ESA modelleri yardımıyla sahn sınıflandırması yapan Anwer vd. TEX-Net modeli ile daha yüksek genel doğruluk değerlerine ulaşmışlardır. Şen ve Keleş (2020) yaptıkları çalışmada, farklı ESA mimarilerini kullanarak NPWU-RESISC45 veri setinde eğittikleri modelleri başka beş yaygın kullanılan veri setlerini sınıflandırmadaki başarılarını ampirik olarak gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı veri kümelerinde aynı sınıflar için 14 derin öğrenme modeli ile veri kümelerindeki arazi kullanım sınıflarının sahne sınıflandırması amacıyla otomatik etiketlendirilmesi amaçlanmıştır. On dört adet ESA modeli ile çok sınıflı sınıflandırma görevinde UCM ve WHU-RS19 veri setleri kullanılmıştır (Şekil 2). Elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmadaki UC Merced veri setinde yapılan uygulamada daha iyi doğruluk performansına ulaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri setleri kumsal, orman, otopark, akarsu ve liman şeklinde benzer sınıflara sahiptir (Şekil 3). Uygulama kısmında, ESA modellerinin sınıflandırma doğruluğuna ait performansları ve eğitim-test süreleri karşılaştırılmıştır. En iyi sınıflandırma sonucuna sahip algoritmanın sınıflandırması F1 skoru, kesinlik ve duyarlılık açısından bu iki veri seti için karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Aynı zamanda iki veri setindeki ortak sınıflar için, WHU-RS 19 veri setinin görüntüleri kullanılarak eğitilen ESA modeller, UC Merced veri setinin görüntülerinde test edilmiştir. Aynı zamanda UC Merced veri setinde eğitilen modeller, WHU-RS 19 veri setinde test edilmiştir. Bu sayede model transfer edilebilirliği bir çok sayıda ESA modeli ile karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Setleri

Çalışmada, farklı ESA ile çok sınıflı sınıflandırma için UCM ve WHU-RS19 veri setleri kullanılmıştır. UCM veri setinde 21 sınıf ve WHU-RS19 veri setinde 19 sınıf bulunmaktadır. UCM 256 x 256 piksel boyutlarından oluşan RGB görüntülerden oluşmaktadır. Görüntülerde mekânsal çözünürlük yaklaşık 0.3m (1 ft) şeklindedir. Her sınıfa ait 100 görüntü bulunmaktadır. WHU-RS veri seti ise, 600 x 600 boyutlarında her sınıftan 50 adet olmak üzere toplamda 1005 görüntüden oluşmaktadır. WHU-RS 19 veri seti, mekânsal çözünürlükleri 0.5 m'ye kadar değişim gösteren farklı mekânsal çözünürlükteki görüntülerden oluşmaktadır. Bu veri setlerinde kumsal, orman, otopark ve nehir akarsu sınıfları her ikisi için de benzer sınıflardır. Yerleşim sınıfı, UC Merced veri setinde üç sınıfa ayrılmıştır. Ancak yerleşim sınıfı, WHU-RS19 veri setinde tek bir sınıfta toplanmıştır. Genel olarak bu iki veri seti birçok yapay yapı ve doğal sınıf içermektedir. Bu çalışmada, UC Merced veri seti %20 test, %80 eğitim ve WHU-RS19 veri seti ise %40 test, %60 eğitim şeklinde rastgele olarak bölünmüştür. Bu şekilde bölümlendirilmesinin sebebi, çalışmanın sonuçlarını literatürdeki diğer yapılan bazı çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmak istenmesidir. Karşılaştırması yapılan çalışmalarda da (Tablo 7 ve Tablo 8) bu veri setleri benzer şekilde bölümlendirilmiştir.



Şekil 2. UC-Merced (Yang ve Newsam,2010) veri seti (üst) ve WHU-RS veri seti (alt) örnekleri (Figure 2. UC-Merced (Yang and Newsam,2010) dataset (top) and WHU-RS data set (bottom) samples)

UC Merced Veri Seti		WHU-RS Veri Seti	
Tarım	Liman	Havaalanı	Dağ
Uçak	Kavşak	Kumsal	Park
Beyzbol sahası	Orta yoğunlukta konut	Köprü	Otopark
Kumsal	Karavan parkı	Ticari bölge	Gölet
Binalar	Üst geçit	Çöl	Liman
Çalı	Otopark	Çiftlik	Tren istasyonu
Yoğun konut	Akarsu	Futbol sahası	Yerleşim
Orman	Koşu yolu	Orman	Akarsu
Otoban	Seyrek konut	Endüstriyel alan	Viyadük
Golf sahası	Depolama tankı	Çayır	
Tenis kortu			

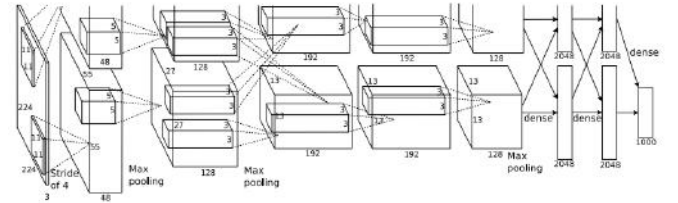
UC Merced WHU-RS Ortak Sınıflar

Şekil 3. Uygulamada kullanılan veri setlerinin sınıf gösterimleri (Figure 3. Class representations of datasets used in the study)

2.2. ESA Modelleri

Uygulamalarda, performansların gerçekleştirildiği sistem olarak Google Colaboratory (Colab) kullanılmıştır. Bu bulut hizmeti, tek bir 12 GB NVIDIA Tesla K80 GPU'lu Jupyter Notebook arayüzünü temel almaktadır. Uygulamalarda kullanılan ESA modelleri; Alexnet (Krizhevsky vd., 2012), ResNet-18 (He vd., 2016), ResNet-34 (He vd., 2016), VGG-19 (Simonyan ve Zissersman, 2014), ResNet-152 (He vd., 2016), ResNet-50 (He vd., 2016), ResNet101 (He vd., 2016), DenseNet-169 (Huang vd., 2017), VGG-11 (Simonyan ve Zissersman, 2014), VGG-13 (Simonyan ve Zissersman, 2014), DenseNet-161 (Huang vd., 2017), DenseNet-201 (Huang vd., 2017), VGG-16 (Simonyan ve Zissersman, 2014), DenseNet-121 (Huang vd., 2017) şeklindedir. Uygulamalarda kullanılan derin öğrenme mimarileri kısaca aşağıda açıklanmıştır.

AlexNet. Krizhevsky vd. (2012) ImageNet ILSVRC-2010 yarışmasında 1000 farklı sınıf için 1.2 milyon yüksek çözünürlüklü görüntü eğiten bir ESA mimarisidir.



Şekil 4. AlexNet mimarisine ait bir görselleştirme (Figure 4. A visualization of the AlexNet architecture)(Krizhevsky vd., 2012)

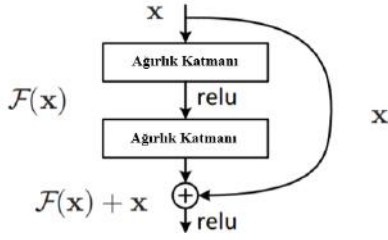
Mimaride (Şekil 4) yerel normalizasyon şeması genelleştirmeye yardımcı olmaktadır (eşitlik 1). Burada $a_{(x,y)}^i$ nöronun aktivitesidir ve i çekirdeği x,y konumu ifade etmektedir. ReLU (Rektifiye Edilmiş Doğrusal Birim) içermekte ve $b_{(x,y)}^i$ uygulanması ile bu normalleştirilmiş bir aktivitedir. İfadedeki $k=2$, $n=5$, $\alpha=10$ ve $\beta=0.75$ şeklindedir.

$$b_{x,y}^i = a_{x,y}^i / \left(k + \alpha \sum_{\min(N-1, i+\frac{n}{2})}^{\min(N-1, i-\frac{n}{2})} (\alpha_{x,y}^j)^2 \right)^\beta \quad (1)$$

Mimarinin etkinliği, CIFAR-10 veri setinde de doğrulanmıştır.

ResNet. Şekil 5' te artık öğrenme şeması gösterilmektedir. $H(\times)i$ 'nin formülü eşitlik 2' de gösterilmiştir.

$$F(x) = H(x) - x \quad (2)$$

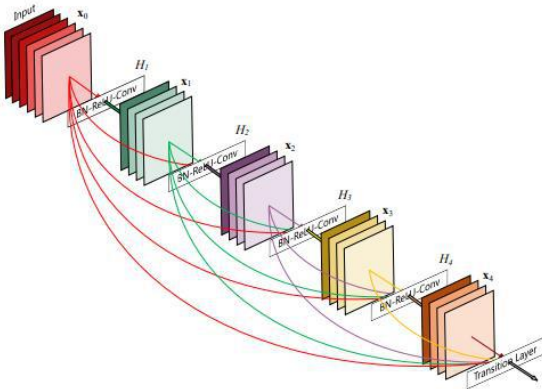


Şekil 5. Artık öğrenmenin temel gösterimi (Figure 5. Basic notation of residual learning) (He vd., 2016).

$F(x)+x$ formülünde ileri beslemeli sinir ağının kısayol bağlantıları vardır. Eşitlikte yapı bloğu tanımlanır ve x ile F boyutunun eşit olması gerekir. x ve y , katmanların giriş ve çıkış vektörlerini ifade eder. Algoritmada çoklu evrişim katmanlarını mevcuttur (He vd., 2016). İçerdiği katman sayısı ile bağlantılı olarak ResNet50 ve ResNet101 gibi isimler almaktadır.

VGG. ILSVRC-2012 veri setinde Simonyan ve Zisserman (2014) tarafından eğitilmiş ConvNet mimarisi 1000 sınıf içermektedir. Yarışmaya ait veri seti 1,3 M görüntü eğitimi, doğrulama için 50 K görüntü ve test için 100 K görüntü olarak kullanılır (Aksoy vd., 2020). Bu mimari de derinlik artırılarak çok küçük (3×3) evrişim filtreleri ile mimarinin kullanımına katkı sağlanmıştır. Deneysel olarak 11, 16 ve 19 ağırlık katmanları mimaride VGG 11, 16 ve 19 modelleri olarak kullanılabilir. Evrişimli katman parametreleri, 16 ağırlık katmanı için örnek olarak conv3-64 gibi conv (alıcı alan boyutu)-(kanal sayısı) şeklindedir.

DenseNet. Huang vd. (2017) Yoğun Evrişimsel Ağ (DenseNet) olarak bir ESA oluşturmuşlardır. Her katmanı diğer katmanlara ileri beslemeli tip ile bağlar (Şekil 6). Ağın kullanımı dört trend performans ölçütünde değerlendirilmiştir. Bunlar; CIFAR-10, CIFAR-100, SVHN ve ImageNet şeklindedir.



Şekil 6. Büyüme oranı $k = 4$ olan 5 katmanlı yoğun bloğun bir gösterimi (Figure 6. A representation of the 5-layer dense block with growth rate $k = 4$)

DenseNet mimarisi, kaybolan gradyan problemini hafifletmek, özellik yayılımını güçlendirmek, özelliklerin yeniden kullanımını kolaylaştırmak ve parametre sayısını önemli ölçüde azaltmak gibi birçok avantaja sahip olduğu için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Qi vd., 2020). DenseNet içerdiği katman sayısına bağlı olarak 121, 169 ve 201 isimlerini almaktadır.

Uygulamada sınıflandırma için kullanılan derin öğrenme ağlarının performanslarını değerlendirmek için, genel doğruluk

(eşitlik 3) ölçütü kullanılmıştır. En iyi performansı gösteren modelin sınıf bazında sonuçları ise kesinlik, duyarlılık, F1 skoru (eşitlik 4-6) ölçütleri ile gösterilmiş ve benzer sınıflar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Eşitliklerde TP: doğru pozitif, FN: yanlış negatif, FP: yanlış pozitif ve N: toplam sınıflandırma sayısı şeklindedir.

$$\text{Genel Doğruluk} = \left(\frac{TN+TP}{N} \right) \quad (3)$$

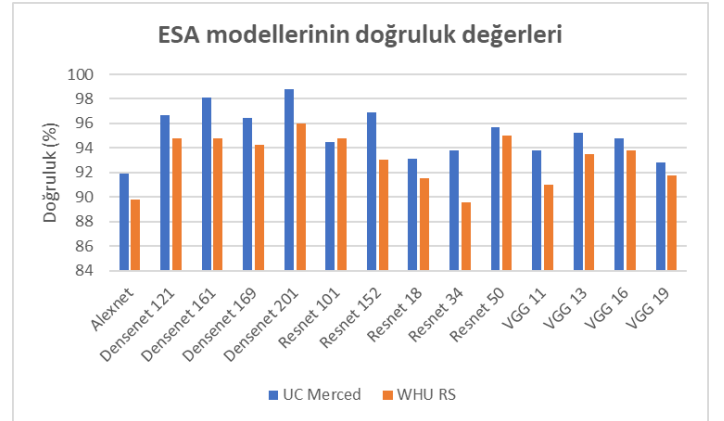
$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

$$\text{F1 skoru} = 2 * \frac{\text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (6)$$

2. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, iki farklı veri seti kullanılarak farklı derin öğrenme modelleri ile çoklu-sınıflı sahne sınıflandırması yapılmıştır. Derin öğrenme algoritmaları önceden eğitilmiş modeller ile uygulanmıştır. Test sonunda değerlendirme metrikleri hesaplanır ve birbirleriyle karşılaştırılır. İki veri kümesi için en iyi ve düşük performansı gösteren modellerde benzerlik gözlenmiştir (Şekil 7). Tablo 1'de ESA modellerinin genel doğrulukları gösterilmektedir. Tablo üzerinde değerler % şeklinde verilmiştir.



Şekil 7. ESA modellerinin iki veri setindeki uygulamalarda test sonuçları (Test results on applications of ESA models on two datasets)

Modellerin eğitim aşamasında önceden eğitilmiş model ağırlıkları başlangıç ağırlığı olarak kullanılmıştır. ESA modellerinde epok sayısı deneysel olarak belirlenerek yedi olarak seçilmiştir ve tüm ESA modelleri için aynı epok sayısı (7) kullanılmıştır. Her model için hata oranı izlenmiştir. Uygulamalarda ESA modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki toplam süreler Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir. Buna göre her iki veri setinde en uzun süre Densenet 161 modeline ve en kısa süre de Alexnet modeline aittir (Şekil 8). UC Merced veri setinin boyutunun daha fazla olmasının öğrenme ve test sürelerini bazı mimariler için daha uzun olmasına neden olduğu gözlenmiştir.

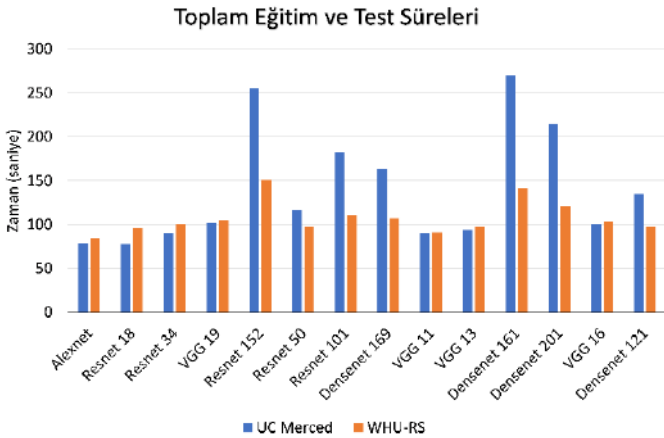
UCM veri seti ile yapılan deneyde, DenseNet201, yapılan testlerde en iyi performans modeli olarak %98.81 doğruluk elde edilmiştir. AlexNet modeli kullanarak ise %91.90 ile en düşük test doğruluğu elde edilmiştir.

edilmiştir. İki veri setindeki benzer sınıflar için performanslarının veri setlerine göre değiştiği gözlenmiştir.

Tablo 1. UC Merced veri setinde ESA modellerinin doğruluk ve süre değerleri (Table 1. Accuracy and duration values of ESA models in UC Merced dataset)

Model	UC -Merced (20)	Süre (sn)
Alexnet	91.90	79
VGG 19	92.86	94
Resnet 18	93.10	78
Resnet 34	93.80	90
VGG 11	93.81	90
Resnet 101	94.52	183
VGG 16	94.76	101
VGG 13	95.24	94
Resnet 50	95.71	117
Densenet 169	96.43	164
Densenet 121	96.67	135
Resnet 152	96.90	255
Densenet 161	98.10	270
Densenet 201	98.81	215

Şekil 8. ESA modellerinin iki veri setindeki eğitim ve test süreleri (Figure 8. Training and testing times of ESA models on two datasets)



WHU-RS19 veri setindeki uygulamada, DenseNet201 modeli ile %96.02 ile en yüksek test doğruluğu elde edilmiştir. Her iki veri setinde yapılan çoklu-sınıflı sahne sınıflandırması uygulamasında DenseNet 201 modeli diğer ESA modellerinden daha yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür. UC Merced veri setindeki uygulamada olduğu gibi, WHU-RS 19 veri setindeki uygulamada da en düşük performans değeri %89.80 olarak AlexNet modeli ile elde edilmiştir. Bu durum AlexNet mimarisinin bu alandaki sınıflandırmalar için ilk geliştirilen modellerden biri olduğu (2012) göz önünde bulundurulduğunda beklenmektedir. Daha sonra bu mimarinin katmanları daha derin katmanlı öğrenme yapacak şekilde geliştirilmeye devam

Tablo 2. WHU RS veri setinde ESA modellerinin doğruluk ve süre değerleri (Table 2. Accuracy and duration values of ESA models in WHU-RS dataset)

Model	WHU-RS (40)	Süre(sn)
Resnet 34	89.55	101
Alexnet	89.80	84
VGG 11	91.04	91
Resnet 18	91.54	96
VGG 19	91.79	105
Resnet 152	93.04	141
VGG 13	93.53	98
VGG 16	93.78	104
Densenet 169	94.28	107
Densenet 121	94.78	98
Densenet 161	94.78	142
Resnet 101	94.78	111
Resnet 50	95.02	98
Densenet 201	96.02	121

Tablo 3. DenseNet 201 modelinin UC Merced veri setindeki sonuçları (Table 3. Results of the DenseNet 201 model in the UC Merced dataset)

UC Merced Sınıfları	Kesinlik	Duyarlılık	F1 skoru
Tarım	1	0.96	0.98
Uçak	1	1	1
Beyzbol sahası	1	1	1
Kumsal	1	1	1
Binalar	1	1	1
Çalı	1	1	1
Yoğun konut	0.92	0.75	0.83
Orman	0.88	1	0.93
Otoban	1	1	1
Golf sahası	1	1	1
Liman	1	1	1
Kavşak	1	1	1
Orta yoğunluk. konut	0.89	0.92	0.91
Karavan parkı	0.94	1	0.97
Üst geçit	1	1	1
Otopark	1	1	1
Akarsu	1	1	1
Koşu yolu	1	1	1
Seyrek konut	0.94	0.94	0.94
Depolama tankı	1	1	1
Tenis kortu	1	1	1

Kumsal ve akarsu sınıfları en iyi performans gösteren DenseNet201 modeli ile yapılan uygulamada tüm test görüntülerini doğru sınıflandırmıştır. Liman ve otopark sınıfları için, aynı model UCM veri setinde daha yüksek doğrulukla sınıflandırılırken, orman sınıfı WHU-RS19 veri setinde aynı model ile kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru ölçütlerinde daha yüksek doğrulukla sınıflandırılmıştır (Tablo 3-4). Bu sonuçlar, kullanılan veri setlerinin görüntülerindeki özelliklerden kaynaklanabilmektedir. WHU-RS19 veri setinin görüntülerinde farklı ışıklandırma özellikleri ve çeşitli mekânsal çözünürlükler söz konusudur. Aynı zamanda dünyanın çeşitli yerlerinden toplanmış olmasının da sınıflandırma performansına etkisi söz konusudur.

Tablo 4. DenseNet 201 modelinin WHU-RS19 veri setindeki sonuçları (ortak sınıflar **kalin** yazıyla gösterilmiştir) (Table 4. Results of the DenseNet 201 model in the WHU-RS19 dataset (common classes shown in bold))

WHU-RS Sınıfları	Kesinlik	Duyarlılık	F1 skoru
Hava alanı	0.96	0.96	0.96
Kumsal	1	1	1
Köprü	1	1	1
Ticari bölge	0.81	0.85	0.83
Çöl	1	1	1
Çiftlik	0.95	1	0.98
Orman	0.96	1	0.98
Endüstriyel alan	0.91	0.84	0.87
Çayır	1	0.96	0.98
Dağ	1	0.95	0.97
Park	0.85	0.94	0.89
Otopark	0.94	1	0.97
Gölet	1	1	1
Liman	1	0.94	0.97
Yerleşim	0.95	0.9	0.93
Akarsu	1	1	1
Viyadük	0.95	1	0.97
Futbol sahası	1	1	1
Tren istasyonu	1	0.94	0.97

Uygulamada ek olarak, ESA modellerinin transfer edilebilirliği de araştırılmıştır. Eğitilen bu modeller tamamen farklı sernsöre ait iki veri setinden birinin görüntüleri modelleri ortak sınıfları sınıflandırmada eğitmek için, diğer veri setinin görüntülerini de test etmek için kullanılmıştır. Böylece çok sınıflı sahne sınıflandırması alan kaydırma (domain-shift) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın her modele ait sonuçları Tablo 5 ve 6'da beş ortak sınıf için gösterilmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen ilk uygulamada; WHU-RS 19 veri setinin görüntüleri kullanılarak eğitilen modeller UC Merced veri setinin görüntüleri üzerinde ortak sınıflar için test edilmiştir. En yüksek ortalama değer % 76,6 olarak Resnet 18 modeli ile ve en düşük

ortalama değer % 60.2 ile Resnet 101 modeli ile elde edilmiştir (Tablo 5). İkinci aşamada UC merced veri setinin görüntüleri kullanılarak eğitilen ESA modelleri, WHU-RS 19 veri setinde test edilmiştir. Ortak beş sınıf için gerçekleştirilen bu uygulamada, en yüksek doğruluk %79.3 ile DenseNet 161 modeline aittir. En düşük doğruluk değeri ise % 69.5 olarak VGG 11 modeli ile elde edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 5. WHU-RS19 Eğitim & UC Merced Test Uygulaması. Değerler % olarak verilmiştir. (Table 5. WHU-RS19 Education & UC Merced Test. Values are given in %.)

Model	Akarsu	Orman	Otopark	Liman	Kumsal	Ort.
Alexnet	23	64	88	80	75	66
Resnet 18	26	91	92	79	95	76,6
Resnet 34	7	96	73	58	91	65
VGG 19	28	93	85	68	76	70
Resnet 152	37	78	78	46	97	67,2
Resnet 50	39	62	87	32	94	62,8
Resnet 101	22	57	98	51	73	60,2
Densenet 169	34	69	100	79	90	74,4
VGG 11	27	97	98	67	76	73
VGG 13	32	99	95	48	87	72,2
Densenet 161	28	85	96	76	94	75,8
Densenet 201	17	87	94	69	84	70,2
VGG 16	27	94	89	51	89	70
Densenet 121	34	89	93	76	85	75,4

Tablo 6. UC Merced Eğitim & WHU-RS19 Test Uygulaması. Değerler % olarak verilmiştir. (Table 6. UC Merced Education & WHU-RS19 Test. Values are given in %.)

Model	Akarsu	Orman	Otopark	Liman	Kumsal	Ort.
Alexnet	67	62	82	51	100	72,4
Resnet 18	73	62	94	34	94	71,5
Resnet 34	88	57	98	30	98	74,1
VGG 19	80	72	98	26	92	73,7
Resnet 152	54	85	92	28	80	67,8
Resnet 50	77	53	96	32	100	71,5
Resnet 101	64	57	94	34	100	69,8
Densenet 169	91	70	96	42	98	79,3
VGG 11	52	79	90	26	100	69,5
VGG 13	77	74	84	47	84	73,1
Densenet161	59	85	98	42	100	76,7
Densenet 201	73	55	90	51	100	73,8
VGG 16	77	81	94	32	98	76,4
Densenet 121	57	55	98	52	94	71,2

Model transferinin doğruluk sonuçlarında eğitim ve test olarak kullanılan veri setlerine göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Aynı ESA modelleri kullanılarak yapılan model

transfer edilebilirliği potansiyellerinin değiştiği görülmüştür. Eğitim ve test aşamasında aynı veri setlerinin kullanıldığı uygulamaların sonuçlarına göre, alan kaydırma uygulamasının sonuçlarında ESA modellerinin doğruluk değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada yapılan deneylerde her iki veri seti için kullanılan on dört farklı ESA modelinin performansları niceliksel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan ESA mimarilerinin çeşitli katman sayısına ait farklı versiyonlarına yer verilmiştir (Densenet 161,169,201, Resnet 18,34,50 ve VGG11,13,16,19). Her iki veri setinde de benzer olan sınıfların doğrulukları karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Söz konusu deneylerde en iyi sınıflandırma sonucuna sahip algoritma Densenet201 modeli ile yapılan sınıflandırmanın F1 skoru, kesinlik ve duyarlılık açısından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Aynı zamanda semantik özellikler olarak, çalışmada kullanılan veri setlerinde kumsal, orman, otopark, nehir ve liman şeklinde benzer sınıflar mevcuttur (Şekil 3). Eğitilen modellerin farklı bölge ve özelliklere ait benzer sınıfların etiketlenilmesinde kullanılabilirliği de test edilmiştir. CNN modellerinin geniş kapsamlı karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eğitim ve test verilerinin, birbirinden farklı özellikteki veri kaynaklarından elde edildiği durumlarda derin öğrenme mimarilerinin sınıflandırma performansları alan kaydırma uygulamaları ile incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 7,8). Bu karşılaştırmada UC Merced veri seti için, bu çalışmadaki sonuç diğer sonuçlardan daha yüksektir (Tablo 7).

Tablo 7. UC Merced veri setinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması. Değerler % olarak verilmiştir. (Table 7. Comparison of the UC Merced dataset with other studies. Values are given in %.)

Kullanılan Model	GD	Referans
CNN Data Augmentation	82.29	Stivaktakis vd. (2019)
CNN with Overfeat feature	92.40	Marmanis vd. (2016)
VLAT	94.30	Negrel vd. (2014)
Bu çalışma (DenseNet201 uygulaması)	98.81	

Tablo 8. WHU-RS19 veri setinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması. Değerler % olarak verilmiştir. (Table 8. Comparison of the WHU-RS19 dataset with other studies. Values are given in %.)

Kullanılan Model	GD	Referans
MINet	97.57	Hu vd. (2021)
Tex-Net-LF	98.48	Anwer vd. (2018)
Bu çalışma (DenseNet201 uygulaması)	96.02	

Gelecekteki çalışmalarda, veri setlerinin gürültü azaltılmış versiyonu (Aksoy vd., 2020) kullanılabilir. Ayrıca, sonuçların varyasyonların gözlemlenmesi için bu veri setleri için, çoklu-sınıf sınıflandırmasına ek olarak çoklu-etiketli sınıflandırma uygulamaları gerçekleştirilebilir. Arazi kullanımı sınıflarının otomatik etiketlenilmesinde derin öğrenme modelleri her geçen gün geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda geliştirilen tekniklerle uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılmasında verimlilik artışı sağlanmaktadır.

Kaynakça

- Aksoy, A. K., Ravanbakhsh, M., Kreuziger, T., & Demir, B. (2020). CCML: A Novel Collaborative Learning Model for Classification of Remote Sensing Images with Noisy Multi-Labels. arXiv preprint arXiv:2012.10715.
- Anwer, R. M., Khan, F. S., van de Weijer, J., Molinier, M., & Laaksonen, J. (2018). Binary patterns encoded convolutional neural networks for texture recognition and remote sensing scene classification. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 138, 74-85.
- Atik, M. E., Donmez, S. O., Duran, Z., & İpbüker, C. (2018). Comparison Of Automatic Feature Extraction Methods For Building Roof Planes By Using Airborne Lidar Data And High Resolution Satellite Image. Proceeding Book of 7th International Conference on Cartography and GIS, 18-23 June 2018, Sozopol, Bulgaria.
- Atik, S. O., & İpbüker, C. (2021). Integrating Convolutional Neural Network and Multiresolution Segmentation for Land Cover and Land Use Mapping Using Satellite Imagery. Applied Sciences, 11(12), 5551.
- Bi, Q., Qin, K., Zhang, H., Xie, J., Li, Z., & Xu, K. (2019). APDC-Net: Attention pooling-based convolutional network for aerial scene classification. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17(9), 1603-1607.
- Brown, M., & Süsstrunk, S. (2011, June). Multi-spectral SIFT for scene category recognition. In CVPR 2011 (pp. 177-184). IEEE.
- Cheng, G., Han, J., & Lu, X. (2017). Remote sensing image scene classification: Benchmark and state of the art. Proceedings of the IEEE, 105(10), 1865-1883.
- Diakogiannis, F. I., Waldner, F., Caccetta, P., & Wu, C. (2020). ResUNet-a: A deep learning framework for semantic segmentation of remotely sensed data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 162, 94-114.
- Donmez, S.O.; İpbüker, C. Investigation on Agent Based Models for Image Classification of Land Use and Land Cover Maps. In Proceedings of the 39th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS): Remote Sensing Enabling Prosperity, Kuala Lumpur, Malaysia, 15–19 October 2018; pp. 2005–2008.
- Dönmez, Ş. Ö., & Tunc, A. (2016). Transformation methods for using combination of remotely sensed data and cadastral maps. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 587-589.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE

- conference on computer vision and pattern recognition (pp. 770-778).
- Hu, J., Shu, Q., Pan, J., Tu, J., Zhu, Y., & Wang, M. (2021). MINet: Multilevel Inheritance Network-Based Aerial Scene Classification. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5.
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4700-4708).
- Bapu, J., & Florinabel, J. (2021). An Improved RF-PNN Based Annotation Model With Texture and Edge Based Feature Descriptors.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 1097-1105.
- Laban, N., Abdellatif, B., Ebied, H. M., Shedeed, H. A., & Tolba, M. F. (2017, September). Performance enhancement of satellite image classification using a convolutional neural network. In *International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics* (pp. 673-682). Springer, Cham.
- Marmanis, D., Dancu, M., Esch, T., & Stilla, U. (2015). Deep learning earth observation classification using ImageNet pretrained networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(1), 105-109.
- Muhammad, U., Wang, W., Chattha, S. P., & Ali, S. (2018, August). Pre-trained VGGNet architecture for remote-sensing image scene classification. In *2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)* (pp. 1622-1627). IEEE.
- Napiorkowska, M., Petit, D., & Marti, P. (2018, July). Three applications of deep learning algorithms for object detection in satellite imagery. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4839-4842). IEEE.
- Negrel, R., Picard, D., & Gosselin, P. H. (2014, June). Evaluation of second-order visual features for land-use classification. In *2014 12th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI)* (pp. 1-5). IEEE.
- Özyurt, F., Ava, E., & Sert, E. (2020). UC-merced image classification with cnn feature reduction using wavelet entropy optimized with genetic algorithm.
- Penatti, O. A., Nogueira, K., & Dos Santos, J. A. (2015). Do deep features generalize from everyday objects to remote sensing and aerial scenes domains?. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 44-51).
- Petrovska, B., Zdravevski, E., Lameski, P., Corizzo, R., Štajduhar, I., & Lerga, J. (2020). Deep learning for feature extraction in remote sensing: A case-study of aerial scene classification. *Sensors*, 20(14), 3906.
- Qi, X., Zhu, P., Wang, Y., Zhang, L., Peng, J., Wu, M., ... & Mathiopoulos, P. T. (2020). MLRSNet: A multi-label high spatial resolution remote sensing dataset for semantic scene understanding. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169, 337-350.
- Sen, O., & Keles, H. Y. (2020). On the evaluation of CNN models in remote-sensing scene classification domain. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(6), 477-492.
- Sheng, G., Yang, W., Xu, T., & Sun, H. (2012). High-resolution satellite scene classification using a sparse coding based multiple feature combination. *International journal of remote sensing*, 33(8), 2395-2412.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Sumbul, G., Charfuelan, M., Demir, B., & Markl, V. (2019, July). Bigearthnet: A large-scale benchmark archive for remote sensing image understanding. In *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5901-5904). IEEE.
- Stivaktakis, R., Tsagkatakis, G., & Tsakalides, P. (2019). Deep learning for multilabel land cover scene categorization using data augmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(7), 1031-1035.
- Weng, Q., Mao, Z., Lin, J., & Guo, W. (2017). Land-use classification via extreme learning classifier based on deep convolutional features. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 704-708.
- Xia, G. S., Hu, J., Hu, F., Shi, B., Bai, X., Zhong, Y., ... & Lu, X. (2017). AID: A benchmark data set for performance evaluation of aerial scene classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7), 3965-3981.
- Verma, Y. (2019). Diverse image annotation with missing labels. *Pattern Recognition*, 93, 470-484.
- Yang, Y., & Newsam, S. (2010, November). Bag-of-visual-words and spatial extensions for land-use classification. In *Proceedings of the 18th SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems* (pp. 270-279).
- Zhao, B., Zhong, Y., Xia, G. S., & Zhang, L. (2015). Dirichlet-derived multiple topic scene classification model for high spatial resolution remote sensing imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(4), 2108-2123.
- Zhou, W., Newsam, S., Li, C., & Shao, Z. (2018). PatternNet: A benchmark dataset for performance evaluation of remote sensing image retrieval. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 145, 197-209.



Yenilikçi Toplu Ulaştırma ve Bu Bağlamda Sıklık Hizmet Parametresinin İncelenmesi

Mehmet Çağrı Kızıldaş^{1*}, Durmuş Akkaya²

¹ İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428)

² T.C. Uşak Belediye Başkanlığı, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9234-9047)

(İlk Geliş Tarihi 17 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 27 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075141)

ATIF/REFERENCE: Kızıldaş, M. Ç. & Akkaya, D. (2022). Yenilikçi Toplu Ulaştırma ve Bu Bağlamda Sıklık Hizmet Parametresinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 315-323.

Öz

Teknolojik gelişim paralelinde ulaşırmada hızlı değişimler kaydedilmektedir. İçinde bulunduğumuz çağda ulaşırmada kentleşme, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik önemli etkilere sahip olacaktır. Söz konusu unsur ve süreçlerin toplamı ise büyüyen kentli nüfusun etkin ve verimli ulaştırma talebini tetikleyecek olup bu da toplu ulaştırma hizmet parametrelerini ve yeniden teşekkül süreçlerini doğrudan etkileyecektir. Bu bağlamda yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli toplu ulaştırma talebi özellikle büyük kentlerde önemli bir fenomene dönüşme emarelerini göstermeye başlamaktadır. Bu çalışmada ilk olarak kent ve ulaşım ilişkisi toplu ulaştırma merkezli olarak açıklanmış olup ardından sıklık konusuna değinilmiştir. Akabinde ise sıklık optimizasyonu ile ilgili çalışmalar, arz talep ilişkileri ve ilgili modeller detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda da son olarak sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toplu Ulaştırma, sıklık, optimizasyon

Analyse of Innovative Mass Transport and Punctuality Service Parameter on This Context

Abstract

On the parallel of technological advancement, rapid changes are recorded in transportation. In this century, urbanization, digitalization and sustainability will have important effects on transport. Whole of these mentioned parameters and phases will trigger demand of effective and efficient transport of largening urban population that is going to affect directly to mass transport service parameters and reform aspects. In this context high speed and high capacity mass transport demand begin to transform a big phenomenon especially on big cities. In this paper firstly city and transportation relation is expressed in the center of mass transport and then punctuality is mentioned. After these punctuality optimizations related studies, supply demand concepts and related models are reviewed in detail. In this frame, conclusions are shared.

Keywords: Mass transport, punctuality, optimization

* İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0001-9852-9428, themacagri@yandex.com

1. Giriş

Düzenli bir kent yaşamı oluşturmanın gösterge derecesi bireylerin kullandıkları ulaşım sistemlerinin düzenli ve kolay ulaşılabilir olmasıyla doğru orantılıdır. Yaşanılan bölge ile iş yerleri ya da ulaşım istenen bölgeler arasındaki ulaşımı hangi yolla ve hangi ulaşım yöntemiyle olursa olsun minimum süre (bekleme, yaya devam etme ve araçla fiili seyahat) ile gerçekleştirmek kaliteli bir seyahatin varlığını ortaya koyabilir.

Bu durum bireyleri, özel araçlarla seyahat etmektense başka sebeplerle birlikte dünyanın her yerinde toplu ulaşımaya yönlendirmektedir. Çünkü toplu ulaşım, denetimi daha kolay ve trafikte daha az yoğunluk oluşturan, izleyeceği güzergâhın planlanabildiği ve güvenlik açısından da oldukça elverişli bir ulaşım yöntemidir. Tabii ilgili idareler tarafından toplu ulaşımın güvenlik, konfor, dakiklik, erişilebilirlik ve maliyet gibi parametreler ile planlanarak "insan odaklı" hale getirilmesi ile doğru orantılı olarak bu yönlendirme anlam ve değer kazanmaktadır (Tzeng G. ve Shiau T., 1988).

Bunun yanında, türel dağılıma göre çeşitlendirilmiş ve bölge durumuna göre birbiriyle uyumlu ve entegre bir şekilde olması gereken ulaşım araçlarındaki insan odaklı yaklaşımla şekillendirilmiş toplu taşıma konusunda yapılan çalışmalar ile bu yönlendirme hızı artırılabilir. Örneğin toplu ulaşımındaki sıklık tayini çalışmaları trafikte minimum seyahat süresini hedef almaktadır.

Sıklık konusu minimum seyahat süresinin yanı sıra zamanın verimli kullanımı ile de ilgilidir. Sıklık hizmet parametresi öte yandan güvenilirlik ve dakiklik hizmet parametreleri ile de eş ve benzeş anlamlara sahiptir. Buradan da hareketle güvenilirlik parametresi bir toplu ulaştırma hizmetinin sefer çizelgesinde açıklanan istasyon varış zamanlamalarına uyma kabiliyeti ile ilgili olup bu parametreye yeterince sahip olan bir tür için ilgili kullanıcı zamanlama hesabında toleranslı davranmak durumunda kalmayacak ya da minimum toleransı dikkate alacaktır. Bu tolerans, geç kalmama kaygısı ile kalkış noktasından, normalin ötesinde erken çıkmak sonucunu doğurur. Bunun birçok zaman nihai sonucu ise varış noktasına da hedef zamanlamasından erken varmaktır. Ki bu da erken varılan noktada kalan süreyi çoğu zaman verimsiz geçirme neticesini ortaya koyacaktır.

Dolayısı ile de bütün bunlardan hareketle sıklık hizmet parametresinin zamanın değer ve zamanın parasal değer git gide daha da artan ve hissedilir olan büyük kentlerde daha da önemli hale gelmekte olduğu söylenebilir. Kentleşmenin yüzyılın hareketlilik fenomenlerinden birisi olduğu ve büyük kentlerin ve kent nüfusunun hem ülkemizde hem bölgede ve hem de küresel ölçekte sürekli olarak arttığı düşünülecek olur ise sıklık hizmet parametresinin artan önemi, yüksek hız ve yüksek kapasiteli toplu ulaştırmaya olan ihtiyaç ve sıklık parametresinin konfor, güvenlik, emniyet ve hız üzerindeki etkisi de daha iyi anlaşılabilir (Kızıldaş, M.Ç., 2014).

Bir toplu taşıma sistemi tasarlanırken, planlayıcılar -tasarımcılar kullanıcıların fiyat, işletim ve seyahat süresi parametrelerinin parasal maliyetlerince hesaplanmış olan sistem maliyetlerinde etkisi olan kararlar almaktadırlar. Otobüse dayalı sistemlerde, literatürde toplu ulaştırma sistemi tasarlanırken 5 aşama tanımlanmaktadır;

- 1) Güzergâh Ağı Tasarımı,
- 2) Sıklığın Belirlenmesi,

- 3) Zaman Çizelgesi Tasarımı,
- 4) Filo Tayini,
- 5) Personel Atanması.

Gerçek sistemlerde genellikle bu aşamalar bir silsile halinde icra edilmekte olup bir aşamada alınan kararlar sonraki aşamalarda kararları da sıralı bir şekilde etkilemektedir. Aynı zamanda bu kararlar planlamanın stratejik (uzun vadeli), taktik (orta vadeli) ya da operasyonel (kısa vadeli) bağlamda olmasına göre değişen planlama bakış açıları ile karara bağlanmaktadır.

Toplu ulaştırma sisteminin stratejik planlaması süresince (özellikle hat rotaları, örneğin güzergâh ağları tasarlanırken) sıklığın bir ön düzenlemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda taktik planlama süresince, sıklıkları güzergâh ağı tasarımlarındaki değişimleri karşılayacak şekilde ya da günün farklı zamanları ve yılın farklı mevsimlerine göre değişen talebe göre ayarlamak gerekmektedir. Sıklıklar hem kullanıcıyı (bekleme süreleri, hat kapasiteleri) ve hem de işletimciyi (gerek duyulan filo boyutuna göre hesaplanan işletme maliyetleri) etkilemektedir (Rawls, J., 1971)

Sıklık tayini, hat üzerindeki sıralı otobüsler arasında, O-D matrisince belirlenen talepleri ve rotaları (cadde kesimleri ve otobüs durakları) bazlı hesabı ifade etmektedir. Sıklık tayini problemine literatürde bir optimizasyon problemi olarak yaklaşılmakta olup genellikle amaç fonksiyonu, diğer altyapı ve politik kısıtlarla birlikte filo boyutu kısıtı altında, kullanıcının toplam seyahat süresinin (yürüme, sefer ve bekleme süreleri) minimizasyonunu ortaya koymaktadır. Sıklık optimizasyon modelleri, kullanıcı bakış açısından (tipik olarak bekleme süresi) sistemin performansı ile ilgili ölçütleri içermesi gerektiğinden, otobüs hatları dizisine göre kullanıcı davranışının bir alt modelini içermelidirler. Bu gibi bir alt model, atama alt modeli olarak bilinmekte olup genellikle karmaşık bir formülasyon ve çözüm yöntemine sahip olmakta, bu durum özellikle otobüs kapasitesi etkisinin kullanıcı davranışı modellemesinde hesaba katılmaktadır. Söz konusu karmaşıklık, bütün bir sıklık optimizasyon modeli karmaşıklığının önemli bir kısmını meydana getirmektedir. Dahası toplu ulaştırmadaki bir atama sisteminin doğruluğu birçok durumda uygulandığı andaki duruma göre şekillenmektedir (Kızıldaş, M.Ç., 2014).

2. Materyal ve Metot

Karayolu açısından bakıldığında durak ve cadde kesimleri gibi seyahat yolu tarafından verilen bir dizi toplu taşıma hattı için müteakip ulaşım aracı (otobüs, minibüs vb.) seferleri arasındaki zaman aralığının hesaplanması hedefi ile yapılan toplu taşımada sıklık optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalarda yakınsak çözümler üreten, nonlinear modeller bulunmaktadır. Modellerin nonlinear olması, sıklık ile bekleme süresinin doğru orantılı olmamasından ve nonlinear çözümlerdeki farklı hat sonuçları arasındaki interaktif etkinin de modellenmesinden ileri gelmektedir. Atama alt modellerini içeren mevcut modeller, reel hayat ile farklı seviyelerde uyuşma sağlamaktadırlar. Yöntemlerin denenmesinde kullanılan durumlar, sınırlı büyüklükteki hatlardan ortalama büyüklükteki şehirlerde bulunan 100'ün üzerinde hatlara kadar oldukça geniş yelpazede çeşitlenmektedir. Yapılan çözümlerlerin verimli bir kalkış-varış talebi ve uygun araç filosu kısıtlarını sağlaması beklenmektedir.

Yapılan çalışmalara bu beklentinin dâhil olması ile ilgili önemli 2 konu gündeme gelebilir;

- 1) Hâlihazırdaki sıklık optimizasyon modelleri için "Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP)" modeli

önerilmektedir. Önerilen programlamanın çözüm yapısı ile ticari bir MILP denklemi bütüncül olarak çözüme kavuşturulabilmektedir. Araştırma sonuçlarında kabul edildiği görülen bu yapı atama alt modelini de içermektedir.

2) Orta büyüklükteki hatların çözümü için önerilen model sezgisel ötesi yaklaşım olup, doğruluğu optimum çözüm mantığıyla literatürde kesin çözüm olarak kabul edilen modeller ile karşılaştırma yapılarak belirlenmektedir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda optimal çözüm becerisi olarak doğruluğu kesin olarak ispatlanmış bir metot bulunmamakta olup, ancak doğruya en yakın çözümün olduğu kabul edilen metotların varlığından söz edilebilir. Daha küçük ölçekli çalışmalardaki çözümlerden elde edilen gelişmelerin toplu ulaşımında sıklık optimizasyonlarında kullanılması ile parçadan bütüne erişme yolu ile optimum çözüm aranmıştır.

Sıklık optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda literatür, matematiksel modellerin, ilgili formülasyonların ve önerilen sezgisel ötesi çalışmanın, problemin çözümü ile ilgili yaklaşımın irdelenmesine ve sınamalı metotlarla nümerik sonuçların değerlendirilmesine yönlendirmektedir. Bundan dolayı sahadan veri elde edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ancak önerilen bütün modeller hat boyunca bir kesimin bitiş noktası ya da verisi bulunan bir sınırdaki temsili olarak düşünülen (merkezi) nokta ve durakları ifade eden noktaları ihtiva eden bir grafiğe göre çözümlenmektedir (Ilıcalı, M. vd. 2013).

Özellikle 1995 yılındaki çalışmalarla başlayan ve geçmiş yıllarda yoğun bir şekilde tartışılarak oluşturulan modellerden bir tanesi olan optimal stratejili atama modellerini baz alan açık formülasyona sahip olan model sıklık optimizasyonu konusunda sıklıkla kullanılmaktadır. Oluşturulan modelin karakteristiği, doğruluğu ve değerlendirilmesi konularında ilk tartışıldığı zamanlarda kesin çözümler vermediği gibi yaklaşık olarak da doğrulanmış bir model olarak karşımıza çıkmamaktadır.

Sıklık optimizasyonu, 1995 yıllarındaki literatürde nonlineer, yeknesak bir problem olarak karakterize edilmektedir. Model, yüksek olan sınır seviyelerinde filo büyüklüğünün fizibilitesi ve toplam seyahat süresinin en aza indirgenmesi olarak ifade edilirken, daha düşük sınır seviyelerinde kullananların optimal strateji atama modellerine göre yolculuk süresinin en aza indirilmesini şeklinde ifade edilmektedir. Modeli ifadesinde, hat gösterimlerinin ardından, talep ve kullanıcı davranışlarının gösterimleri açıklanmakta, sonrasında, önerilen lineerleştirme ile sıklık optimizasyon modeli ortaya konulmaktadır.

1980'li yıllarda yapılan çalışmalarda önerilen modelde, bekleme süresinin yanında sefer ve yürüme süresinde de en aza indirmeye konuları gündeme getirilmiştir. Ayrıca filonun büyüklüğü konusunda bir kısıtlama da öngörülmemektedir. Kullanıcıların hareketleri modele ihtiva edilmiş, verisi bulunan bir O - D çifti içerisinde talepler otobüsün kapasite kısıtına ve dağılıma göre bağımsız hatlar arasında dağıtılmıştır. Kullanılan çözüm, dışbükey olmayan bir amaç fonksiyonuna sahip olup, lineer veya dışbükey kısıtlılıklara sahiptir (Engel-Yan, J. ve Passmore, D., 2010).

Modelde sezgisel yaklaşımla 2 kademe önerilir:

1. Öncelikle kapasite açısından minimum sınırlılık sağlayabilmek adına güzergâh yoğunluğunun ve kullanıcı akımının bir döngü ile belirlendiği bir paylaşım süreci uygulanır,

2. Daha sonra da ilave bir paylaşım prosedürü ile sadece lineer kısıtlar dâhilinde problem çözümü gerçekleştirilir.

Öneri yöntem Mısır'ın Kahire kentinde uygulanmış olmasına rağmen kurgu 6 düğüm noktası ve 3 güzergâh için yapılmıştır. 2010 yılı sonrası yapılan çalışmalarda, otobüs sıklık optimizasyonu için genetik bir algoritma önerilmesi konusu

görebilmekteyiz. Bu öneri, sıklık problemlerine sezgisel ötesi yaklaşımın uygulandığı ilk örneklerdendir. Çalışmadaki optimizasyon modeli, bekleme süresi ile sefer süresinin en aza indirgenmesi filo büyüklüğü engeline bağlı bir konu gibi değerlendirilip, yolcu davranışları, "optimal stratejili atama modeli" olarak kurgulanmaktadır.

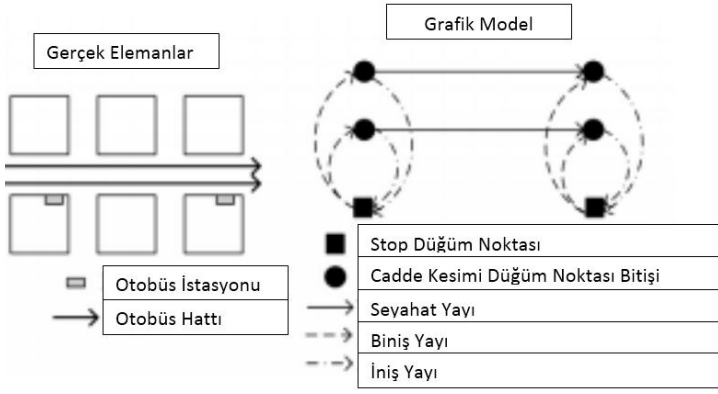
2012 yılı itibari ile toplu taşıma dakiklik optimizesi hakkındaki en son referans araştırmalarına ulaşılabılır olup bu bağlamda aynı derecede bir model önerisi ortaya konulmuştur. Bundan daha ileri düzeyli limitler dâhilinde ise bir toplam maliyet değişken denkleminin ortaya konulması ise frekansların ve otobüs filolarının farklılaşması bağlamında icra edilmekte olup burada ise Tabu çalışması ve Hooke Jeeves algoritması ise sezgisel bir çalışma olarak gerçekleştirilmektedir. İndirgenmiş limit dereceli sorunsal ise 1993 tarihinde gerçekleştirilen bağlantılı çalışmalar dâhilinde formüleleştirilmek sureti ile kapasite limiti olan tayin etme problemlerini açıklamaktadır. Sonuç olarak ise frekans optimize işlemi adına muhtelif modeller literatürde ortaya konulmuş iken bir diğer taraftan ise bir hayli benzer hedef fonksiyonları ve sınırlılıklarına haiz olmaktadır. Hesaba katılan tayin işlemlerinin çoğu ise al modellerinde söz konusu hipotezlerinde minimal farklılaşmaları ortaya koymaktadır. Birçok zaman otobüs kapasitesi ile ilgili hatlarda gerekli kapasiteyi yolcu tatminine göre tayin etmesine ihtiyaç duyulan planlamacılar tarafından bir limit değer olarak eklenmek yönünde desteklenmektedir. Öte yandan ise de 2000'li seneler itibari ile yapılan araştırmalar otobüs kapasite tesir modelini yolcu yaklaşımları üzerinde alt tayin edici modeller aracılığı ile tikanıklık tayin etme dâhilinde gerçekleştirilmektedir.

Toplu taşıma ile ilgili çalışmalarda öncelikle arz - talep unsurları ele alınmaktadır. Arz tarafında, hâlihazırdaki duraklar ve cadde kesimlerine göre güzergâhları belirlenmiş hatlar mevcut olup bu hatlardaki sıklık, optimizasyon modeli ile tespit edilmektedir. Talep olarak; kentte farklı noktalara erişme ihtiyacı olan kullanıcı grupları bulunmaktadır. Verili bir hat dizisi ile kullanıcı grupları bu gibi ihtiyaçlarını mevcut hatlarla gerçekleştiriminin yolunu belirlemektedirler.

Şekil 1'de arz gösterimi doğrudan bir grafikte ifade edilebilmektedir. Düğüm noktaları, her bir hat için cadde kesimleri ve durakları ifade etmektedir. Noktalar arasındaki çizgiler seyahat yolları olarak isimlendirilmekte ve bu yollar negatif değer almayan sabitlenmiş seyahat sürelerinde ilerleyen hatlar boyunca yolcuların hareketlerini göstermektedir.

Bir noktadan diğer noktaya bağlanan çizgi gidiş yayı, geri dönüş çizgisi de dönüş yayı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1'deki gibi bir modele dayalı olarak, her bir hat dizisindeki bir hattın önceki ve sonraki güzergâha ya da dairesel bir güzergâha sahip olduğu dikkate alınmaktadır. modelde gösterilen güzergâh dahili seyahat yollarının birleşiminden meydana gelmektedir. Herhangi bir hat için, rotanın yoğunlaşma şekli kapalı bir daire veya daire ise tekil rota olarak dikkate alınmaktadır. Bu çevrimden hareketle de gidiş dönüş süresi çözümlenebilmektedir (Litman, T. 2012).

Bu noktada atamada bir alt model kullanıcı davranışının tayini ve tasnifi için önemli olmaktadır. Burada model adı altında ortaya konulan şey ise bir yolculunun toplu ulaştırmayı kullanmak vasıtası ile bir kalkış noktasından bir varış noktasına ulaşmasından ibarettir. Bu da yolcunun önüne çıkan otobüs işgal düzeyleri ve bekleme periyotları yolu ile sistemin icrasının ölçülmesi için gerekli olmaktadır. Kullanıcıların sıklıklara bağlı kararları, bütün bir optimizasyon modelinin karar değişkenleri oldukları için, atama alt modeli ile fazlasıyla bağlantılı olduğu dikkat edilmelidir.



Şekil 1: Grafik Model (Litman, T. 2012)

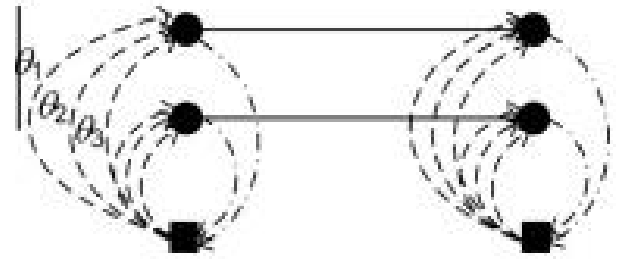
Şekil 1'e göre verili bir O-D çifti olan x için, A olarak adlandırılan bir yay alt kümesi gibi bir strateji söz konusu olup Ox 'den Dx 'e olan ulaşım için, kullanıcıların öncelik olarak belirlediği bütün hatları ifade etmektedir. Burada seçilen stratejinin bütün yolculuk zamanını azamiye indirgeyen bir yolcunun varlığı kabulüne dayanmaktadır. Bunun için ise öne çıkan hatlar serisini kalkış ve varış duraklarını bağlantılandıran tüm muhtemel hatlar arasından seçen bir kullanıcının varlığı söz konusu olmaktadır. Yolcu bu aşamada ayrıca sistemdeki tüm rotalardaki izleme yolculuk zamanlamalarıyla ilgili bilgiyi dikkate almakta, hepsinin sıklıkları ile ilgili bilgi sahibi olmakta ve bekleme zamanlarını tayin etmek gereksinimini de duymaktadır.

V_n (n düğüm noktasındaki akım) ve X_a (optimal stratejiye ait a yayı olup bir çift değişkeni ifade etmektedir) değişkenlerinin gösterimi üzerine atama problemi, bekleme süresi çözülmesi ve sıklık dağılım kuralı içeren amaç fonksiyonunda seyahat süresinin minimizasyonunu formüle edebilmektedir, V_a a yayında sefere karşılık gelen hattın sıklığı (otobüs/zaman birimi) olan n düğüm noktası ve f_a 'dan üretilen yaylar olan a yayı boyunca talep akışının miktarını göstermektedir. Söz konusu lineer olmayan açıklamalar ve ikili bilinmeyenler ihtiva eden optimizasyon sorunu bağlamında ise de kapsamlı teferruatlara ise çeşitli bağlantılı çalışmalar üzerinden ulaşmak söz konusu olabilmektedir. Bu kapsamda modelin indirgenmesi çalışmaları ise bilinmeyenlerdeki farklılaşmaların ortalaması ve nihai modelin uygulanabilir lokasyonunun dikkate alınması bağlamında gerçekleşmektedir (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç., 2019).

Söz konusu formüleleştirme lineerdir ve en kısa patika sorununa oldukça benzeşmektedir. Farklı olan ise de hedef fonksiyonunda düğüm noktalarını gösteren bir bileşenin ihtiva edilmesi ve verilmiş bir durak ve varış durağından geçen çekim yolları arasındaki talep şekillenmesini ifade eden bir sınırlılığın bulundurulması olup söz konusu bu sınırlılıktan ötürü de atama sorununun çözülmesi grafik üzerinde yegâne bir patika olmayıp varış noktası ve kalkış noktası arasındaki patikaları ihtiva eden bir hiper güzergâhtır.

Bu kapsamda herhangi bir hattın sıklığı için olası değeri temsilen, negatif değer almayan her bir θ_i için verili $\theta = (\theta_1, \dots, \dots, \theta_m)$ dizisinin ortalamasınca sıklık aralıklarının ayrık tanımı yapılmaktadır. Sıklıkların fizibil bir dizisi her bir hat için bir θ değeri oluşturmaktadır. Ayrıca G grafiği için yeni bir yapı tanımlanmış olup bu yapıda her bir θ değeri için bir sefer yayına sahip olan verili bir istasyonca her bir hattan geçilmektedir. Şekil 2'de bu gibi bir yapı Şekil 1'deki örneğin

üzerinden ortaya konmakta ve 3 ayrı sıklığa sahip bir θ örneği üzerinden gidilmektedir.



Şekil 2: Ayrışık Sıklık Alanlarını İfade Eden Model Grafiği (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç., 2019)

Ardından eğer l hattında θ_f sıklığı ortaya çıkıyorsa, ylf ikili değişkeni uygulanmaktadır. Bu tanımlamalar ve belirlenen atama alt modeline dayalı olarak, B 'nin filo boyutundaki üst limit, $f(a)$ 'nın söz konusu yay karşılık gelen hattı gösteren $l(a)$ ve a yayınca ifade edilen θ sıklığındaki endeksi gösterdiği durumda sıklık optimizasyon modeli formüle edilmektedir. OD çiftinin ikamesi olarak x endeksinin eklendiği de not edilmelidir.

Bu çerçevede eş anlı karar almaların açıklanması için de formüller yolu ile planlamacıların akış atamaları (v ve w değişkenleri) ile ilgili kullanıcıları seçimlerinin yerine ikamesi dâhilinde sıklık (y değişkeni) tespitleri söz konusu olmaktadır. Burada hedef fonksiyonu sınırlılıklar, y parametresi ve muhtemel denklemleri ihtiva etmektedir ancak öte yandan model v 'nin asgarileştirilmesi adına söz konusu şekildedeki parametreleri ihtiva eden sınırlılıklara nispetle söz konusu değerleri seçecektir. Bu bağlamda yay akım değeri olan v ise minimize edilir iken hedef fonksiyonunda yay uyarlabilirliği (mesela sıklık) ve akışın muhafazasına uymak sureti ile bu durum gerçekleştirilmektedir. Bekleme süresi olan w ise aldığı değer itibari ile daha indirgenmiş bir denklem sergiler iken diğer taraftan ise ayrıca hedef fonksiyonunda asgarileştirilmektedir.

Yüksek boyutlu örneklerinin çözülmesinin kolay olmayacağı tahmin edilir iken diğer taraftan ise önerilmiş olan tam sayılı doğrusal programlama (MILP) formülünün ise hesap imkânları dahilinde optimum bir açıklamayı sıklık optimizasyon sorununa temin etmesi beklenmektedir. Sıklık mesafelerinde münhasırlığın icra edilmesi ile beraber sorunun çözülme bölgesinin üstün olduğu kombine bir hâlihazırda evrileceğinin de altının çizilmesi gerekmektedir.

Nispi optimal noktaya yakınsamayı devre dışı bırakmak adına ise nispi tarama sistematığının esasına tabu mahiyeti icra edilmektedir. Alt tayin edici modellere yoğun bağımlılığı bertaraf etmek adına ise tabu çalışmasının münhasır bir sistematığının icrası söz konusu olmaktadır. Nüfus temelli bir sezgisel ötesi modelin ise bütün ürün süreçlerinin çok miktarda bireyde ele alınmaya sebebiyet vermesinden ötürü ise yaklaşık bir sistematik gerektirmeye ihtiyaç duyduğu da ayrıca vurgulanmak durumundadır. Bu çerçevede ise tavsiye edilen sezgisel ötesi model bağlamında asli yaklaşımlar tartışılmaktadır.

Sistemdeki her bir bölge ise toplu taşıma düzenindeki bir hattı ifade etmekte ve ilgili değişken değerleri ise bu hattın sıklık düzeyini göstermektedir. Muhtemel sıklık dizisinin minimumdan (θ_1) maksimuma (θ_m) sıralandığı kabulü yapılmaktadır. Bu şekilde ise hattın frekansı yükselme (veya indirgenme) gösterir iken öte yanda ise θ 'daki en büyük (ya da en küçük) parametre düzeyine erişmek durumundadır (Kızıldaş, M.Ç. ve Altan, M.F., 2017).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tabu çözümlemesi kapsamında ise nispi optimal olmanın da ilerisinde bir çözümleme teşkil etmek adına nispi bir prosese rehberlik edilmesi söz konusu iken bu da sezgiselin ilerisinde bir modele işaret etmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi adına ise çalışma hâlihazırda çözümlemeyi geriletken rotaları güzergâhları dikkate alabilir ve de o ana değin gerçekleştirilmiş çeşitli güzergâhları da devre dışında bırakabilir. Bu bağlamda tabu çalışmasının ana parametrelerinden birisini ise hafızadan faydalanılması teşkil etmektedir. Bu bağlamda ise de kısa süreçli hafıza teminine yoğunlaşılmaktadır.

Bu kapsamda amaç ötesi bir stratejik yaklaşım ise sistemsel bir bağlamda yakınsayan çözümlemelerin ortaya konulması adına icra edilmektedir. Söz konusu stratejide ise bir çözüm ancak amaç değerini bir gerçekleşme değeri olarak tayin ettikten sonra ek çözümlemelerin sayısını belirlenmektedir. Asgari ve azami çözümlemelerin sayısını ifade eden iki değer ise temin edilecek olan yakınsayan çözümlemelerin net sayısının denkleminin korunması adına gerçekleştirilmektedir. Bu çerçevede ortaya konulan rassallık esaslarına göre elde edilen stratejiler ise aday yakınsayana çözümlemeler için tartışılmaktadır. Burada bütün yakınsak çözümlemelerin ele alınmasında ise etikete münhasır algoritmalar atama yaklaşımlarını çözümleyen algoritmalar tarafından ileri sürülmüş olup çeşitli eşitlikler ile formüle dönüştürülmek sureti ile icra edilmektedir. Genel olarak belirtilmesi dâhilinde algoritma en kısa patika etiketlemesine sahip olan algoritma ile bir hayli benzeşmekte olup açısıl maliyetleri hesaba katmaktadır ancak ana farklılaşma ise de münhasıran çözümlemelerde hiper patika bağıntısını gerçekleştiren ve de akım dağılımını ortaya koyan temel hatların hesaba katılıyor olmasındadır (Mustaffa, N. vd. 2012).

Bu çerçevede ise ilgili sunumlar sayısal neticeler üzerinden gerçekleştirilmiş olup bunlar da net model çözümlerinin icra edilmesi ve de yakınsak açıklama metodunun gerçekleştirilmesinden temin edilmiştir. Bu kapsamda kullanılan temel testler;

1. 1980 yılında Mandl'da yapılan çalışmada, grafik 15 adet düğüm noktası ve 21 dolaylı uç bulunmaktadır. Matris, 172 gibi büyük bir değere sahip O - D çiftinden oluşmaktadır.

2. Uruguay'daki Rivera şehrinde, grafik 84 düğüm noktası ve 143 dolaylı uç içermekte ve matris 378 O - D çiftinden oluşmaktadır. Burada 12 saatlik süredeki talep ifade edilmektedir. Kentteki toplu ulaştırma sistemini temsilen bir hat dizi hesaba katılıp, model gidiş-dönüş şeklinde 11 hat ve 2 dairesel hattın oluşmaktadır.

3. Uruguay'daki Montevideo kentinde, grafik 4,945 düğüm noktası ve 14,672 uç içermektedir. Model 133 hat güzergâhlı toplu ulaştırma sistemini temsil etmektedir. Kalkış ve varış verisi (hem O - D çifti yerleşimi, hem seyahat miktarı) şehre eşit olarak dağıtılmış 7,425 O - D çiftini ihtiva eder.

Burada 1. ve 2. maddelerde figürün unsurları ileri düzeyli münhasırlıkta gösterilmiş olup aynı zamanda ise bütün noktaların bir otobüs istasyonu şeklinde güzergâh bölümlerinin potansiyel bir nihai noktasını da teşkil etmektedir. İlgili hâlihazır ise Şekil 3'te ifade edilmiştir. Mandl'daki durum için $\theta = (1/60, 1/50, 1/40, 1/30, 1/20, 1/10, 1/5, 1/2)$ gibi bir sıklık olası değerler dizisi yapılandırmakta ve Çift Eklenti Algoritmasını kullanan gidiş-geliş yönlü simetrik 7 hatlık bir dizi üretmektedir. Burada 80'lik bir seri ise ilgili araştırmalardan temin edilen bir filo ölçeğini ifade etmektedir. Mevcut sistemindeki hatlar tarafından

kullanılan sıklıktan faydalanılmış olan Rivera için ise, 27 olan filo boyutu için sonuç değerine göre $\theta = (1/60, 1/40, 1/30, 1/20)$ 'dir (Rawat, D.B. vd. 2011). Montevideo'daki durum için oldukça detaylı bir toplu ulaştırma sistemi gösterimi (açılış verilerine göre yapılandırılmış olan) söz konusu olup belirli istasyonlar, ağırlık merkezi düğüm noktaları ve yürüme yaylarından oluşmaktadır. Şekil 3'te detaylı gösterimi bulunmaktadır. Olası sıklıklar $\theta = (1/60, 1/40, 1/30, 1/20, 1/12, 1/6, 1/4, 1/3)$ ve filo boyutu şehrin belediye ölçeğine eşit olup 1500'dür. Bu durum Rivera'dakinden farklı olarak doğrudan belediyece doğrulanmamakta, Montevideo toplu ulaştırma sisteminin doğrulanmış bir şekilde belirtilmesi bu tarz araştırmaların odağında değildir. Bununla beraber buradaki temel amaç, mümkün olduğunca gerçek karakteristikler dâhilinde, toplu ulaştırma sıklık optimizasyonunun mimarisinin belirtilmesi yolu ile kıyaslanabilir bir boyut durumuna ulaşmaktır (Vatin, N. vd. 2014).

Tablo 1 mevcut sistemin (sadece Rivera için) amaç değerine göre gelişim yüzdesinin yanı sıra (sırası ile Ie ve Ia) kesin ve yaklaşık yöntemlerin (sırası ile Oe ve Oa) amaç değerlerini (toplam kullanıcı seyahat süresi) göstermektedir. Tablo 2 aynı zamanda sırası ile Te ve Ta olarak uygulama sürelerini ve Ge (bulunan en iyi tam sayılı çözüm ile en düşük bağıntı arasındaki nispi mesafeyi temsilen CPLEX tarafından raporlanan ve hesaplanan bir değerdir) gibi kesin yöntemin nispi karma tam sayılı programlama (MIP) aralığını göstermektedir.



Şekil 3: Gerçek Test Durumları (Vatin, N. vd. 2014)

Kesin model hem küresel optimum bulunduktan sonra ve hem de empoze edilen süre kısıtına ulaşıldığında durdurulur. Sezgisel ötesi yaklaşım ise hem toplam iterasyonların maksimum sayısına ulaşıldıktan sonra ve hem de ilerlemeyen iterasyonların

maksimum sayısına ulaşıldıktan sonra durdurulur (Mugrul, V.A., 2014).

Tablo 1'den kesin değer ve yaklaşık algoritmadan elde edilen amaç değerlerinin her iki test durumu için de çok benzer olduğu gözlemlenebilmektedir. Kesin model ile Rivera için sonuçların elde edilmesinde, %18'lik nispi karma tam sayılı programlama (MIP) aralığı ile fizibil bir çözüm elde edilmesinin ardından 48 saatlik bir sınır süre empoze edilmektedir. Karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli sonuçlarının 1.097.080 değişken ve 2.321.750 kısıt içerdiği not edilmelidir, dahası nispeten daha kısa süre ile optimalitenin çözülmesinin zor olduğu öngörülmektedir.

Tablo 1. Amaç Değerlerinin Kesin ve Yaklaşık Sonuçları (Mugrul, V.A., 2014)

Ge	Oe	Oa	Ie (%)	Ia (%)	Te	Ta
Mandl 19	139,54	140,99	-	-	2460	<1
Rivera 18	514,23	517,56	3,48	2,85	-	113

Tablo 2. Sonuç Sıklıklarının Kesin ve Yaklaşık Değerleri (Mugrul, V.A., 2014)

Hat	Mevcut	Kesin	Yaklaşık
1	3	3	3
2	1	1	1
3	3	3	2
4	3	4	3
5	1	3	3
6	3	3	2
7	3	4	4
8	1	1	2
9	4	3	3
10	3	3	4
11	4	4	4
12	2	1	1
13	2	1	1

Yapılan test, önerilen karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) uygulamasının küresel bir optimum hesaplamaya elverişli olduğunu göstermektedir. Ayrıca yine aynı uygulamanın, gerçekte küçük boyutlu bir şehrin mevcut bir sistemin kalitesinin geliştirilmesine yeterli olduğu görülmektedir. Bir referans olarak, mevcut sisteme nazaran ilgili referans çalışmalarında önerilen çözüm yönteminin geliştirilmesinin farklı test durumlarında %1,2'den %5,0'e değiştiği de vurgulanmalıdır. Son olarak önerilen sezgisel ötesi yaklaşımın aynı zamanda oldukça kısa bir zaman periyodunda iyi çözümler ürettiği de not edilmelidir.

Bu kapsamda hem Rivera'nın mevcut durumu için yaklaşık yöntemler ve hem de kesin yöntemlerin çözümlerinin tayinine çalışılmıştır. Tablo 2 mevcut sistemde her bir hattın θ sıklıklarında kesin ve yaklaşık çözümleri göstermektedir (Mugrul, V.A., 2014). Kesin yöntem ile 13 hattın 6'sının sıklıklarında değişim gözlemlenir iken yaklaşık yöntemde ise aynı hatların 9'unda değişim gözlemlenmektedir. İlki 3 hattın sıklığını arttırıp 3 hattını azaltırken, ikincisi ise 4 hattın sıklığını arttırırken 5 hattını ise azaltmaktadır. Eğer sadece önerilen metodolojinin ortaya koyduğu sıklıklara bakılırsa, 13 hattın 5'inde farklı sonuçlar gözlemlenir iken buna karşın bu farklılıklar değer olarak 1'den büyük değildir (sıklıklar θ 'ya yakınsamakta olup ayrıca birbirlerine oldukça yakın değerler almaktadırlar).

Söz konusu modeller ve algoritmaların tarafından ortaya konan sıklıklar maksimum bekleme süresinde herhangi bir kısıtı dikkate almadığı not edilmelidir. Bu nedenle, önerilen çözümlerin sistem kullanıcıları ile ilgili uygun kaynakların (otobüs filosu büyüklüğü) yeniden dağılımını ifade etmesinden dolayı, birkaç belirli O-D çifti son iki hatta bağlı durumdan dolayı dezavantajlı sonuçlar verebilmektedir. Önerilen formülasyon ve çözüm yönteminin uygulamalarının davranış ve olasılıkları ile ilgili olarak daha sayısallaştırılabilir unsurlar elde etmek için, aşağıdaki üç test icra edilmektedir: kullanıcıların aktarma yaptığı kabulü, θ olası sıklıklar dizisinin hassasiyet analizi ve başlangıç çözümü hassasiyeti. Rivera şehrinde toplu ulaştırma sistemi kullanıcıları nadiren farklı hatlar arasında aktarma yapmaktadır. Bu durum kullanıcıların kullandıkları her hat başına ücret ödeme zorunluluğu gerçeğinden kaynaklanan bir durumdur. Ayrıca her bir hat rotası ve talep unsuru, dairesel bir yapıda olup şehir merkezi hemen bütün hatların başlangıç noktasında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca talep, örneğin herhangi bir aktarmaya ihtiyaç bırakmayacak bir şekilde hemen hemen doğrudan bir şekilde hizmetlendirilmektedir. Bu gözleme göre, aktarma olasılıklarını devre dışı bırakan, G grafiğinin modifiye bir kodlaması uygulanmaktadır. Bu alternatif kodlama, modeli daha önceki modellere kıyasla daha kolay çözülebilir bir hale getirmektedir.

Tablo 3, Rivera şehrinin durumuna uygulanan yukarıda açıklanan model dâhilinde Tablo 2'deki ile örtüşen sonuçlar vermektedir. Testte modelin daha kısa bir sürede optimal bir şekilde çözümlenebildiği gözlemlenmektedir. Ayrıca sezgisel ötesi yaklaşım, küresel optimuma oldukça yakınsaya bir amaç değerini ortaya koyan bir çözüm gerçekleştirmektedir. Bu testin sonuçlarının elde edilmesinde kullanılan G grafiği için alternatif bir kodlamanın, hesabın içerisine aktarma olasılıkları dâhil olduğunda kesin karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) formülasyonunun uygulanmasında verimli olmamaktadır. Bu sonuçlar kesin hipotezler altında (bu kapsamda belirtilen şartlarda doğrulan) ortaya çıkmakta iken, model gerçek küçük boyutlu duruma uygulandığında optimalite dâhilinde çözülebilmektedir. Karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) formülasyonu sıklık aralıkları ayrıklığına dayalı olduğundan dolayı, sonuçların modele dâhil edilen girdi paralelinde verili θ dizisinin örneklerine hassasiyet göstermesi beklenmektedir. Dahası θ 'nın boyutu büyük ölçüde grafiğin boyutunu ve dahası uygulama süresini etkileyen karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli sonuçlarının boyutunu da etkilemektedir (Brezzi, M. ve Veneri, P., 2015). Bu testte, daha önce açıklanan aktarmalar olmaksızın (Tablo 3'teki küresel optimal değerleri bir referans olarak alabilmek için) bir model kullanılarak Rivera şehri durumu için olası değişen sıklıklar dizisinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

Tablo 3. Aktarmasız Model (Brezzi, M. ve Veneri, P., 2015)

Oe	Oa	Ie (%)	Ia (%)	Te	Ta
536,14	537,69	3,51	3,23	90	5

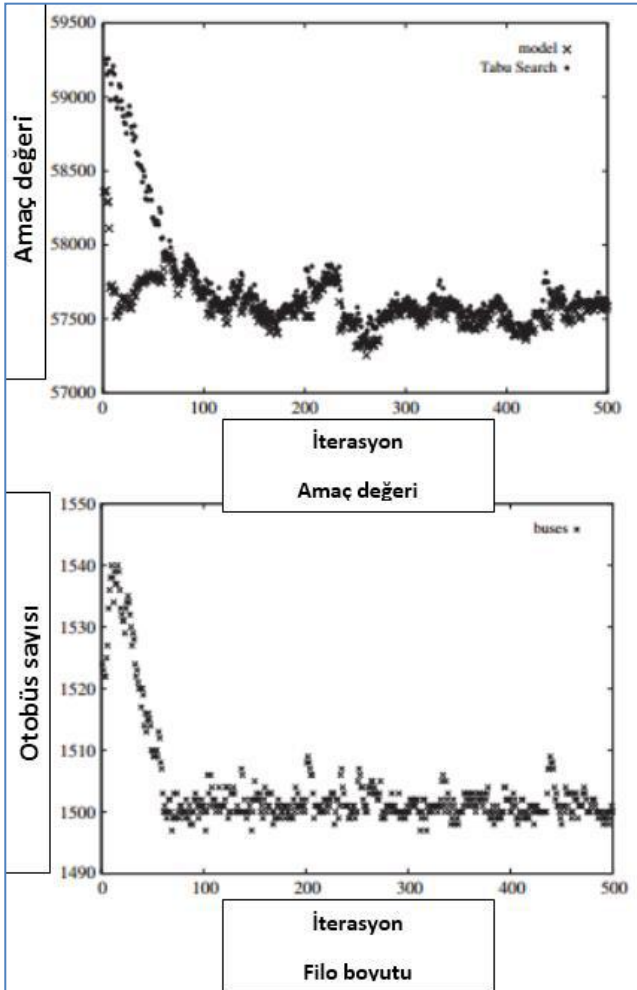
Tablo 4 ise hem kesin ve hem de yaklaşık yaklaşımlar için O amaç değerlerini ve onlara karşılık gelen T uygulama sürelerini göstermektedir. Sonuçlara karşılık gelen ilk hat daha önce ifade edilmiş olup mevcut sistemin sıklıklarını kullanmaktadır. İkinci hat ise bir önceki diziyeye nazaran daha yüksek sıklıkları (1/10, 1/5) dâhil etmiştir. Amaç değerlerinin aynı olduğu gözlemlenebilmektedir. θ 'ya eklenen hiçbir yeni sıklık değerinin optimal çözümde kullanılmadığı gözlemlenmektedir. Bu sıklıklar nispeten daha yüksek olduğundan dolayı, herhangi birisinin herhangi bir hatta atanması kimi diğer hatların sıklıklarında düşüşler kaydedilebilecektir.

Tablo 4. Olası Sıklıklar Dizisi Hassasiyeti (Chen, C. ve Hall, P. 2011)

Θ	Oe	Oa	Te
Ta (1/60, 1/40, 1/30, 1/20)	536,14	537,69	
90 5 (1/60, 1/40, 1/30, 1/20, 1/10, 1/5)	536,14	537,69	
210 5 (1/60, 1/55,, 1/5)	531,88	535,08	
- 5			

Sonuçlar aynı zamanda Rivera'daki hatlarda kullanılan maksimum sıklıkların (1/20 dakika) uygun otobüs filoları altında mantıklı olduğu önermektedir. Üçüncü hatta nispeten daha yüksek sıklık sayısı ile oluşturulan θ dizisi, 5 dakikalık aralıklarla (1/60, 1/5) aralığında değişmektedir. Bu durumda model dikkate değer ölçüde bir gelişim göstermekte ve 48 saatlik uygulamanın ardından (%2,3'lük nispi karma tam sayılı programlama aralığı ile) elde edilen amaç değeri tablodaki birinci ve ikinci hatlardakinden çok az küçük (<%1) olarak gerçekleşmektedir (Chen, C. ve Hall, P. 2011).

Bu test, θ (benzer değerler dizini için) sıklıklar dizisinde değişim olurken, amaç değerlerinde kayda değer değişimler kaydedilmediğini, kesin değerlerin uygulama süresinin θ boyutuna karşı oransal olarak artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu testte yaklaşık değerlerin uygulama süresi, θ 'nın değişimlerine karşı hassas değildir. Modelin pratik uygulaması ile ilgili olarak, θ 'nın boyutunun rastgele bir şekilde yüksek bir değere çıkmayacağı kabul edilebilir.



Şekil 4. Sezgisel Ötesi Yaklaşımın Hesap İlerleyişi (Chen, C. ve Hall, P. 2011)

İlk testteki temel mantık, araştırmada hatayı engellemek için bütün hatlara θ 'nın ortanca değerini tayin etmektir. Amaç değeri 187,40 olarak elde edilmiş olup ikinci testteki değer ise 140,99'dur. Optimal çözümün gözlemlenmesinde θ 'nın ilk 4 sıklığından hiçbirinin kullanılmadığı not edilmelidir.

Bu bağlamda ise neticeleri yorum ve raporlanan Montevideo kentindeki hâlihazırın sezgisel ötesi modeli gerçekleştirilmektedir. Burada bilgi mevcut olmayan noktalar söz konusu olmakta olup bunlar ise optimum çözümlene ve hâlihazır sistematüğün dakiklığı ile ilgili olmaktadır. Buna ilaveten de buradaki sınamanın ana hedefi ise bir başlama çözümü ortaya konulması adına algoritma gelişmişliği ve buna erişmek adına ihtiyaç duyulan icra periyodunun müşahede edilmesi ile ilgili olmaktadır. Başlangıç çözümü bağlamında filo boyutuna karşılık gelen değer en yüksek sınırına (1500 otobüs) mümkün olduğunca yaklaştırılmıştır. Bu yolla bütün hatlara Montevideo şehir durumu θ dizisinin 4 numaralı sıklığı olarak 1/12 atanmış ve buna karşılık gelen filo boyutu 1524 olarak alınmış olup bu boyut nispeten fizibil olmayan bir çözüm üretmektedir (Golobić, M. ve Marot, N. 2011).

Bu kapsamda söz konusu algoritmanın ilgili iterasyon miktarına göre ilerleyişini ise Şekil 4'te görmek mümkün olmaktadır. Burada hem model hedef düzeyleri ve hem de sezgi ötesi modelin bir nispi ilerleme ile bütünlenen muhtelif döngülere haiz olduğu ise Şekil 4'te açıkça ifadesini bulmaktadır. Buradan hareketle ise Şekil 4'te sınırlılıklarca tetiklenen azami değer bağlamında titreşim ortaya koyan bir filo hacmi görülmekte olup uygun bölgenin yanında ayrıca ilgili algoritma çözümlenmesine yol açan bir mekanizma planlaması sonucu da ortaya çıkmak durumundadır. Nihayetinde ise Rivera için temin edilen gelişim yüzdesinin Montevideo için olandan daha yüksek olduğunun vurgulanmasında ise fayda telakki edilmektedir. Her durumda gelişim yüzdesi, referans çalışmalarından elde edilenler ile yine aynı aralıkta olup %1,2-%5,0'dir. İcra etme zamanı dâhilinde ise algoritma yöntemin hedefinin yanında ayrıca da hâlihazırın tafsilatlı bir kademe ve ölçөгünü hesaba dâhil eden uygun sınırlardaki bir icra kabiliyetine haiz görünmektedir. Tavsiye edilen yaklaşım aracılığıyla gerçek durumlu indirgenmiş boyutlu kentler dahilindeki hâlihazır adına optimum veya optimuma yakınsayan açıklamalar gerçekleştirilebilir olmaktadır. Değerlendirilen toplu ulaşım sistemi 13 hattan oluşmasına karşın, modelin uygulanmasıyla %3 civarında bir gelişim sağlanabilmiştir. Bu durum, küçük sistemlerde bile sistemin verimliliğinin artırılması için imkân olduğunu göstermektedir.

Bir gelecek planlaması olarak işletim modelleri dâhilinde bu tarz çalışmalar kapsamında (temelde stratejik ve taktik planlama düzeyleri için planlanmış olan) ilginç bir araştırma, modellerin entegrasyonu olabilir. Toplu ulaştırma sisteminin daha detaylı bir temsilinin uyarlanması ile işletim modelleri söz konusu metodolojiler ile elde edilen faydaların daha net bir değerlendirmesine yardımcı olabilir. Elde edilen gelişim yüzdelерinin (%5'ten az) sıklık optimizasyon modellerinde yapılan basitleştirmeler ile sönlendirilebileceği de vurgulanmalıdır. Bu durumda zaman çizelgeleri ve planlama bazlı atama modellerinin ilavesi, modeldeki boşlukların azaltılmasına yardımcı olabilir.

Sonuç olarak atama alt modeli toplu ulaştırma sıklık optimizasyonunda söz konusu formülasyona atama alt modeli dâhil edilmiş, bu noktada herhangi bir hattın kullanımını isteyen bütün yolcuları taşıyacak yeterli kapasite kabulü yapılmıştır. Fakat yolcuların yoğun olarak bulunduğu sistemlerde, bu her zaman doğrulanmayan bir durum olmaktan çıkmaktadır. Sistem

kapasitesi doğrudan sıklıkla ilgili hatta tamamen sıklığa bağlı bir konudur. Literatürde sıklık optimizasyonu bağlamında kapasite konusu, farklı yaklaşımlar ile ele alınmakta olup bu noktada planlılar yeterli kapasiteyi garanti altına almakta ve modeller trafik tıkanıklığı senaryosu dâhilinde yolcu davranışları ile ilgili

4. Sonuç

Kentlerin hızlı büyümesi ve büyük kent sayısının da hızla artması birçok potansiyel sorun ve imkâna kapı aralamıştır. Bu durum özellikle de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin karşılaştığı bir husustur. Yer yer gelişmemiş ülkelerde de rastlanılmaktadır. Ancak esasen sorunla mücadele noktasında en çok gündemi işgal edecek olan gelişmiş ülkeler ve bu ülkelerin büyük kentleridir. Zira süreklilik bir hareketlilik ve muhtelif unsurların bu hareketliliğinin dengelenmesi ve doğru yönetilmesi ihtiyacı söz konusudur. Öte yandan ise de özellikle pozitif unsurların doğru yöntemler ile yerinde ve zamanında tahkimi de önemlidir. Bu noktada ise etkin denetim, disiplinler arası eş güdümlü ve koordinasyon, kadro, kaynak, planlı hareket ve etkin ve yerinde doğru eylem hususları ön plana çıkmaktadır (DLR, 2014).

Günümüzde teknik gelişmeler her ne kadar konforu arttırsa ve tüketim kültürü bireysel tüketimi tetiklese de ulaşımda toplu ulaştırmanın ve ona olan talebin artmaya devam ettiği görülmektedir. Bu esasen birçok sektör, ürün, hizmet ve disiplin için de yer yer söz konusudur. Bunda kentleşmenin yüzyılın olgusuna dönüşmesinin de ciddi bir etkisi vardır. Çağın karakteri ne yöne evrilirse evrilsin, kentin kolektif yapısı ve ortaklaşma duygusunun tamamen ortadan kalkması beklenemez. Günümüzde gelişmiş ülkelerin yanında gelişmekte olan ülkeler ve hatta gelişmemiş ülkelerde dahi büyük kentlerin sayıları ve bunların nüfus ve ilgili büyüklükleri artmaktadır (Benkler, Y., 2014). Dünyada kentli (ya da kentte meskûn) nüfus oranı hiç olmadığı kadar yükselmiştir. Türkiye’de %80’lerin üzerine çıkmıştır. Her ne kadar, yeni büyükşehir yasası ile birlikte 30 ildeki köylü nüfus da doğrudan kent dâhilinde sayılsa ve kentli nüfus oranı %90'lara dayandırılrsa da henüz bu düzeylerin tam bir gerçekleşmeyi ifade etmediği kabulü daha doğru olacaktır.

Bu çerçevede kent, kentlilik, büyük kentler gibi birbirleri ile bağlantılı bir dizi husus ulaştırma konusunu hiç olmadığı kadar gündeme getirmekte ve yeni(likçi) çözümlere zorlamakta, ayrıca da toplu ulaştırmanın önemini de altını çizmektedir. Söz konusu bu durum da hâlihazırda ile yeni bir sürece işaret etmektedir. Toplu ulaşımda başat unsurlar talep ve hizmet parametreleri olarak görülebilir. Hizmet parametrelerinin en önemlilerinden birisi sıklık olup güvenilirlik, dakiklik gibi muhtevalarla da eş ve/ya denk anlamlı olarak düşünmek yer yer doğru sonuçlar verebilecektir. Zira literatürde de iç içe, eş ve tamamlayıcı anlamları ifade etmektedirler (Bardhi, F. ve Eckhardt, G. M., 2012).

Toplu ulaştırmanın hizmet parametrelerinde seviye artışı için büyük kentlerde çok sayıda toplu ulaştırma türünün işleme alınması da önemlidir. Böylelikle kentin toplu ulaştırma sisteminin toplam performansı da artacaktır. Zira bu aynı zamanda entegrasyon ile de bağlantılı bir hususu teşkil etmektedir. Farklı işletim performanslarına sahip muhtelif toplu ulaştırma türlerinin birlikte bulunması ve birbirlerine entegre edilmesi ile birlikte kentin ulaştırma ve kentleşmesine olumlu bir katkı sunulabilecektir.

Özellikle güvenilirlik adlandırmasına bakılacak olur ise ilgili toplu ulaştırma türü ve aracının daha önceden belirlenen seyrüsefer çizelgesine uyma kabiliyeti ve ilgili durakta, daha önceden belirlenen zaman ve saatte olma durumu anlaşılabilir. Bu

kabulleri içermektedir. Bu modellerin vurgulanmış olan kabulleri, toplam sistem performansı üzerinde farklı farklı etkiler göstermektedir. Bu kapsamdaki değerlendirmelerin bu noktadaki yaklaşımların karşılaştırmasına yönelmesi gerekmektedir (DLR, 2014)

da kullanıcı (yolcu) nezdindeki güveni ifade etmektedir. Güvenilirliği yüksek olan bir toplu ulaştırma hizmeti için yolcu evinde çıkma saatini toleranslı ve daha erken belirlemek durumunda kalmayacaktır. Zira varış noktasına geç varmak zaman kaybı olduğu gibi öte yandan geç kalma kaygısından dolayı toleranslı bir yolculuk zamanı hesaplaması ile kalkış noktasından daha erken hareket etmek durumunda kalıp ve sonucunda ilaveten, varış noktasına planlanandan daha erken varmak da bir zaman kaybı olacaktır. Zira varış noktasındaki randevu saatine kadar, varış noktasında geçirilen zaman da tercih edilen ve öncede planlaması yapılan bir zaman dilimi olmadığı için çoğu defa, verimsiz geçen bir zaman periyodunu ifade edecektir.

Buradan hareketle toplu ulaştırma hizmetinde ilgili hatta belirlenecek olan sefer sıklığı yetersiz olduğu takdirde istasyonlarda ve araçta yığılmalar söz konusu olacak olup yolcuların varış noktalarına tam zamanında varma ihtimalleri de azalacaktır (erken ya da geç varma durumu). İlgili hizmet ve hattı sefer sıklığı çok arttırılır ise bu kez de çoğu sefer haddinden fazla boş gerçekleştirilecek olup işletimde verim kaybı ve maddi zararlar söz konusu olacaktır. Dolayısı ile bütün bunlardan hareketle sıklığın tayin edilmesi ve optimizasyonu oldukça önemli hususları teşkil etmekte olup esasen özellikle de toplu ulaşımda hizmetin genelini ve diğer hizmet parametrelerini de doğrudan ya da dolaylı olarak etkileme potansiyeline sahip olmaktadır.

Bu bağlamda sıklık hizmet parametresi özellikle toplu ulaştırmanın hizmet kalitesinde çok önemli ve belirleyici bir karakteristik durumundadır. Toplu ulaşımda hız ve kapasitede düzey yükseldikçe, erişilebilirlik azalmaktadır. Bu parametrelerdeki artışa paralel olarak hizmet bedeli de artmaktadır. Sistemler ise metro, hafif raylı sistemler ve metrobüste görüldüğü üzere ayrı sistemler haline almaya başlamaktadır. Yine sıklık parametresinin de en çok bu ulaştırma türlerinde yüksek olduğu söylenebilir. Ancak bu söz konusu yatırımlar da her kentte fizibil değildir, hatta Türkiye’de her büyükşehirde de fizibil sonuç vermeyebilir. Ancak raylı sistemlerin genel olarak büyükşehirler için özellikle de trafik tıkanıklığı, yakıt tüketimi, sera gazı salımı, taşıma kapasitesi ve verimi gibi hususlarda Türkiye’de faydalı ve tayin edici olduğu kabulü yapılabilir (Bengler, K. vd. 2012). Öte yandan genel olarak da zaten sıklık hizmet parametresine ayrı sistemlerde daha iyi riayet edilebilmektedir (Bengler, K. vd. 2012). Bu durum özellikle de kent içi raylı sistemlerde azami ölçülere kadar ulaşabilmektedir. Raylı sistemlerin sürdürülebilirlik hedefleri bağlamında da Türkiye, Avrupa Birliği (AB) ve dünyanın birçok coğrafyasında tekrardan yaygınlık kazanması bağlamında da sıklık üzerine yapılacak ve yapılmakta olan çalışmalar, özellikle de önemli yenilikçi ulaştırma türlerinin de devreye girmesi ile birlikte daha da önem kazanacak gibi görünmektedir.

5. Teşekkür

Yahyâ Âlparıslan Kızıltaş’a teşekkür ederim.

Kaynakça

- Tzeng G., Shiau T., 1988. 'Multiple Objective Programming For Bus Operation: A Case Study For Taipei City, Transportation Research Part B 22 (3), 195-206.
- Kızıldaş M.Ç., 2014, 'Yüksek Hızlı Demiryolu Politikaları-1', Available: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=824>
- Rawls J., 1971. 'A Theory of Justice', Harvard University Press, Cambridge.
- Kızıldaş M.Ç., 2014, 'Ulaştırma Yatırımları ve Marmaray-7', Available: <http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/12/ulastirma-yatirimlari-ve-marmaray-7/>
- Ilicali M., Çatbaş N., Öngel A., Kızıldaş M.Ç., 2013. 'Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation', Hong Kong.
- Engel-Yan, J., Passmore, D., (2010). Assessing alternative approaches to setting parking requirements. ITE Journal 80, 25-30.
- Litman, T., (2012). Parking Management: Strategies, Evaluation and Planning. Victoria Transport Policy Institute http://www.vtpi.org/park_man.pdf
- Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., 2019, Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2017, Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- Kianpisheh A., Mustafa N., Limtrairut P., Keikhosrokiani P., (2012) "Smart Parking System (SPS) Architecture Using Ultrasonic Detector," International Journal of Software Engineering and Its Applications, vol. 6, no. 3, pp. 55-58.
- Rawat D.B., Popescu D.C., Yan G., Olariu S., (2011) "Enhancing vanet performance by joint adaptation of transmission power and contention window size," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 22, no. 9, pp. 1528-1535.
- Vatin N., Petrichenko M., Nemova D., Staritcyna A., Tarasova D. (2014) Renovation of educational buildings to increase energy efficiency Applied Mechanics and Materials. Vol. 633-634. Pp. 1023-1028.
- Usmanov R.A., Vatin N.I., Murgul V.A. (2014) Highly compacted and reinforced soil beds as an efficient method to build artificial foundation based on weak soils. Applied Mechanics and Materials. Vol. 680. Pp. 474-480.
- Brezzi, M., Veneri, P. (2015). Assessing polycentric urban systems in the OECD: Country, regional and metropolitan perspectives. European Planning Studies, 23(6), 1128-1145. Doi: 10.1080/09654313.2014.905005.
- Chen, C., Hall, P. (2011). The impacts of high-speed trains on British economic geography: A study of the UK's Inter City 125/225 and its effects. Journal of Transport Geography, 19(4), 689-704. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.010
- Golobič, M., Marot, N. (2011). Territorial impact assessment: Integrating territorial aspects in sectoral policies. Evaluation and program planning, 34(3), 163-173. doi:10.1016/j.evalprogplan.2011.02.009
- DLR Institut für Verkehrsforschung, BMW, Bundeswehr-Universität München, Deutsche Bahn (2014): Wirkung von E-Car-Sharing-Systemen auf Mobilität und Umwelt in urbanen Räumen. Halbzeitkonferenz, Berlin, July 3, 2014. (2014)
- Benkler, Y.: 2014, Sharing nicely: On shareable goods and the emergence of sharing as a modality of economic production. <http://christmasgorilla.net/longform/benkler-sharing-nicely.html>
- Bardhi, F.; Eckhardt, G. M., 2012: Access-based consumption: The case of Carsharing. Journal of Consumer Research, Vol. 39, S.881-898.
- Bengler K, Dietmayer K, Färber B, Maurer M, Stiller C, Winner H (2014) Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives, IEEE Intelligent Transportation System Magazine, ISSN 1939-1390, Volume 6, Issue 4, pp. 6-2



Sensörsüz Seri Elastik Tekniği ile Bir Kablo Sürümlü Düzlemsel Mekanizmanın Kontrolü

İrfan Kunduz¹, Atakan Durmaz^{2*}, Özlem Albayrak³, Tilbe Alp⁴, Perin Ünal⁵, Mustafa Mert Ankaralı⁶

¹ TEKNOPAR Endüstriyel Otomasyon, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3131-0039), kunduz@teknopar.com

^{2*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7573-2412), atakand@metu.edu.tr

³ TEKNOPAR Endüstriyel Otomasyon, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9517-3227), albayrak@teknopar.com.tr

⁴ TEKNOPAR Endüstriyel Otomasyon, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8253-023X), alp@teknopar@metu.edu.tr

⁵ TEKNOPAR Endüstriyel Otomasyon, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1357-2430), punal@teknopar.com.tr

⁶ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1235-5373), mertan@metu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 08 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1072206)

ATIF/REFERENCE: Kunduz, İ., Durmaz, A., Albayrak, Ö., Alp, T., Ünal, P., Ankaralı, M.M. (2022). Sensörsüz Seri Elastik Tekniği ile Bir Kablo Sürümlü Düzlemsel Mekanizmanın Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 324-330.

Öz

Bu çalışmada, sensörsüz elastik seri tekniği ile kablo sürümlü bir düzlemsel mekanizmanın kontrolü incelenmektedir. Kablo sürümlü robotlar, gösteri alanlarında örümcek kamera olarak yatay düzlemde çalışan şekilde hali hazırda kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada ise düşey düzlemde çalışan bir kablo sürümlü robot üzerinde çalışılmaktadır. Mekanizmanın düşey düzlemde çalışması sebebiyle de örümcek kameralardaki gibi her motora eşit kuvvet uygulanmamaktadır. Kablo sürümlü robotların kontrolü için kullanılan, sensörlerden alınan bilgilerin işlenmesine dayalı yöntemleri kullanmak yerine, sensörlerden elde edilen bilgilerde oluşabilecek herhangi bir gecikmeden veya hatadan etkilenmemek için bu çalışmada sensörsüz bir kontrol tekniği kullanılmaktadır. Sırasıyla, mekanizmanın mekanik, donanım ve yazılım kısımlarının açıklanmasının ardından, kontrol stratejimizin matematiksel olarak derinlemesine çalışılacağı modellenme ve varsayımlar sunulmaktadır. Çalışmanın sonuç bölümünde simülasyon ve gerçek çıktılar karşılaştırılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kablo sürümlü düzlemsel mekanizma, Sensörsüz elastik seri tekniği, Matematiksel model

Sensorless Series Elastic Control of a Cable-Driven Planar Mechanism

Abstract

This paper will study the control of a cable-driven planar mechanism with the sensorless elastic series technique. Cable-driven robots are used in performance areas as spider cameras operating in the horizontal plane. On the other hand, in this study, we are working on a cable-driven robot operating in the vertical plane. Since the mechanism operates in the vertical plane, unlike the spider cameras, each motor's forces are different. Different from the control methods, depending on the usage of the information obtained from the sensors used for the cable driven robots, we use a sensorless control technique not to be affected by any delay or error in the sensory information. We will explain the mechanism through mechanical, hardware, and software means. The modeling and assumptions follow these. We will study the mathematical explanation of our control strategy deeply. Then, the simulation and the actual outputs will be shown and compared.

Keywords: Cable-driven planar mechanism, Sensorless elastic series technique, Mathematical model

* Sorumlu Yazar: atakand@metu.edu.tr

1. Giriş

Kablo sürümlü robotlar, birden çok eylecinin bir uç efektörde birleştiği paralel robotların bir türüdür. Diğer paralel robotlarda katı parçaların uç efektörde buluşmasına rağmen, kablo ile çalışan robotlarda her köşede eyleciler tarafından kontrol edilen kablolar bulunmaktadır (Jin ve ark., 2013), (Pott,2004). Uç efektörüne katı eyleyiciler bağlı olan paralel robotlara kıyasla, kablolar makaraların etrafına sarılabildiği için, çalışma alanının tüm mekanizmanın alanına oranına bakıldığında kablolu robotların daha yüksek bir orana sahip olduğu ve bu yüzden de aynı görevi yerine getirmek için kablolu robotların daha uygun bir çözüm sunduğu görülebilir (Gosselin, 2014).

Hali hazırda kameramanlar veya drone'lar ile kaydedilemeyen futbol maçları, konserler ve performans sanatları gibi etkinliklerin kaydı için kablo ile çalışan robotlar, örümcek kamera olarak kullanılmaktadır. Tüm etkinliği kaydetmek için geniş açılı çekim gerektiğinden ve kapalı bir performans alanında bir grup insanın üstünde drone kullanılmasının riskinin yüksek olması da bizi kablo ile çalışan robotlar kullanmaya yöneltmektedir.

Çalışmamızda amacımız inşaat alanında kullanılması planlanan bir kablo sürümlü bir robot tasarlamak ve kontrol etmektir. Robotun, sıva uygulamak veya düz bir duvar boyamak vb. gibi çok büyük iş gücü ve zaman gerektiren görevleri yapabilmesi planlanmaktadır. Bu görevler için bir kablolu robot kullanılarak, aynı iş gücünün diğer görevleri gerçekleştirmek üzere kullanılabilmesi sağlanabilmektedir.

Kablolu robotların analizi ve kontrolü için birbirinden farklı birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, ileri kinematik denklemin çözümünde kullanılan Newton-Raphson metodudur (Zi, Duan ve Du, 2008). Bu yöntemde sonucun doğruluğu başlangıç koşullarına güçlü derecede bağlıdır. Bu yüzden doğru başlangıç koşulları elde etmek için yapay sinir ağları ile birlikte kullanılarak doğru başlangıç koşulları elde etmeyi amaçlayan çalışmalar da bulunmaktadır (Sancak, Yamaç ve İtik, 2019). Bahsedilen çalışmalarla birlikte birçok çalışmada uç efektörden farklı sensörler ya da kamera ile gerçek zamanlı olarak konum bilgisi elde edilmektedir. Hem bilgi iletimi sırasında yaşanabilecek gecikmeler hem de bu sistemlerin gerektirdiği ekstra maliyet ve bakım masrafları gibi problemler bulunmaktadır. Çalışmamızda sensörsüz bir kontrol yaklaşımı izleyerek bahsedilen problemlerin elenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla robotumuz, paralel ileri beslemeli ve geri beslemeli kontrol yöntemlerini kullanarak verilen referans güzergahını takip edebilmektedir.

Bu yazıda, oluşturduğumuz ve Şekil 1'de gösterilen bir kablo sürümlü robotun kontrolü, kinematiği ve test sonuçlarını sunuyoruz.

Bu çalışma şu şekilde düzenlenmiştir; bölüm 2.1'de çalışılmış olan sistemin mekaniksel, donanımsal ve yazılımsal altyapıları açıklanmaktadır. Bölüm 2.2'de, mekanizmanın modellenmesi, kinematiği ve dinamiği açıklanmış ve ilgili varsayımlar belirtilmiştir. Bölüm 3'te ise kullanılan kontrol yöntemi açıklanmaktadır. Bölüm 4, sonuç bölümünde ise çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Üstünde çalışılan kablo sürümlü düzlemsel mekanizma.

(Figure 1. The cable-driven planar mechanism on which we worked.)

2. Materyal ve Metot

2.1 Genel Yapı

2.1.1 Mekanik Sistem

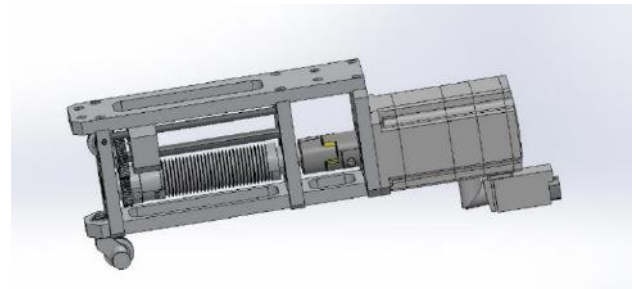
Mekanizmada ISO 10325 standardına uygun olan 3 mm çapındaki kevlar kablolar kullanılmıştır. Mekanizmanın düzeni Tablo 1'de sunulmaktadır. Bu çalışma boyunca, genel kabul olduğu üzere, orijin noktası mekanizmanın merkezi olarak tanımlanmıştır. Dişli mekanizmasının tasarımı Şekil 2'de görülebilir.

Tablo 1. Mekanizmanın yerleşimi.

(Table 1. The layout of the mechanism.)

Kısım	1.Köşe	2.Köşe	3.Köşe	4.Köşe
Gövde	(1.05,0.58)	(-1.05,0.58)	(-1.05,-0.58)	(1.05,-0.58)
Uç efektör	(0.08,0.095)	(-0.08,0.095)	(-0.08,-0.095)	(0.08,-0.095)

Kabloların döndürüldüğü çembere ait olan dişlinin yarıçapı, 0.0195 m'dir. Ayrıca kabloların yarıçapının 1.5 mm ve dişliler üzerindeki boşlukların da 1.6 mm olması, kabloları aşınmaya karşı korumaktadır. İlk testlerde çekme kuvvetine bağlı olarak radyal yönde oluşan sıkışma kuvvetinden dolayı 2 mm yarıçaplı kablolar ile ihmal edilebilir sıkıştırma etkisine sahip olabilmek için deneylere başlanmıştır. Ancak kablolardaki aşınma nedeniyle oluşabilecek güvenlik sorunları göz önüne alınarak kablo yarıçapı 1,5 mm olarak değiştirilmiştir. Yöntemimiz kablolardaki sıkıştırma kuvvetini hesaba kattığından bu değişikliğin sonuçları etkilemeyeceği öngörülmüştür.



Şekil 2. Dişli mekanizmasının tasarımı.

(Figure 2. Design of the gear mechanism.)

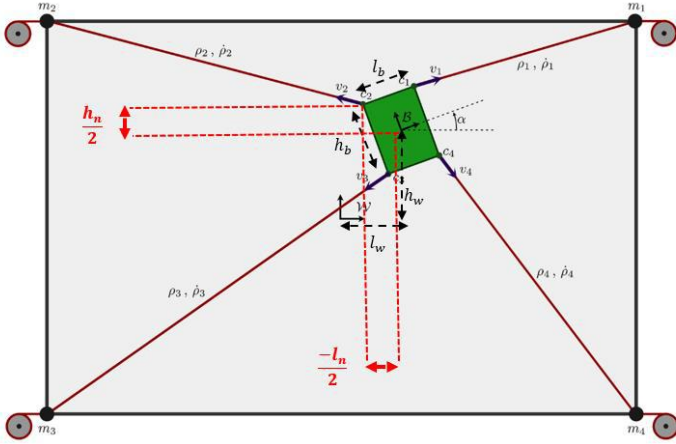
2.1.2 Donanım Altyapısı

Mekanizmayı kontrol etmek için Siemens Simotion D445-2'ye bağlı sekiz adet Siemens 1fk7042-2af71-1qa0 servo motor kullanılmıştır. Mekanizmada altıdan fazla motorumuz olduğu için arka taraftaki dört servo motor için Siemens S120 sürücüsü kullanılmıştır. Ön ve arka motorları Siemens Simotion D445-2 ile Siemens S120 sürücüsü arasında bölmemiz, aynı düzlemde bulunan motorlar arasında yaşanabilecek herhangi bir gecikmeyi önlemek amacıyla yapılmıştır. Öte yandan ön ve arka düzlemler arasında ihmal edilebilir bir gecikme olduğu gözlemlenmiş, ancak bu durumun hedeflediğimiz sonuçlar üzerinde herhangi bir etki yarattığı gözlemlenmemiştir.

2.1.3 Yazılım Altyapısı

Programlama için Siemens Simotion Scout v5.1 IDE'si ve kullandığımız tüm görevleri yerine getirebilen ST (Structured Text) programlama dili kullanılmıştır.

2.2 Modelleme ve Varsayımlar



Şekil 3. Kablo sürümlü düzlemsel mekanizmanın çizimi.
(Figure 3. Illustration of the cable-driven planar mechanism.)

Bu bölümde, seri kablolu düzlemsel mekanizmanın modellenmesi, kinematiği, dinamiği ve ilişkili basitleştirmeler ve varsayımlar açıklanmıştır.

Şekil 3'te görülen model, I (eylemsizlik momenti), m (kütle), l_b (B koordinat sistemine göre, uç efektörün genişliği) ve h_b (B koordinat sistemine göre, uç efektörün yüksekliği) parametrelerine sahip esnemeyen bir gövdeyi göstermektedir. Gövdenin köşelerine dört adet elastik kablo bağlanmıştır. Gövdenin pozisyon ve oryantasyonu, gövdeyi sabit kabul ederek eylemsizlik gösteren dünyaya bağlı tanımlanmış bir W koordinat sistemine göre tanımlanmış olan B koordinat sisteminde gösterilmektedir. B koordinat sistemi, çalışma alanının merkezine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda W koordinat düzlemindeki (l_w (W koordinat sistemine göre B koordinat sisteminin orijinin yatay bileşeninin uzunluğu), h_w (W koordinat sistemine göre B koordinat sisteminin orijinin düşey bileşeninin uzunluğu)) noktası, B koordinat düzleminin orijini olacak şekilde B koordinat sistemi tanımlanmıştır. Gövdenin Kartezyen koordinatlardaki pozisyon ve oryantasyonunu yani W'ya bağlı olarak tanımlanmış olan B'yi sırasıyla ${}^W P_B = [x_B \ y_B]^T$ ve α ile gösteriyoruz. Bu

bağlamda, W ve B arasındaki bazı kinematik rotasyonları modelleyebilmek için rotasyon matrisini ${}^W R_B$ ve türevini de $D_\alpha({}^W R_B)$ ile tanımlayabiliriz;

$${}^W R_B(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$D_\alpha[{}^W R_B(\alpha)] = \begin{bmatrix} -\sin\alpha & \cos\alpha \\ \cos\alpha & -\sin\alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

Şekil 3'te görüldüğü gibi uç efektörün köşelerinin konumları, B' ye göre aşağıdaki denklem 3'te görüldüğü şekilde ifade edilebilmektedir;

$${}^B P_{c_1} = \begin{bmatrix} \frac{l_n}{2} \\ \frac{h_n}{2} \end{bmatrix}, \quad {}^B P_{c_2} = \begin{bmatrix} -\frac{l_n}{2} \\ \frac{h_n}{2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$${}^B P_{c_3} = \begin{bmatrix} -\frac{l_n}{2} \\ -\frac{h_n}{2} \end{bmatrix} \quad \& \quad {}^B P_{c_4} = \begin{bmatrix} \frac{l_n}{2} \\ -\frac{h_n}{2} \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki ifade, denklem 4'teki esnemeyen kabul edilen uç efektör dönüşümünün, her köşenin koordinatlarını, her köşenin W referans düzlemine göre i ile gösterildiği şekilde hesapladığı durumda geçerlidir;

$${}^W P_{c_i} = {}^W R_B(\alpha) {}^B P_{c_i} + {}^W P_B \quad (4)$$

Ayrıca W referans düzlemine göre tanımlanmış olan uç efektör hızlarını, köşeler üzerine eşleştiren kinematik dönüşümü de üretmemiz gerekmektedir. Hem uç efektörün ötelenme hızı ${}^W \dot{P}_B$ hem de dönme hızı olan $\dot{\alpha}$, köşelerin hızlarını etkilemektedir. Her i köşesi için yapılmış olan aşağıdaki denklem 5'teki dönüşüm bahsedilen eşleştirmeyi gerçekleştirmektedir.

$${}^W \dot{P}_{c_i} = D_\alpha[{}^W R_B(\alpha)] {}^B P_{c_i} \dot{\alpha} + {}^W \dot{P}_B \quad (5)$$

Mekanizmanın kontrol ve sürüşü, çalışma alanının köşelerine yerleştirilmiş olan dört motor sayesinde gerçekleşmektedir. Motor sürücülerin pozisyonları W referans düzlemine göre denklem 6'da görülen şekilde ifade edilebilmektedir;

$${}^W P_{m_1} = \begin{bmatrix} \frac{l_w}{2} \\ \frac{h_w}{2} \end{bmatrix}, \quad {}^W P_{m_2} = \begin{bmatrix} -\frac{l_w}{2} \\ \frac{h_w}{2} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$${}^W P_{m_3} = \begin{bmatrix} -\frac{l_w}{2} \\ -\frac{h_w}{2} \end{bmatrix} \quad \& \quad {}^W P_{m_4} = \begin{bmatrix} \frac{l_w}{2} \\ -\frac{h_w}{2} \end{bmatrix}$$

Dinamik hareket denklemlerini üretmek ve kontrol algoritmasını geliştirebilmek için kablo uzunlukları ve kablo uzunluklarının değişim hızlarının da bilinmesi gerekmektedir, başka bir deyişle, her bağlantı için p_i & p_i değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Her bir kablonun uzunluğu aşağıda denklem 7'de belirtildiği şekilde hesaplanabilmektedir;

$$p_i = \| {}^W P_{m_i} - {}^W P_{c_i} \|_2 \quad (7)$$

Kablo uzunluklarının değişim hızlarını hesaplamak ve Jacobean matrisi üretmek için öncelikle her kablo tarafından

uygulanan kuvvetlerin yönlerini gösteren $v_i, i \in \{1,2,3,4\}$ birim vektörlerini 8. denklemdaki şekilde bulmalıyız;

$$v_i = \frac{{}^w P_{m_i} - {}^w P_{c_i}}{p_i} \quad (8)$$

Bu vektörleri Şekil 3'te koyu mavi oklar ile gösteriyoruz. Bu vektörlere bağlı olarak basit iç çarpımlarının iz düşümü bize tek bir kablonun, kablo uzunluğunun değişim hızını vermektedir:

$$\dot{p}_i = -\langle v_i, {}^w P_{c_i} \rangle = -v_i^T {}^w \dot{P}_{c_i} \quad (9)$$

Daha önce bahsedildiği üzere kablolar sadece gerilme kuvveti uygulayabilmektedirler. Bu yüzden i kablosu tarafından uç efektör üzerindeki kuvvet vektörü aşağıdaki denklem 10'daki şekilde gösterilebilmektedir.

$$F_i = f_i v_i, \quad f_i \in \mathbb{R}^+ \quad (10)$$

Bu bağlamda, sistemin öteleme ve dönme dinamikleri denklem 11 ve 12'deki şekilde türetilmektedir;

$$m {}^w \ddot{P}_B = \sum_{i=1}^4 f_i v_i + \begin{bmatrix} 0 \\ -mg \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$I \ddot{\alpha} = \sum_{i=1}^4 [{}^w R_B(\alpha) {}^w P_{c_i}] X v_i f_i \quad (12)$$

Ayrıca dinamik hesaplamaları, Jacobean matrisi oluşturarak matrisler şeklinde tekrar yazılabilir;

$$\begin{bmatrix} m {}^w \ddot{P}_B \\ I \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & v_i & \dots \\ \dots & [{}^w R_B(\alpha) {}^w P_{c_i}] X v_i & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -mg \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} m {}^w \ddot{P}_B \\ I \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = Jf + \begin{bmatrix} 0 \\ -mg \\ 0 \end{bmatrix}$$

Daha önce belirtildiği üzere motorlar, sistemi bir dizi elastik sistem içinde sürmektedir. Bu bağlamda, motorlar kabloların geride kalan uzunluklarını ve onların değişim hızlarını değiştirerek kabloları, çalışma alanının köşelerinden çekerler. Bu çerçevede, her motor kendi dinamikleri çerçevesinde iki çıktı üretmektedir, p_{o_i} ve \dot{p}_{o_i} (geride kalan kablo uzunluğu ve değişim hızı). Bu çıktıları da plant dinamiklerine iletir.

Dikkat edilmelidir ki kabloların sıkıştırma kuvveti uygulamaları mümkün değildir. Bu yüzden eğer kablolar üzerindeki hesaplanan efektif kuvvetler negatif çıkarsa (sıkıştırma kuvveti uygulamaya başlanması demektir) 13. denklemdaki minimum ifadesi, f_i değeri 0 yapılmalıdır.

Ayrıca motorların yüksek ama sınırlı bir bant genişliği olan hareket kontrolcülerini ile kontrol edildiğini varsayıyoruz, öyle ki motorlar $\dot{p}_{o_i}^*(t)$ ile gösterilen referans hız sinyali takip edebilmektedirler.

2.3. Kontrol Yöntemi

Projemizde uç efektörden doğrudan ölçüm almamızın mümkün olmayacağını varsayarak yola çıktık. Bu yüzden “sensörsüz” kontrol terimini, izlediğimiz yöntem olarak tanımlayabiliriz. Kablo sürümlü sistemlerde uç efektörden geri dönüt almanın en yaygın yöntemi (genellikle pahalı yöntemi) dışarıdan sistemi takip ederek uç efektörün anlık parametrelerini (konum ve hız) görüntü temelli bir ölçüm/tahmin yöntemi ile gerçek zamanlı olarak belirlemektir. Bir diğer yaklaşım ise uç efektörün üzerinde bazı ekipman ve sensörler (doğrusal enkoderler, IMU sensörleri) kullanmak ve yüzey kontrol istasyonu ile uç efektörü kablosuz iletişim protokolleri kullanarak haberleştirmektir. Yukarıda bahsedilen her iki yöntemin en belirgin dezavantajı ekstra maliyetli olmasıdır. Bu maliyet, örnek alma sıklığı ve iletişim sırasındaki gecikmeler proje için kritik ve önemli gereklilik unsurları ise tasarım aşamasında önem arz etmektedirler. Bir diğer yandan da ekstra ölçüm ve donanım kullanılması tasarım, üretim ve bakım süreçlerinin de zorluğunu arttırmaktadır.

Sensörsüz bir kontrol yöntemi izleyerek teknik açıdan yukarıda bahsedilen problemleri eleyp, kontrol açısından problemi daha zor bir hale getirmekteyiz. Bu çalışmada paralel ileri beslemeli ve geri beslemeli kontrol yöntemlerini kullanarak verilen referans güzergahını takip edebilmekteyiz.

2.3.1 İleri Beslemeli Hız Kontrolü

İleri beslemeli/ açık döngülü bir kontrol yöntemi geliştirmek için bazı varsayımlarda bulduk ve tamamen kinematik temelli bir kontrolcü tasarladık. Her şeyden önce, motor kontrol dinamiklerinden kaynaklanan gecikmeler yok sayıldı ve $\dot{p}_i(t) \approx \dot{p}_{o_i}(t)^*$ şeklinde kabul edildi, $\dot{p}_{o_i}(t)$ kablo uzunluğunun gerçek zamanlı değişim hızını göstermektedir ve $\dot{p}_{o_i}(t)^*$ ise kontrolcümüz tarafından üretilen kontrol girdisini göstermektedir. Ayrıca bu aşamada, kablodaki esnekliği ihmal ettik yani kabloları neredeyse esnemeyen katı bir malzeme gibi varsaydık. Bu varsayımlar ışığında 14. denklemdaki koşul elde edilmektedir;

$$\dot{p}_i(t) \approx \dot{p}_{o_i}(t) \approx \dot{p}_{o_i}^*(t) \quad (14)$$

Teknik olarak motor hızlarının doğrudan / kinematikselsel olarak kablo uzunluğunun değişim hızını kontrol edebileceğini varsaydık. Bu varsayımdan sonra uç efektörün referans güzergahına bağlı olarak tanımlanan koordinat sistemi üzerinden gerekli kablo uzunluklarını hesaplayarak kinematik hareket kontrolcüsünü oluşturabiliriz. Varsayalım ki ${}^w P_B^*(t)$ türevlenebilir ve sürekli bir referans güzergahı olsun ve ${}^w P_B^*(0) = {}^w P_B(t)$. Zamana bağlı güzergahtaki uç efektörün hızını takip edebilmek için, 15. denklemdaki şartın sağlanması gerekmektedir;

$${}^w \dot{P}_B(t) = \frac{d}{dt} [{}^w P_B^*(t)], \quad \forall t \quad (15)$$

Dikkat edilmelidir ki çalışmamızda uç efektörün orijinal oryantasyonunu her zaman korumasını istemekteyiz yani;

$$\alpha^*(t) = 0 \text{ \& } \dot{\alpha}^*(t) = 0, \quad \forall t \quad (16)$$

Anlık olarak kablo hızları üzerinde doğrudan kontrolümüz olduğunu varsaydığımız için sadece gerekli motor hızlarını hesaplıyoruz, başka bir deyişle $\dot{p}_i(t)$ parametresi, uç efektörün

istenen hız değişkenlerine doğrudan bağlıdır. ${}^W P_B^*(t)$ ve $\dot{\alpha}^*(t)$, 2.2. bölümde türetilen kinematik hesaplarını kullanmaktadır. Ayrıca uç efektörün hız parametrelerini kablo uzunluğunun değişim hızına çevirmek için, 13. denklemden türetilmiş olan Jacobean matrislerini, kablolar üzerindeki kuvvetleri uç efektörün üzerindeki kuvvetler üzerine iz düşümünü alırken kullanıyoruz. Bu bağlamda, ilgili ileri besleme kontrol girdilerini 17. denklemden görüldüğü şekilde hesaplayabiliriz;

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{o_1}^*(t) \\ \dot{p}_{o_2}^*(t) \\ \dot{p}_{o_3}^*(t) \\ \dot{p}_{o_4}^*(t) \end{bmatrix} = -J^T * \begin{bmatrix} {}^W \dot{P}_B^*(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

17. denklemden eksi işaretinin sebebi, kablo uzunluklarının kısalmasına sebep olan gerilme kuvvetini pozitif olarak kabul etmemizdir. İleri beslemeli kontrolcü, kontrol girdilerinden oluşan matrisi bir sonraki kontrol yöntemine iletir.

2.3.2 Geri Beslemeli Tork Kontrolü

Algoritmanın ileri beslemeli hız kontrol kısmının temelini oluşturmak için başlangıç seviyesinde bazı varsayımlarda bulunduk. Özellikle, hem motor dinamiğindeki düşük geçirimsizlik filtresi ve kablolarındaki esnekliği ihmal ettik. Halbuki, diğer olası dinamik belirsizlikler ve etkileri ile birlikte bu varsayımlar, istenen ve gerçekleşen uç efektör güzergahları arasında bazı farklılıklara yol açmaktadır. Açıkça görülebileceği üzere bu sapmaları düzeltecek şekilde bazı geri beslemeli kontrol temelli düzeltmelerin kullanılması gerekmektedir. Normal şartlarda, en bariz çözüm yolu çıktılarından (uç efektörün pozisyon ve hızı) geri bildirim alınmasıdır. Buna karşın uygulamamızda uç efektörden doğrudan bir ölçüm almamaktayız, ki bu yüzden de yaklaşımımızı “sensörsüz” olarak adlandırıyoruz.

Her ne kadar kabloları seri elastik hız kontrol yaklaşımına dayanarak kontrol etsek de hala kablolar üzerindeki kuvvetleri, her bir motor üzerindeki akım ve tork değerlerini ölçerek elde edebiliriz. Bu ölçümlere dayanarak geri beslemeli bir kontrol uygulayabilmek için elde ettiğimiz bu değerler ile bazı referans/istenilen kuvvet değerlerini karşılaştırmamız gerekmektedir. Bahsedilen referans güzergahlarını iki koşula bağlı olarak hesaplamaktayız. İlk olarak referans kuvvet vektörünün, uç efektör üzerindeki statik dengeyi sağladığından emin olmalıyız. Bu yüzden, verilen t zamanında referans kuvvet vektörü 18. denkleminde sağlanmalıdır;

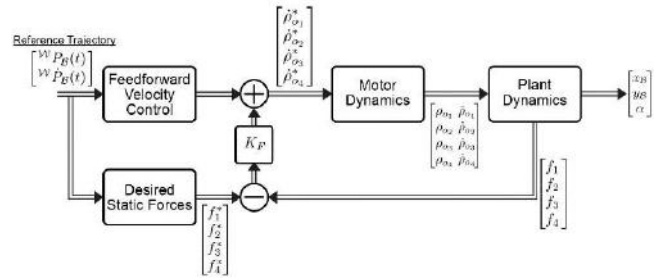
$$\begin{bmatrix} 0 \\ mg \\ 0 \end{bmatrix} = J^* f^* \quad , f^* \in \mathbb{R}^4 \quad (18)$$

J^* 'yi hesaplamak için referans güzergahın kullanılması gerekmektedir. $f^* \in \mathbb{R}^4$ olduğu için 18. denklemin dört farklı serbestlik derecesi içermektedir, ancak sağlanması gereken üç eşitlik bulunmaktadır. Bu yüzden fazla tanımlı bir doğrusal problem oluşmakta ve bu denklem sistemi sonsuz sayıda çözüme sahip olmaktadır. Kablolar sadece gerilme kuvveti uygulayabildikleri için (pozitif kuvvet), hesaplanan kuvvet değerlerinin pozitif olduğundan emin olmak için fazladan serbestlik ölçüsüne ihtiyaç duymaktayız. Ayrıca, pratik olarak kablo sürümlü sistemlerde, kablolar üzerindeki kuvvetlerin minimum bir eşik değerden her zaman fazla olması tercih

edilmektedir. Bu bağlamda 19. denklemindeki doğrusal şartın sağlanması gerekmektedir;

$$\min \{f_1^*, f_2^*, f_3^*, f_4^*\} \geq f_{min} > 0 \quad (19)$$

19. denklemindeki şart, eldeki denklemin doğrusal bir programlama problemine dönüştürmektedir ki bunu da standart optimizasyon yöntemleri ile çözebilemekteyiz. Daha sonra algoritmamız istenen ve ölçülen değerler arasındaki hatayı hesaplamaktadır yani $e_f = f^* - f$, hatayı skalar bir katsayı olan K_f (P kontrol değeri) ile çarpıp geri beslemeye gelen düzeltme etkisini toplama bloğuna iletmektedir. Toplama bloğu, ileri besleme ve geri besleme kontrolcülerinden gelen çıktıları toplayarak motor hareketlerine iletir. Şekil 4'te tüm sistemin blok diyagramı görülebilmektedir.



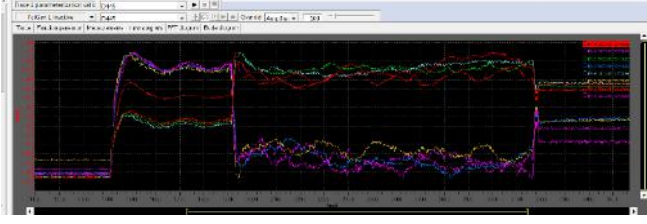
Şekil 4. Tüm sistemin blok diyagramı.

(Figure 4. Block diagram structure of the whole system.)

3. Sonuçlar ve Tartışma

Deneyler sırasında hataları en aza indirmeyi ve uç efektör kontrolünü optimize etmeyi amaçladık. Uç efektör daha uzun mesafeler hareket ettikçe, hatalarda bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ancak hatalar her zaman %10'un altında kalıyor ki bu da inşaat alanındaki uygulamalar için kabul edilebilir düzeydedir. Ayrıca güvenli koşullarda çalışmamız gerektiğinden kabloları maksimum 1000 N çekme kuvveti altında güvenle çalışabilecek şekilde seçtik ve bazı gerilim kuvveti limitlerini aşmayacak şekilde motorlarımızı maksimum 10 Nm tork değerlerinde sınırladık. Bu sınırlamalar, x ekseninde -40 cm'den +40 cm'ye, y ekseninde ise -30 cm'den +30 cm'ye uzanan alanda güvenle çalışmamızı sağladı.

Tüm deneylerimizde (0.0 m, 0.0 m) noktasından başlayıp istenilen noktalara (x_d, y_d) şeklinde hareket ettik. Burada (0.25 m, 0.0 m) noktasına gitmeyi hedefleyen bir deneyin sonuçlarını görebilirsiniz. Şekil 5'te görebileceğiniz gibi, deneyde tork değerlerinin maksimum büyüklüğü 2.6 Nm'dir ve daha önce açıkladığımız gibi güvenli koşullar altındadır. Şekil 6'da görebileceğiniz gibi, 8 adet motor vardır ve 4 motorlu gruplar halinde temelde 2 şekilde davranmaktadırlar. Pozitif x eksenine doğru hareket ettiğimiz için her düzlemde 1 ve 4 numaralı motorlar olan 4 motor tork değerlerini maksimum 2.6 Nm'ye çıkararak tepki verdiler. Diğer 4 motor ise daha küçük bir değerde zirveye sahipti. Şekil 6'daki y eksenindeki eksi işareti sadece saat yönünün ve saat yönünün tersini temsil etmektedir, bu nedenle işaretli değerler yerine sadece büyüklüklere odaklanıyoruz.

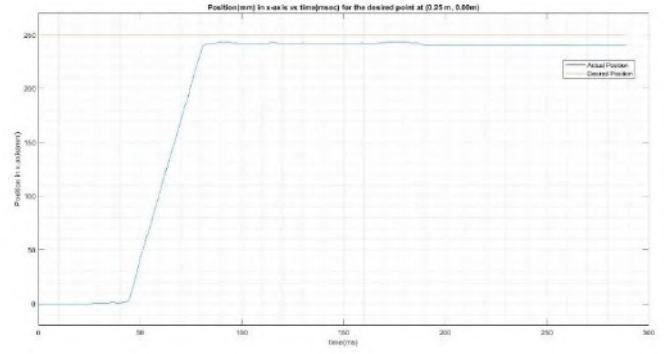


Şekil 5. Her motor üzerindeki ölçülen tork değerleri.

(Figure 5. Actual torque values on each motor.)

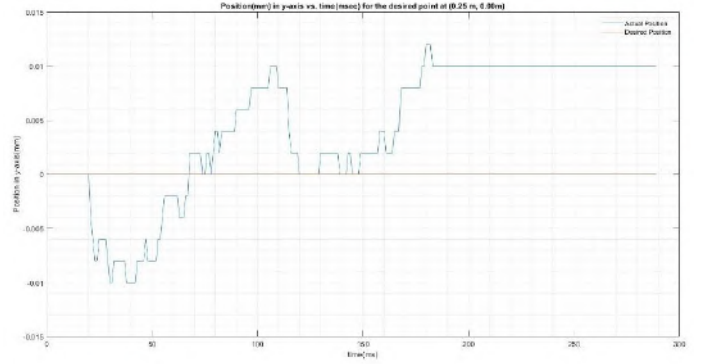
Ayrıca, bu deneyin sonucu, sırasıyla Şekil 6 ve 7'de sırasıyla x ve y eksenlerindeki gerçek konumlar olarak görülebilir. Şekil 6 ve 7'de görünen gerçek konum değerleri, mekanizmanın karşına yerleştirilen ve sadece ölçüm alma amaçlı olarak kullanılan bir kamera ile OpenCV kütüphanesi ve filtreleme teknikleri kullanılarak elde edilmiştir (Diniz, 1997), (Humphrey ve Jolicoeur, 1993), (Bradski ve Kaehler, 2008) ve (Huang, Pedoeem ve Chen, 2018). Bu örnek için gözlemimize göre sonuç (0.24 m, 0.01 m) idi. Kontrol edebileceğiniz gibi, x eksenindeki hata yüzde 4'tür, bu da daha önce söylediğimiz gibi yüzde 10'un altındadır. Öte yandan y ekseninde 0.01 m'lik bir hata vardır, bu hata, ölçüm cihazımızın 0.01 m olarak belirtilen hata payı içinde olup ve mm seviyesinde olduğu için bu anlamda pratik olarak önemsizdir.

Bu araştırmada kablo ile çalışan bir robotun kontrolü üzerinde çalıştık ve robotun kontrolünü optimize ederek hataları en aza indirmeye çalıştık. Öte yandan mevcut halihazırdaki kablo sürümlü düzlemsel mekanizmalarda sahada dört motor yerine sekiz motor ile yapılan kablo sürümlü düzlemsel bir mekanizma üzerinde çalışıp, daha iyi bir kontrol stratejisi ve bu anlamda daha az hata elde ettik. Khosravi ve Taghirad tarafından yürütülmüş çalışmanın sonuçlarına bakılacak olursa (Khosravi ve Taghirad, 2014), temelde x ve y eksenlerindeki gerçek konumlarla ilgili rakamların karşılaştırılması ile çözümümüzün etkilerinin gözlemlenmesi mümkün olacaktır. Şekil 6 ve 7, dört motorlu sistemlere ve diğer kontrol stratejilerine kıyasla her defasında hedefi aşırmanın önüne geçip aynı zamanda hata aralığının %10'dan daha az olmasını sağlayarak çözümümüzün nasıl çalıştığını açık bir şekilde örneklemektedir. Son olarak, sistem birçok kez istenen farklı noktalarda test edilmiş ve tüm sonuçlar burada bildirilen sonuçlarla uyumludur ki bu da önerilen çözümün verimliliğini göstermektedir.



Şekil 6. (0.25 m, 0.00m) hedef noktası için x-eksenindeki pozisyon(mm) vs. zaman(ms).

(Figure 6. Position(mm) in x-axis vs time(msec) for the desired point at (0.25 m, 0.00m).)



Şekil 7. (0.25 m, 0.00m) hedef noktası için y-eksenindeki pozisyon(mm) vs. zaman(ms).

(Figure 7. Position(mm) in y-axis vs. time(msec) for the desired point at (0.25 m, 0.00m).)

Kaynakça

- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. " O'Reilly Media, Inc."
- Diniz, P. S. (1997). *Adaptive filtering* (Vol. 4). Berlin, Germany:: Springer.
- Gosselin, C. (2014). Cable-driven parallel mechanisms: state of the art and perspectives. *Mechanical Engineering Reviews*, 1(1), DSM0004-DSM0004.
- Huang, R., Pedoeem, J., & Chen, C. (2018, December). YOLO-LITE: a real-time object detection algorithm optimized for non-GPU computers. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 2503-2510). IEEE.
- Humphrey, G. K., & Jolicoeur, P. (1993). An examination of the effects of axis foreshortening, monocular depth cues, and visual field on object identification. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 46(1), 137-159.
- Jin, X., Jun, D. I., Pott, A., Park, S., Park, J. O., & Ko, S. Y. (2013). Four-cable-driven parallel

- robot. *제어로봇시스템학회 국제학술대회 논문집*, 879- 883.
- Khosravi, M. A., & Taghirad, H. D. (2014). Robust PID control of fully-constrained cable driven parallel robots. *Mechatronics*, 24(2), 87-97.
- Pott, A. (2010). An algorithm for real-time forward kinematics of cable-driven parallel robots. In *Advances in Robot Kinematics: Motion in man and machine* (pp. 529-538). Springer, Dordrecht.
- Sancak, C., Yamaç, F., & Mehmet, İ. T. İ. K. Kablo ile sürülen düzlemsel paralel bir robotun ileri kinematik çözümü ve kontrolü. *Konya mühendislik bilimleri dergisi*, 7, 862-874.
- Zi, B., Duan, B. Y., Du, J. L., & Bao, H. (2008). Dynamic modeling and active control of a cable-suspended parallel robot. *Mechatronics*, 18(1), 1-12.



Laktasyonun İlk Üç Ayında Annelerin Süt Vermelerinin, Beslenme ve Fiziksel Aktivitelerinin Beden Kütle İndeksi Üzerine Etkileri

Merve Kahraman^{1*}, Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu²

^{1*} Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9954-8775), dytmervekahraman@gmail.com

² Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462), sabiha.koseoglu@izu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115655)

ATIF/REFERENCE: Merve, K. & Köseoğlu, S. Z. A. (2022). Laktasyonun İlk Üç Ayında Annelerin Süt Vermelerinin, Beslenme ve Fiziksel Aktivitelerinin Beden Kütle İndeksi Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 331-335.

Öz

Laktasyon gebelik boyunca üretilen hormonlarla birlikte meme bezlerinin gelişip olgunlaştığı ve sütün salgılandığı emzilik dönemi. Emzirme bebek ve anne açısından çok faydalar getiren önemli bir süreçtir. Anne emzirmeye devam ettikçe beraberinde beslenmesine dikkat edip, egzersiz de yaptığı sürece ağırlık kaybıyla birlikte beden kütle indeksinde (BKİ) azalma görülür. Bu çalışmada annelerin emzirme, beslenme ve fiziksel aktivite durumlarının incelenmesi amaçlandı. Çalışmaya laktasyon döneminin üçüncü ayında olan 26 kadın alındı ve çalışma pandemiden dolayı online olarak analiz edildi. Emzirme süresi ile BKİ değerleri arasındaki korelasyon incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı sonuç bulunmadı ($p>0.05$). Ancak emzirme sıklığının BKİ'ye etkisinin yönü incelendiğinde; istatistiksel olarak anlamlı sonuç bulundu ($p<0.05$). Günlük öğün sayısının doğumdan üç ay sonraki BKİ ile BKİ değişimleri arasındaki ilişkiye bakıldığında anlamlı bir sonuç bulunamazken ($p>0.05$) aynı dönemde ara öğünde kuru meyve tüketim sıklığı ile doğumdan üç ay sonraki BKİ arasında negatif yönlü orta şiddette korelasyon gözlemlendi. Doğumdan üç ay sonraki BKİ değeri ile egzersiz sıklığı analiz edildiğinde p değerinde sınırda anlamlılık ($0.05<p<0.10$) görüldü ve istatistiksel olarak anlamlılık eğiliminde negatif yönlü orta şiddetli korelasyon (-0.644) bulundu. Laktasyonun, annenin beslenmesinin ve fiziksel aktivitesinin annenin obezite riski üzerine etkisiyle ilgili yapılan bu çalışma, az popülasyonda ve belirli bölgede yapıldığından daha yeni çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Beden Kütle İndeksi, Beslenme, Fiziksel Aktivite, Laktasyon.

In the First Trimester of Lactation The Effects of Mothers' Breastfeeding, Nutrition and Physical Activities on Body Mass Index

Abstract

Lactation is the breastfeeding period in which the mammary glands develop and mature and milk is secreted together with the hormones produced during pregnancy. Breastfeeding is an important process that brings many benefits for the baby and mother. As the mother continues to breastfeed, as long as she pays attention to her nutrition and exercises, a decrease in body mass index (BMI) is observed with weight loss. In this study, it was aimed to examine the breastfeeding, nutrition and physical activity status of mothers. 26 women in the third month of lactation were included in the study and the study was analyzed online due to the pandemic. When the correlation between breastfeeding duration and BMI values was examined, no statistically significant results were found ($p>0.05$). However, when the direction of the effect of breastfeeding frequency on BMI is examined; statistically significant results were found ($p<0.05$). While the relationship between the number of daily meals and BMI changes three months after birth was examined, no significant result was found ($p>0.05$), a negative moderate correlation was observed between the frequency of consumption of dried fruit in snacks and BMI three months after birth in the same period. When the BMI value three months after birth and the frequency of exercise were analyzed, the p value was borderline significant ($0.05<p<0.10$), and a negative moderate correlation (-0.644) was found in the statistical significance trend. Since this study on the effect of lactation, maternal nutrition and physical activity on maternal obesity risk was conducted in a small population and in a certain region, more recent studies are needed.

Keywords: Body Mass Index, Lactation, Nutrition, Physical Activity.

* Sorumlu Yazar: Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9954-8775, dytmervekahraman@gmail.com

1. Giriş

Laktasyon, gebelik boyunca salgılanan hormonlar ve meme dokusunda meydana gelen değişikliklerle birlikte meme bezlerinin gelişip olgunlaştığı, sütün sentezlendiği ve salgılandığı biyokimyasal ve nöroendokrin süreçtir (1,2). Bu dönem kadın yaşamındaki en önemli doğal fizyolojik olaylardan biri olup emzirme hem bu dönemde hem de ileriki yaşamında sayılamayacak kadar çok faydası olan bir süreçtir. Postpartum uterus kanamalarının, laktasyonel amenorenin, doğum sonrası depresyonun, meme/over/endometrium kanserinin, diabetes mellitusun, osteoporozun, romatoid artrit, kardiyovasküler, alzheimer ve multipl skleroz gibi birçok hastalığın riskinin azalmasında yardımcı olurken ağırlık kaybında ve BKİ’de de düşüşe yol açmaktadır (2,3,4,5). Laktasyon döneminde anne emzirmeye devam ettikçe beraberinde ağırlık kaybı da görülmekte olup, süt üretimi annenin depolarından ve diyetinden karşılandığı için annenin enerji harcaması günlük ortalama olarak 500 kcal artarak, bu dönemin ilk ayından itibaren ayda 0.5-1.0 kg kaybedilmesi beklenmektedir. Gebelik süresince önerilenden fazla ağırlık artışı olması ve gebeliğe fazla kilolu/obez olarak başlanması laktasyon döneminde ideal BKİ’ye geri dönüşü zorlaştırmaktadır. Gebelik süresince ortalama 12 kg ağırlık kazanan ve 6 ay boyunca bebeğini sadece anne sütü ile besleyen kadınların gebelik öncesi BKİ’ye dönüşlerinin daha kolay olduğu bildirilmiştir (1,6,7,8).

Annenin beslenme gereksinimi süt üretimini sürdürmek ve maternal enerji dengesini korumak için önemli ölçüde artmaktadır. Süt üretimi için gerekli olan enerji ihtiyacının bir kısmı gebelik döneminde depolanan vücut yağlarından karşılandığı için laktasyonda yetersiz beslenme annenin besin öğeleri bakımından yetersiz kalmalarına sebep olmaktadır. Anne bu dönemde yeterli ve dengeli beslenmeli, besleyici ve kompleks karbonhidratlı besinleri tercih etmelidir. Aksi durumda aşırı enerji alımı, yüksek glisemik indeksli ve basit karbonhidratlı besinlerin tüketimi vücut ağırlığının ve BKİ’nin artmasına yol açmaktadır (1,6,9). Laktasyonda tahminen günde üretilen anne sütü ortalama 780 mL (450-1200 mL)’dir ve her 100 mL süt için vücut 67 kcal enerji harcamaktadır. Laktasyon boyunca annenin süt üretimi için günlük 670 kcal ek enerjiye ihtiyacı vardır. Bu gereksinimin 170 kcal’ si vücut depolarından sağlanırken geriye kalan 500 kcal’ si beslenmeye ek olarak alınmalıdır (6,8,10). TÜBER’ e göre emzikli kadınların gün içerisinde aldığı enerjinin %45-60’ ı karbonhidrat gelmeli ve 210 gramdan az karbonhidrat almamalı, %20-35’ i ise yağdan alınmalıdır. Protein ise normal ihtiyaca ilave olarak ilk altı ay 19 gram sonrasında 13 gram olarak alınmalıdır. Mikro besin öğelerinden de yağda çözünen A, D ve K vitaminleri ile suda çözünen C, tiamin, riboflavin, B6 ve B12 vitaminleri anne sütüne geçtiği için gerektiği durumda maternal diyet bu besin öğelerince desteklenmelidir. Folat, kalsiyum, demir, bakır, çinko gibi diğer mikro besinlerin anne sütündeki konsantrasyonları maternal diyetten pek etkilenmemektedir (1,11,12,13).

Amerikan Jinekoloji ve Obstetrik Derneği’ne göre emziren kadınlarda düzenli aerobik egzersizin süt üretimini, bileşimini veya bebek büyümesini etkilemeden, annenin kardiyovasküler sağlığını iyileştirdiği bildirilmektedir (14). Laktasyon döneminde beslenme egzersiz ile desteklendiğinde kas kütlesi korunur ve ağırlık kaybı daha etkili olarak gebelik öncesi BKİ’ye geri dönüş sağlanmaktadır. Sorunlu bir gebelik veya doğum geçirilmediyse doğumdan sonra günde 15 dakikayı haftada da 150 dakikayı

geçmeyecek şekilde yürüme, pelvik taban egzersizi, esneme egzersizleri gibi hafif egzersizler yapılmalıdır (1,7,9,15).

2. Materyal ve Metot

Araştırma Şubat 2020-Mayıs 2020 tarihleri arasında İstanbul Zeytinburnu semtinde ikamet eden, 20-45 yaş arasında laktasyon döneminin üçüncü ayında bulunan ve emzirmeye devam eden rastgele 26 kadın üzerinde yapıldı. Çalışmaya katılan kadınlar kadınlar gönüllülük esası kapsamında olup katılımcılara eğitim düzeyi, günde kaç kez ve ne kadar süre meme verdiği, sağlık durumu, beslenme alışkanlıkları, besin tüketim durumu, egzersiz durumu, boy uzunluğu ve vücut ağırlığı gibi antropometrik ölçümleri içeren anket formu pandemi dolayısıyla online uygulandı. Katılımcılar ölçümlerin nasıl yapılması gerektiği konusunda bilgilendirilmiş olup, boy uzunlukları ve vücut ağırlıkları kendi beyanları ile kayda alındı. Besin tüketim kayıtları (BTK) retrospektif olarak bir gün öncesindeki miktarların kaydı istendi. Elde edilen veriler “Beslenme Bilgi Sistemleri-BeBİS Öğrenci (8.1) Programı” ile değerlendirilerek enerji ve besin öğeleri miktarları hesaplandı.

Örneklem sayısının 30’ dan küçük olması nedeniyle katılımcıların ankete verdikleri cevaplardan verilerin normal dağılıp dağılmadığı Shapiro-Wilk methodu ile test edildi. Veri kümesindeki değişkenlerin normallik göstermediği durumlarda iki kategorili değişkenler Mann-Whitney U testi, ikiden fazla kategoriler ise Kruskal-Wallis H testi ile analiz edildi. Veri kümesindeki değişkenlerin normal dağıldığı durumlarda ise iki kategorili değişkenler için bağımsız örneklerde varyans homojenliğinin Levene Testi ile değerlendirildiği Student-t testi, ikiden fazla kategorili değişkenler için bağımsız örneklerde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Kategorik verilerin analizinde ise ki-kare testi kullanılmış olup en küçük teorik frekansın 25’ten büyük olduğu durumlarda Pearson Ki-Kare Test, 5 ile 25 arasında olduğunda Yate’s Ki-Kare Test, 5’ten küçük olduğu durumlarda ise Fischer Exact Test anlamlılık değerleri baz alınarak değerlendirmeler yapıldı.

Korelasyon analizlerinde kıyaslanan iki verinin ikisinin birden normal dağıldığı durumlarda Pearson korelasyon metodu, kıyaslanan verilerden birinin veya ikisinin normal dağılmadığı durumlarda Spearman korelasyon metodu kullanıldı. Korelasyon katsayıları değerlendirilmesinde; “ $r < 0.2$ ise çok zayıf ilişki ya da korelasyon yok, $0.2-0.4$ arasında ise zayıf korelasyon, $0.4-0.6$ arasında ise orta şiddette korelasyon, $0.6-0.8$ arasında ise yüksek korelasyon, $0.8 >$ ise çok yüksek” korelasyon değerlendirmesi yapıldı. Analizlerin anlamlılık düzeyi %95 olarak belirlenerek analizlerde SPSS Modeler 17 ve SPSS Statistics 22.0 programları kullanıldı. 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Araştırma Sonuçları

Araştırmada postpartum üç aylık dönemdeki annelerin emzirme durumlarının, beslenme ve aktivitelerinin BKİ üzerindeki etkileri incelendi ve aşağıdaki bulgular elde edildi.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ve Antropometrik Ortalamaları (Demographic Characteristics and Anthropometric Averages of Participants)

Demografik Özellikler	n	Yüzde %	Ağırlık (kg)*	Boy (m)	BKİ (kg/m ²)	
			Ort ± ss	Ort ± ss	Ort ± ss	
Yaş aralığı	19-30 Yaş	21	80.8%	71.29 ± 12.61	1.64 ± 0.05	26.51 ± 4.52
	31 Yaş Üstü	5	19.2%	91 ± 17.44	1.66 ± 0.06	32.88 ± 4.26
Eğitim durumu	İlköğretim	3	11.5%	87.33 ± 2.31	1.65 ± 0.04	32.23 ± 2.48
	Ortaöğretim/Lise	6	23.1%	73.00 ± 6.29	1.65 ± 0.06	27.30 ± 3.75
	Lisans ve üstü	17	65.4%	73.65 ± 18.11	1.64 ± 0.06	27.09 ± 5.55

*Doğumdan üç ay sonraki vücut ağırlığı

Bu çalışmada katılımcıların çoğunun eğitim düzeyinin (%65.4) lisans ve üzeri iken yaş aralığı ise 19-30 yaş arası olduğu belirlendi.

Tablo 2. Annelerin Eğitim Düzeylerinin BKİ Üzerine Etkisi (The Effect of Mothers' Education Level on BMI)

BKİ (kg/m ²)	Eğitim Düzeyi			p
	İlköğretim Ort ± ss	Ortaöğretim/Lise Ort ± ss	Lisans ve üstü Ort ± ss	
Doğum sonrası BKİ	32 ± 5.46	29.72 ± 3.35	28.22 ± 5.39	0.460
Doğumdan üç ay sonraki BKİ	32.23 ± 2.48	27.3 ± 3.75	27.09 ± 5.55	0.273
BKİ değişimi	0.23 ± 2.97	-2.42 ± 1.39	-1.12 ± 1.94	0.162

*p<0.05

One Way Anova

Katılımcıların eğitim düzeylerine göre doğum sonrası BKİ, doğumdan 3 ay sonraki BKİ ve BKİ'deki farklılaşma düzeyi analiz edildiğinde eğitim düzeylerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaşma bulunmadı (p>0.05).

Tablo 3. Annelerin Emzirme Sayısı ve Süresi Bakımından Doğum Sonrası ve Doğumdan Üç Ay Sonraki BKİ Farklılıkları (BMI Difference Postpartum and Three Months After Birth in Terms of Breastfeeding Number and Duration of Mothers)

Emzirme Durumu		BKİ' nin Değişim Yönü		p
		Pozitif	Negatif	
Bebeği günlük emzirme sayısı	1-5 Kez	2	1	0.044*
	6-9 Kez	0	9	
	10- 12 Kez	4	6	
	13 ve üzeri	2	2	
Bebeği emzirme süresi	5 – 10 dk	2	9	0.353
	11- 20 dk	5	5	
	21+ dk	1	4	

*p<0.05

Fisher Ki Kare

BKİ'nin doğum sonrası ve doğumdan üç ay sonraki değerlerine göre BKİ'deki azalma veya artış durumu değerlendirilerek emzirme sayısı ile ilişkili olup olmadığı analiz edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı (p<0.05). BKİ değişimi ile emzirme süresi arasında ise anlamlı bir ilişki belirlenmedi (p>0.05).

Tablo 4. Annelerin Vitamin Takviyesi Alma Durumları İle BKİ Arasındaki İlişki (The Relationship Between BMI and Mothers Taking Vitamin Supplements)

BKİ (kg/m ²)	Vitamin Alımı		P
	Evet (10)	Hayır (16)	
Doğum sonrası BKİ	28.56 ± 5.12	29.28 ± 5.04	0.073
Doğumdan üç ay sonraki BKİ	27.17 ± 4.97	28.09 ± 5.28	0.663
BKİ değişimi	-1.39 ± 1.69	-1.19 ± 2.26	0.81

*p<0.05

Student t Testi

Katılımcıların doğum sonrası ve üç ay sonraki BKİ durumları ile vitamin takviyesi kullanma durumları arasında anlamlı ilişki bulunmadı (p>0.05).

Tablo 5. Annelerin Postpartum Üç Aylık Dönemdeki Günlük Öğün Sayısı İle BKİ Arasındaki İlişki (The Relationship Between BMI and Number of Daily Meals of Mothers in The Postpartum Trimester)

BKİ (kg/m ²)	r	p
Doğum sonrası BKİ	0.296	0.142
Doğumdan üç ay sonraki BKİ	0.337	0.092
BKİ değişimi	0.185	0.367

*p<0.05

Spearman Korelasyon

Günlük öğün sayısı ile doğum sonrası ve doğumdan üç ay sonraki BKİ'ler arasındaki istatistiksel incelemeye göre; istatistiksel olarak anlamlılık bulunamadıysa da günlük öğün sayısı ile üç ay sonraki BKİ arasında pozitif yönlü zayıf korelasyon saptandı.

Tablo 6. Annelerin Ara Öğünde Tükettikleri Besinler Bakımından Doğum Sonrası ve Doğumdan Üç Ay Sonraki BKİ Farklılıkları (BMI Difference Postpartum and Three Months After Birth in Terms of The Foods Consumed by The Mothers in The Snack)

Besinler	Doğum sonrası BKİ		Doğumdan üç ay sonraki BKİ		BKİ değişimi	
	r	p	r	p	r	p
Süt / Yoğurt / Ayran	0.149	0.468	0.263	0.195	0.064	0.757
Kuruyemiş (Badem, fındık, ceviz vs.)	0.058	0.777	0.158	0.439	0.013	0.95
Kuru meyve (hurma, kayısı, incir vs.)	0.237	0.244	-0.428*	0.029	0.287	0.156
Taze meyve	-0.072	0.725	0.124	0.547	0.201	0.325
Bisküvi / Kraker / Galeta / Ekmek / Grissini / Leblebi / Etimek	-0.101	0.624	-0.194	0.343	-0.041	0.841

*p<0.05

Spearman Korelasyon

Katılımcıların hepsinin ara öğün yaptığı saptandı. Ayrıca ara öğünde kuru meyve tüketim sıklığı ile doğumdan üç ay sonraki BKİ arasında negatif yönlü orta şiddette korelasyon gözlemlendi. Bu nedenle kuru meyve tüketimi arttıkça doğumdan üç ay sonraki BKİ miktarında da azalma gözlemlendi.

Tablo 7. Annelerin Fiziksel Aktivite Durumları Yönünden Doğum Sonrası ve Doğumdan Üç Ay Sonraki BKİ Farklılıkları (BMI Difference Postpartum and Three Months After Birth in Terms of Physical Activity Status of Mothers)

Annelerin Fiziksel Aktivite Durumu	r	p	
Gün içindeki oturma süresi	Doğum Sonrası BKİ	0.124	0.545
	Doğumdan üç ay sonraki BKİ	0.132	0.519
	BKİ Değişimi	-0.026	0.901
Egzersiz süresi	Doğum Sonrası BKİ	-0.604	0.113
	Doğumdan üç ay sonraki BKİ	-0.604	0.113
	BKİ Değişimi	-0.520	0.187
Egzersiz sıklığı	Doğum Sonrası BKİ	-0.469	0.241
	Doğumdan üç ay sonraki BKİ	-0.644	0.085
	BKİ Değişimi	-0.379	0.354

*p<0.05

Spearman Korelasyon

Pearson Korelasyon

Gün içindeki oturma süresi, egzersiz süresi ve sıklığı ile doğum sonrası BKİ, doğumdan üç ay sonraki BKİ ve BKİ değişimleri arasındaki korelasyonlar incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı sonuç gözlemlenmedi (p>0.05). Egzersiz sıklığının doğumdan üç ay sonraki BKİ ile ilgili p değeri 0.05 ile 0.10 arasında yer alıp, sınırda anlamlılık olması nedeniyle doğumdan üç ay sonraki BKİ ile yapılan egzersiz sıklığı arasında istatistiksel olarak negatif yönlü orta şiddetli korelasyon belirlendi.

Tablo 8. Annelerin Günlük Aldıkları Makro ve Mikro Besin Ögeleri Yönünden Doğumdan Sonra ve Doğumdan Üç Ay Sonraki BKİ Farklılıkları (BMI Difference Postpartum and Three Months After Birth in Terms of Macro and Micro Nutrients Consumed Daily by Mothers)

Besin Ögeleri	Doğum Sonrası BKİ		Doğumdan üç ay sonraki BKİ		BKİ Değişimi	
	r	p	r	p	r	p
Karbonhidrat (gram)	-0.052	0.803	0.087	0.672	0.345	0.085
Protein (gram)	0.137	0.504	0.349	0.081	0.536*	0.005
Yağ (gram)	0.070	0.732	0.267	0.187	0.497*	0.01
Posa (gram)	0.122	0.553	0.254	0.210	0.337	0.092
*A vitamini (mcg)	0.204	0.316	0.257	0.205	0.120	0.559
*D vitamini (mcg)	0.001	0.996	0.126	0.540	0.254	0.210
E vitamini (mg)	0.038	0.854	0.151	0.462	0.285	0.159
K vitamini (mcg)	-0.148	0.471	-0.152	0.458	-0.017	0.933
Tiamin (mg)	-0.036	0.861	0.129	0.530	0.411*	0.037
Riboflavin (mg)	0.148	0.470	0.380	0.055	0.588*	0.002
Niasin (mg)	0.127	0.537	0.140	0.494	0.04	0.848
Pantotenik Asit (mg)	0.018	0.93	0.201	0.324	0.460*	0.018
B6 vitamini (mg)	0.103	0.615	0.122	0.554	0.051	0.806
Biotin (mcg)	0.134	0.515	0.344	0.085	0.534*	0.005
Folik asit (mcg)	0.010	0.96	0.167	0.415	0.392*	0.047
B12 vitamini (mcg)	0.379	0.056	0.566*	0.003	0.486*	0.012
C vitamini (mg)	-0.199	0.329	-0.173	0.399	0.057	0.782
*Sodyum (mg)	0.042	0.841	0.075	0.721	0.224	0.282
Potasyum (mg)	0.217	0.288	0.335	0.094	0.308	0.126
Kalsiyum (mg)	0.156	0.448	0.385	0.052	0.583*	0.002
Magnezyum (mg)	0.068	0.741	0.221	0.278	0.387	0.051
Demir (mg)	0.056	0.784	0.198	0.331	0.358	0.072
Çinko (mg)	0.297	0.141	0.534*	0.005	0.609*	0.001
Su (lt)	0.277	0.171	0.327	0.102	0.077	0.707

*p<0.05

Pearson Korelasyon

Spearman Korelasyon

Katılımcıların besin tüketim kayıtları incelendiğinde doğumdan üç ay sonraki BKİ ile ilişkili olarak B12 ve çinko arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı orta şiddette korelasyon gözlemlendi ($p<0.05$). BKİ değişimi ile de folik asit arasında zayıf; protein, yağ, tiamin, riboflavin, pantotenik asit, biotin, B12, kalsiyum ve çinko arasında orta şiddetli; demir ile arasında ise yüksek korelasyonlar saptandı ($p<0.05$).

3.2. Tartışma

Katılımcıların çoğunluğunun (%65.4) eğitim düzeyi lisans ve üstü olup, bu kişilerin üç ay sonraki BKİ değişimlerinde azalma belirlendi (Tablo 2). Annelerin bilgi düzeylerinin artmasıyla birlikte beslenme bilgilerinin de bu doğrultuda farklılaştığı görülmektedir. TNSA araştırmasına katılan 7346 kadının eğitim durumlarına bakıldığında %41'inin lise ve üzeri olduğu bulunmuştur. TNSA verilerine göre de eğitim düzeyi arttıkça anneler bebeklerine anne sütünü daha uzun süre vermektedirler. Bu sayede de daha çok enerji harcanmakta ve BKİ değişimlerinde negatif yönlü bir değişim ortaya çıkmaktadır (16).

Emzirme sayısı ve süresi ile BKİ değişimi arasındaki ilişkinin hangi yönde olduğuna bakıldığında; emzirme sayısında istatistiksel olarak anlamlılık bulunurken emzirme süresinde anlamlı bir sonuç saptanmadı (Tablo 3). Emzirme annelerin enerji harcamasını arttıran bir durum olup, emzirme süresi ve sıklığı ile harcanan enerji miktarı da artmaktadır. Bu nedenle laktasyon dönemi hamilelik süresince depolanan yağları harekete geçirme yoluyla ağırlık kaybına neden olabilmektedir. Yapılan bir çalışmada (17) dört ay ve üzeri emziren kadınların gebelik öncesi ağırlığına döndüğü gösterilmiş ancak bu çalışmada örneklem sayısı az olduğundan dolayı istenilen sonuç tam olarak elde edilemedi.

Çalışmaya alınan kadınların laktasyon dönemlerinde vitamin takviyesi kullanım oranı %38,5 olarak bulunup, vitamin takviyesi alımı ile BKİ değişimi arasındaki ilişkiye bakıldığında istatistiksel olarak anlamlılık görülmedi ($p>0.05$) (Tablo 4).

Günlük öğün sayısı (ana+ara öğünler) ile BKİ değişimi arasında anlamlı bir sonuç bulunamazken doğumdan üç ay sonraki BKİ ile öğün sayısı arasında istatistiksel olarak pozitif yönlü zayıf korelasyon görüldü (Tablo 5). Buradan gün içerisindeki öğün sayısının artmasıyla (enerji alımının artması) BKİ' de artışın görülebileceği yorumu çıkarılabilir. Ara öğünde tüketilen kuru meyve sıklığı ile doğumdan üç ay sonraki BKİ arasında negatif yönlü orta şiddette korelasyon gözlemlendi (Tablo 6). Kuru meyve tüketimi arttıkça doğumdan sonra BKİ değerinde azalma görüldü. Ara öğünde kuru meyve tüketiminin ana öğünde daha az yemek yenmesine ve enerji alımında azalmaya neden olabileceği düşünülebilir.

Çalışmada egzersiz süresi ve sıklığı ile BKİ değişimi arasında katılımcı sayısının yetersiz olmasına bağlı olarak anlamlılık bulunmasa da egzersiz sıklığı ile doğumdan üç ay sonraki BKİ arasında negatif yönlü orta şiddetli korelasyon varlığında; fiziksel aktivitenin sıklığı arttıkça doğumdan üç ay sonraki BKİ değerlerinde azalma görülmektedir (Tablo 7). Laktasyon dönemindeki kadınların egzersiz yapması bebek sağlığına olumsuz etkisi olmadan, kendi sağlığı açısından olumlu etkilere yol açabilmektedir. Laktasyon dönemindeki beslenmenin egzersiz ile desteklendiğinde ağırlık kaybı bakımından daha etkili olduğu ve BKİ'de azalma yönünde bir değişime neden olabileceği bildirilmektedir. Avcuoğlu ve ark.'nın yaptığı çalışmada da egzersizin sıklığı ve süresi ile BKİ arasındaki ilişkiye bakılmış ve çalışmada istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ($p>0.05$). Bu çalışmaya 151 kişi katılıp sadece %6'sının egzersiz yapmasından dolayı sonucun anlamsız çıktığı düşünülmüştür (18). Çalışmaların sonuçlarında çıkan bulgular benzer olup her iki çalışmada da kişi sayısının yetersiz olduğu kanısına varılmıştır. Ancak yapılan başka bir çalışmada ise haftada 5 gün ve en az 30 dakika yürümeyi kapsayan aktiviteyle doğum sonrası ağırlık kaybı arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir (17).

Araştırmaya katılan her bir katılımcının 24 saatlik geriye dönük besin tüketim kaydından elde edilen karbonhidrat, protein, yağ, posa, su, vitamin ve minerallerin miktarları ile BKİ arasında korelasyonların incelenmesiyle bazı besin öğelerinin artmasıyla BKİ' de artış görülmektedir (Tablo 8). Emzirme döneminde çoğu anne süt salgısının fazla olması için daha sağlıklı beslenmeye önem vermektedir. Ancak, bebeklerin büyüme ve gelişmesine daha fazla katkı sağlamak ve süt salgılarını arttırmak için dengesiz beslenerek, ya çok fazla enerji alma ya da enerji yoğunluğu yüksek besinleri tüketme yanlısına gitmektedir. Bu sebepten de bu dönem annede BKİ düzeyini normalin üzerine çıkararak obezite riskini arttırmaktadır.

4. Sonuç

Çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde; postpartum dönemde annelerin fazla kilolarının kaybı konusunda eğitim düzeylerinin ve emzirme sürelerinin BKİ'yi düşürmeye etkisi genel anlamda tespit edilemedi ancak emzirme sayısının BKİ'yi düşürmeye olumlu etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Ayrıca doğumdan üç ay sonraki BKİ ile gün içerisinde yapılan öğün sayısı arasında istatistiksel olarak pozitif yönlü zayıf korelasyon görülürken, egzersiz sıklığı ile arasında negatif yönlü korelasyon belirlendi. Bu sonuçlar ve literatür ışığında; emzirmenin BKİ değişikliklerine yol açabileceği düşünülebilir. Benzer çalışmaların daha geniş örnekleme ve daha detaylı yapılması iyi olabilir.

Kaynakça

- 1.Uçar Z., Yılmaz H.Ö., 2020. Laktasyon döneminde beslenme: Enerji ve Makro Besin Öğeleri. *J Health Pro Res*, 2(1): 37-46.
- 2.Del Ciampo, L. A., & Del Ciampo, I., 2018. Breastfeeding and the Benefits of Lactation for Women's Health. *Aleitamento materno e seus benefícios para a saúde da mulher. Revista brasileira de ginecologia e obstetricia: revista da Federacao Brasileira das Sociedades de Ginecologia e Obstetricia*, 40(6), 354–359. doi: 10.1055/s-0038-1657766
- 3.Çınar N., Suzan Ö.K., 2018. Laktasyon Döneminde Gebelik ve Emzirme. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (STED)*, 27(2): 143-147.
- 4.Topal S., Çınar N., Altınkaynak S., 2017. Emzirmenin Anne Sağlığına Yararları. *J Hum Rhytm*, 3(1): 25-31.
- 5.Öztürk H.N.O., 2019. Gebe ve Emzikli Kadımların Diyet Kalite İndekslerinin Karşılaştırılması. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı, Ankara.
- 6.Baysal A., 2017. Beslenme. Ankara: Hatipoğlu, 453-464.
- 7.Diyetisyenler İçin Hasta İzlem Rehberi, 2017. Ağırlık Yönetimi El Kitabı. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müd Sağlıklı Besl ve Hareketli Hayat Daire Başk, Ankara.
- 8.Kominiarek, M. A., & Rajan, P., 2016. Nutrition Recommendations in Pregnancy and Lactation. *The Medical clinics of North America*, 100(6), 1199–1215. doi: 10.1016/j.mcn.2016.06.004
- 9.Lee, S., & Kelleher, S. L., 2016. Biological underpinnings of breastfeeding challenges: the role of genetics, diet, and environment on lactation physiology. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 311(2), E405–E422. doi: 10.1152/ajpendo.00495.2015
- 10.EFSA, 2013. Scientific opinion on dietary reference values for energy. *EFSA Journal*, 11: 3005. Parma, Italy.
- 11.TÜBER, 2015. T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Beslenme Rehberi, Ankara.
- 12.Türk Jinekoloji ve Obstetrik Derneği (FIGO), 2017. Adölesan, gebelik öncesi ve maternal beslenme önerileri, “önce beslenmeyi düşün”. *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, 131, 4.
- 13.Jouanne, M., Oddoux, S., Noël, A., & Voisin-Chiret, A. S., 2021. Nutrient Requirements during Pregnancy and Lactation. *Nutrients*, 13(2), 692. doi: 10.3390/nu13020692
- 14.Physical Activity and Exercise During Pregnancy and the Postpartum Period: ACOG Committee Opinion, Number 804. (2020). *Obstetrics and gynecology*, 135(4), e178–e188. doi: 10.1097/AOG.0000000000003772
- 15.Katz D.L., Freidman R.S.C., Lucan S.C., 2014. Nutrition in clinical practice. Philadelphia: Lippincott Williams&Wilkins, 377-387.
- 16.TNSA, 2018. Türkiye Nüfus ve Sağlık Araştırması. Hacettepe Üniversitesi Nüfus Etütleri Enstitüsü Ankara, Türkiye.
- 17.Dalrymple, K. V., Uwhubetine, O., Flynn, A. C., Pasupathy, D., Briley, A. L., Relph, S. A., Seed, P. T., O'Keeffe, M., & Poston, L. (2021). Modifiable Determinants of Postpartum Weight Loss in Women with Obesity: A Secondary Analysis of the UPBEAT Trial. *Nutrients*, 13(6), 1979. <https://doi.org/10.3390/nu13061979>
- 18.Avcuoğlu A., Eray İ.K., Yurdakul A.V., Üstü Y., Uğurlu M., 2014. Doğum Sonrası Dönemdeki Annelerin Sağlıklı Kilo Vermek Konusundaki Bilgi Düzeylerinin ve Tutumlarının Sorgulanması. *Ankara Med J*, 14(4): 144-150.



Effects of Dietary Cold-Pressed Seed Oils on Growth, Coloration and Blood Parameters in Goldfish

Halime Pehlivanoglu^{1*}, Mehmet Yardımcı², Çetin Yağcılar³

^{1*} Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene & Technology, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3138-9568), hpehlivanoglu@nku.edu.tr

² Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Biostatistics, Tekirdağ, Turkey, (ORCID 0000-0001-5650-437X), myardimci@nku.edu.tr

³ Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Aquaculture, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4683-820X), cyagcilar@nku.edu.tr

(First received 20 May 2022 and in final form 7 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1119285)

ATIF/REFERENCE: Pehlivanoglu, H., Yardımcı, M. & Yağcılar, Ç. (2022). Effects of Dietary Cold-Pressed Seed Oils on Growth, Coloration and Blood Parameters in Goldfish. *European Journal of Science and Technology*, (41), 336-342.

Abstract

This research was conducted to examine the effects of dietary cold-pressed seed oils on growth, coloration and blood parameters in goldfish. A total of one-month-old 240 goldfish were used as the study material. The standard feed enriched with 5 different cold-pressed seed oils (fig, apricot, pomegranate, grape and plum) at a rate of 5% was given to the trial groups, while the control group was fed with the standard feed throughout the experiment. Groups were compared in terms of live weight, total length, specific growth rate (SGR), feed conversion rate (FCR), glucose, cholesterol and triglyceride values. Results showed that dietary seed oils improved the growth performance, feed utilization, coloration and decreased the blood glucose, cholesterol, and triglyceride levels. Seed oil-fed groups gained more weight compared to the control group ($p<0.05$). Remarkably fig and plum groups yielded higher SGR values ($p<0.05$). The glucose, cholesterol and triglyceride values in the fig group was found to be the lowest among all groups ($p<0.05$). Regarding the coloration, darker color shades were found in the pomegranate and fig groups. In conclusion, the use of dietary seed oils makes it possible to grow healthy and fast-growing fish in the desired color.

Keywords: Aquarium fish, Cholesterol, Cold-pressed oils, Coloration, Blood parameters.

Japon Balıklarında Büyüme, Renklenme ve Kan Parametreleri Üzerine Diyet Soğuk Pres Tohum Yağlarının Etkileri

Öz

Bu araştırma, soğuk sıkım meyve çekirdek yağlarının akvaryum balıklarında büyüme, renklenme ve kan parametreleri üzerindeki etkilerini incelemek için yapılmıştır. Çalışma materyali olarak 1 aylık toplam 240 Japon balığı kullanılmıştır. Deneme gruplarına çalışma boyunca beş farklı soğuk sıkım meyve çekirdek yağı (incir, kayısı, nar, üzüm ve erik) ile %5 oranında zenginleştirilmiş standart yem verilirken, kontrol grubuna deneme boyunca standart yem verilmiştir. Gruplar canlı ağırlık, toplam boy, spesifik büyüme oranı (SGR), yemden yararlanma oranı (FCR), glukoz, kolesterol ve trigliserit değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, meyve çekirdeği yağlarının büyüme performansını, yem kullanımını, renklenmeyi iyileştirdiğini ve kan şekeri, kolesterol ve trigliserit düzeylerini düşürdüğünü göstermiştir. Meyve çekirdek yağı ile beslenen gruplar, kontrol grubuna göre daha fazla ağırlık kazanmıştır ($p<0.05$). Dikkat çekici şekilde incir ve erik grupları daha yüksek SGR değerlerine sahiptir ($p<0.05$). İncir grubundaki glukoz, kolesterol ve trigliserit değerleri tüm gruplar arasında en düşük olarak bulunmuştur ($p<0.05$). Renklenme açısından ise nar ve incir gruplarında daha koyu renk tonlarına rastlanmıştır. Sonuç olarak, meyve çekirdek yağlarının kullanılması sağlıklı ve hızlı büyüyen balıkların istenilen renkte yetiştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akvaryum balıkları, Kolesterol, Soğuk sıkım yağlar, Renklenme, Kan parametreleri.

1. Introduction

The use of cold-pressed vegetable oils has increased significantly with the nutritional awareness in recent years. Cold-pressed oils are obtained by the mechanical method without heat treatment and they are functional in terms of nutritional and sensory aspects as they contain natural antioxidants such as essential fatty acids, phenolic substances and tocopherols important for human health and lipophilic, bioactive components such as sterols. They also have antihyperlipidemic, antioxidative, anticarcinogenic, anti-inflammatory, antimicrobial properties due to their unsaturated fatty acids, volatile compounds, phytosterol and vitamin E content (Arıcı et al., 2005).

The grape seed extract was reported to lower the triglyceride, total cholesterol, low-density lipoprotein-cholesterol and interleukin-6 values (Salmabadi et al., 2017) whereas apricot seed oil was reported to have positive effects on preventing the development of many chronic diseases by preventing free radicals from cell damage and increasing body resistance (Erdoğan & Kartal, 2011). Palm oil, peppermint and Amaranthus plants were found to be effective on growth, transformation into protein, and coloration as feed supplements in fish diets (Ahilan et al., 2008). Similarly, citrus peels and natural dyes obtained from seeds were found to have positive effects on color development in goldfish (Abbas et al., 2020; Dananjaya et al., 2019), while hot pepper oil was found to be effective in growth performance and blood parameters in trout (Vincenzo et al., 2018).

This research aimed to examine the effect of dietary cold-pressed seed oils on growth, coloration and blood parameters in goldfish.

2. Material and Method

2.1. Experimental Fish and Rearing Conditions

This research was conducted in the Fisheries and Diseases Laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine at Tekirdağ Namık Kemal University. A female and two male ranchu goldfish were used as parents. The offspring obtained from these fish by milking method were fed with live food called artemia for seven days, then, they were fed with commercial powder feed for 20 days, and adapted to solid food. During the trial, biological filtration was applied by pipe filters separately in each experimental aquarium using SunSun brand aerator (19 m³/h). Optimum growth conditions were achieved by applying a 30% water change in two-day intervals and keeping the nitrate level at an average of 10 ppm. The experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments and two replications. A total of one-month-old 240 juvenile goldfish were randomly selected and stocked in 35*35*35 cm sized research aquariums. The fish were sorted into 6 groups and placed into 12 aquariums each consisting of 20 fish with two repetition groups. The trial material was transferred to 60*35*45 cm sized aquariums depending on the increased fish size. As routine measurements pH, salinity, Total Dissolved Solids (TDS), conductivity, aquarium temperature measurements were recorded with a waterproof ExStik® II pH/conductivity meter, EC500, "Extech" brand device, ambient temperature and humidity with a "Thermo HYGRO" device, and Oxygen measurements with a "JBL" brand test kit at weekly intervals (Table 1). There was no mortality associated with any of the treatments.

Table 1. Chemical and physical environmental conditions during the research

	n	Mean	Std. Dev.	Min	Max
pH	12	8,07	0,09	8,0	8,2
Salinity (ppm)	12	362,08	15,94	344,0	402,0
TDS (ppm)	12	581,67	20,69	548,0	626,0
Conductivity (µS)	12	714,50	46,35	601,0	807,0
Aquarium Temp (°C)	12	26,18	1,27	24,7	28,7
Ambient Temp (°C)	12	27,06	1,25	25,3	29,2
Ambient Humidity (% g/m ³)	12	61,83	4,43	54,0	69,0
Oxygen (ppm)	12	8,00	0,00	8,0	8,0

2.2. Preparation of Supplemented Diets

The standard feed enriched with 5 different cold-pressed seed oils (fig, apricot, pomegranate, grape and plum) at a rate of 5% was given to the trial groups (Table 2) while the control group was fed with the standard feed (fish meal, hydrolyzed fish meal, wheat flour, Cyrillic flour, wheat gluten, pea protein, fish oil, yeast and plant essential oils and organic acid, Ca, P, Na) throughout the experiment. The feed was prepared in an average of 20-day portions, each in an amount of 100 g and by the method of spraying cold-pressed seed oils into the ready-made feed using a 10-gauge injector, with a rate of 95 g standard feed and 5 g seed oil. Seed oils were purchased from Oneva-Neva Foods and Printing Materials Industry Trade Limited Company, Istanbul. The fatty acid composition of the cold-pressed seed oils used in the experiment was examined in the Thermo Scientific Trace 1300 Gas Chromatography device.

The food particle size given to fish was in the ranges of 300-500 microns during the first and second measurement periods and

increased to 800-1200 microns parallel to the increase in the fish size for the 3, 4 and 5th measurement periods. Finally, 1 mm feed was used at the 6, 7 and 8th measurement periods according to the mouth opening degree of the fish. Feeding was done 3 times a day at a rate of 5%, based on the body weight (BW) of the fish (Table 3).

Table 2. Fatty acid composition (%) and color contents of seed oils

Fatty acid composition (%)	Groups				
	Apricot	Pomegranate	Grape	Plum	Fig
C16:0 Palmitic acid	4,10	4,30	7,50	5,20	6,0
C16:1 Palmitoleic acid	1,30	TE	0,22	0,56	ND
C18:0 Stearic acid	2,40	2,90	3,50	2,56	4,12
C18:1 Oleic acid	67,20	6,70	13,88	73,00	7,60
C18:2 Linoleic acid	23,70	6,20	71,20	15,88	34,33
C18:2 Linolenic acid	0,52	ND	0,88	0,45	45,38
C18:3 Conjugated (cis 9,11,13) Punicic acid	ND	75,90	ND	ND	ND
C20:0 Arachidic acid	0,14	0,35	0,29	0,38	TE
C20:1 Eicosanoic acid	0,26	0,47	0,30	0,43	TE
C22:0 Behenic acid	ND	0,29	0,46	ND	ND
C22:1 Erucic acid	ND	ND	0,22	ND	ND
C24:0 Lignoceric acid	ND	ND	0,38	ND	ND
ΣSFA	6,64	7,84	12,13	8,14	10,72
ΣMUFA	68,76	7,17	14,62	73,99	7,6
ΣPUFA	24,22	82,10	72,08	16,33	79,71
Redness	3,9	14	3,1	2,3	4,2
Yellowness	70	70	38	40	70

ND: Not Detected

Table 3. Fish feed formulation based on the control group

Serving Period	Feed size	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude cellulose (%)	Crude ash (%)
1 (1 st , 2 nd measurements)	300-500 μ	55	15	0,5	12,3
2 (3, 4, 5 th measurements)	800-1200 μ	60	10	1,5	11
3 (6, 7, 8 th measurements)	1 mm	54	14	1,5	11

2.3. Measured parameters

2.3.1. Growth Performance

Live weight and total length measurements were taken at 20-day intervals. The fish was dried with a napkin to absorb the excess water in Petri dishes and body weights were measured (wet weight) under anesthesia with a Kern brand scale sensitive to 0.01 g. For anesthesia, fish were exposed to a concentration of clove oil at a dose of 1 ml/L. The clove oil was obtained from the "Kimbiotek Chemical Materials Industry and Trade Corporation" company and diluted in ethanol (99.8%) to 9 parts ethanol and 1-part clove oil (Yaşar et al., 2020). Total length was measured with a 20 cm ruler based on the distance between the tip of the nose and the tip of the tail, by straightening the tails of the fish in the petri dish just after the live weight measurement. Specific growth rate (SGR) and feed conversion rate (FCR) were calculated after collecting all the data.

$$\text{SGR (\% day}^{-1}\text{)} = (\log_e \text{ Final weight} - \log_e \text{ Initial weight}) / \text{no. of days} * 100$$

$$\text{FCR} = \text{Feed Given (dry weight in g)} / \text{Net weight gain (wet weight in g)}$$

2.3.2. Hematological parameters

One of the reasons why goldfish were preferred in this study was that it was easier to take blood from goldfish compared to many other aquarium fish. In this respect, the blood samples were taken from the caudal peduncle of the 24 h fasted fish using insulin Syringes 30G 1/2 cc 1/2 inch 90/bx under anesthesia at the end of the study and glucose, cholesterol and triglyceride concentrations were recorded separately. As for the method

followed in sampling, a drop of blood was placed onto a test strip (Accutrend® Plus; Roche Diagnostics, Vokietjia, Germany) for either cholesterol or triglyceride analysis. After the device is calibrated, the strips were inserted into the blood cholesterol and triglyceride analyzer (Accutrend® Plus) and results were read 170-180 seconds. Glucose levels were measured with an IME-DC brand instrument with the same method and the results were read within 10-12 seconds.

2.3.3. Coloration

Being able to see the coloration more clearly was another advantage of choosing goldfish in our research. The red and yellow color contents of the seed oil samples were determined manually using a Lovibond Tintometer (PFXi 880 / L, Tintometer Ltd., Amesbury, UK) in a 1-inch cuvette according to AOCS Official Method Cc 13e-92. A goldfish color chart was used to evaluate the color changes (Anonymous, 2020) until the colors of the fish were formed to fit perfectly. In the color chart, the colors from dark to light were ranked as tangelo, orange, bright yellow, gold and mango. In color evaluation, the spread of the color from the back to the abdomen of the fish was considered better. When the colors were determined to be correct, 10 samples from each group were selected, photographed from the upper side of the right eye on the head and analyzed using the Just color picker 5.5 program on the computer (Table 9). In this program, each color is handled over the RGB codes and ratios of 255 in percentages. In this program, the color evaluation was made based on the average of 7 x 7 pixels. When the RGB codes are 255 255 255, the color is white; when 0 0 0, it is understood to be black. For example, if the RGB codes are 186, 73, 2 then the color values appear as 72,94% red, 28,63% green and 0,78% blue, respectively. Saturation and lightness were the other criteria to define the colors. When the intensity of one of these three colors is higher than the others, the new tone that will emerge will be a shade closer to this primary color (like reddish, greenish or bluish). Also, if the intensity of the two primary colors is the same, then the

result will be a shade that is closer to the secondary colors (cyan, purple, or shades of yellow).

2.4. Statistical Analysis

IBM SPSS Statistics 25.0 package program has been used for statistical analysis. Live weight, total length, SGR, FCR, blood glucose, cholesterol and triglyceride concentration comparisons among the groups were made by the analysis of variance test, while comparisons between groups were performed by the Tukey test. Correlations between live weight and total lengths were determined by the Pearson correlation test.

2. Results and Discussion

3.1. Growth performance

A linear increase was observed in the body weight gain in all groups with a more evident rise after the fourth measurement period. Seed oil-fed groups gained more weight compared to the control group in all measurement periods following the initial measurement ($p < 0.05$). It was noteworthy that the weight gain differed significantly in the fig, pomegranate and plum groups in the final measurement period ($p < 0.05$) compared to the other experimental groups (Table 4).

Table 4. Live weights (g) by the measurement periods

Groups	n	Measurements							
		1 st (0-20 days)	2 nd (21-40 days)	3 rd (41-60 days)	4 th (61-80 days)	5 th (81-100 days)	6 th (101-120 days)	7 th (121-140 days)	8 th (141-160 days)
		$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Control	40	0,34±0,01	0,38±0,01 ^a	1,13±0,05 ^a	1,34±0,09 ^a	2,81±0,17 ^a	4,47±0,18 ^a	6,77±0,34 ^a	10,87±0,46 ^a
Pomegranate	40	0,34±0,01	0,45±0,02 ^{ab}	1,46±0,05 ^b	2,08±0,10 ^b	3,33±0,13 ^{ab}	5,27±0,20 ^{ab}	7,64±0,43 ^{ab}	13,89±0,47 ^{bc}
Grape	40	0,35±0,01	0,42±0,02 ^{ab}	1,39±0,05 ^b	1,93±0,08 ^{bc}	3,01±0,18 ^{ab}	4,76±0,24 ^{ab}	6,88±0,34 ^a	11,98±0,59 ^{ab}
Fig	40	0,33±0,01	0,49±0,03 ^b	1,48±0,03 ^b	2,26±0,09 ^{bc}	3,54±0,23 ^b	5,65±0,21 ^b	8,07±0,39 ^{ab}	14,29±0,54 ^c
Plum	40	0,33±0,01	0,48±0,02 ^b	1,40±0,04 ^b	2,01±0,07 ^{bc}	3,30±0,10 ^{ab}	5,34±0,24 ^{ab}	8,54±0,35 ^b	13,99±0,63 ^{bc}
Apricot	40	0,34±0,01	0,46±0,02 ^b	1,42±0,06 ^b	2,39±0,11 ^c	3,48±0,22 ^{ab}	5,00±0,28 ^{ab}	7,13±0,34 ^{ab}	12,29±0,40 ^{abc}
P		0,479	0,000	0,000	0,000	0,032	0,004	0,003	0,000

P: ANOVA; Different letters indicate significant difference among treatments by Tukey test ($p < 0.05$)

The lowest SGR (2.141) was observed in the control group, while fig and plum groups yielded higher values and differed significantly from the others ($p < 0.05$) (Table 5). Feed conversion

ratio (FCR) was variable among the groups but did not differ significantly ($p > 0.05$).

Table 5. Specific growth rate (SGR) and feed conversion rate (FCR)

	Control	Pomegranate	Grape	Fig	Plum	Apricot
Mean initial weight (g)	0,345	0,335	0,355	0,329	0,325	0,335
Mean final weight (g)	10,871	13,888	11,979	14,289	13,992	12,288
Weight gain (g)	10,530	13,887	11,978	14,288	13,991	12,287
Growth ratio (g/d)	0,065	0,084	0,072	0,087	0,085	0,074
SGR (% BW/day)	2,141 ^a	2,324 ^{bc}	2,192 ^{ab}	2,351 ^c	2,344 ^c	2,258 ^{abc}
FCR	2,669	2,543	2,662	2,586	2,572	2,720

$p < 0.05$; P: ANOVA

No significant difference was observed between the groups in terms of total lengths except for some small differences at the 4th,

5th, and 6th measurement periods (Table 6). All groups had similar values in terms of initial and final total lengths.

Table 6. Total lengths (cm) by the measurement periods

Groups	n	Measurements							
		1 st (0-20 days)	2 nd (21-40 days)	3 rd (41-60 days)	4 th (61-80 days)	5 th (81-100 days)	6 th (101-120 days)	7 th (121-140 days)	8 th (141-160 days)
		$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Control	40	2,36±0,04	2,42±0,04	2,92±0,08	3,32±0,09 ^a	3,93±0,11 ^a	4,43±0,11 ^a	5,64±0,16	6,02±0,16
Pomegranate	40	2,42±0,05	2,49±0,03	3,02±0,08	3,80±0,11 ^b	4,53±0,10 ^b	5,09±0,11 ^b	5,85±0,12	6,47±0,18
Grape	40	2,39±0,04	2,47±0,06	2,77±0,08	3,48±0,07 ^{ab}	4,30±0,08 ^{ab}	5,13±0,12 ^b	5,81±0,14	6,14±0,12
Fig	40	2,35±0,04	2,54±0,04	2,87±0,08	3,49±0,08 ^{ab}	4,61±0,15 ^b	5,22±0,13 ^b	6,16±0,14	6,51±0,12
Plum	40	2,35±0,03	2,49±0,04	2,96±0,05	3,54±0,06 ^{ab}	4,39±0,10 ^b	4,90±0,12 ^b	5,90±0,15	6,49±0,10
Apricot	40	2,35±0,02	2,51±0,04	3,07±0,06	3,69±0,12 ^b	4,57±0,11 ^b	4,83±0,10 ^{ab}	5,73±0,18	6,24±0,10
P		0,716	0,546	0,058	0,004	0,000	0,000	0,219	0,364

$p < 0,05$; P: ANOVA; Different letters indicate significant difference among treatments by Tukey test ($p < 0.05$)

3.2. Correlations

Significant positive correlations were found between the body weight and total length values within all groups until the

sixth measurement period ($p < 0.01$). However, a serious drop was seen in the last three periods with some negative correlations (Table 7).

Table 7. Correlations between live weight and total lengths by the measurement periods

Groups	Measurements							
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th
	r	r	r	r	r	r	r	r
Control	,539**	,764**	,678**	,809**	,600**	,131	,255	-,146
P	,000	,000	,000	,000	,000	,419	,112	,370
Pomegranate	,874**	,873**	,441**	,221	,904**	,152	,212	,090
P	,000	,000	,004	,192	,000	,348	,189	,582
Grape	,988**	,765**	,373*	,371*	,582**	,631**	,583**	-,014
P	,000	,000	,018	,018	,000	,000	,000	,934
Fig	,951**	,504**	,985**	,628**	,887**	,356*	-,101	,292
P	,000	,001	,000	,000	,000	,024	,535	,067
Plum	,974**	,976**	,742**	,867**	,722**	,180	-,060	,024
P	,000	,000	,000	,000	,000	,267	,711	,882
Apricot	,978**	,788**	,940**	,586**	,852**	,310	,471*	-,063
P	,000	,000	,000	,000	,000	,051	,002	,701

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

3.3. Hematological parameters

Significant changes were observed in glucose, cholesterol and triglyceride values (p<0.05) (Table 8). Blood glucose levels decreased in all groups whereas the value in the control group was quite high. In terms of cholesterol values, grape, fig, pomegranate,

and apricot groups significantly differed from the plum and control groups (p<0.05). The lowest value for triglyceride concentration was in the fig group which was significantly differed from the control and apricot groups (p<0.05).

Table 8. Blood glucose, cholesterol and triglyceride concentrations

Parameters	Groups	n	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	P
Glucose	Control	20	101,85±6,56 ^c	0,000
	Apricot	20	67,25±4,91 ^{ab}	
	Pomegranate	20	76,90±6,46 ^b	
	Grape	20	74,90±6,31 ^b	
	Plum	20	66,40±6,10 ^{ab}	
	Fig	20	50,15±3,41 ^a	
Cholesterol	Control	14	250,29±8,12 ^b	0,000
	Apricot	14	168,07±9,72 ^a	
	Pomegranate	14	155,71±6,35 ^a	
	Grape	14	154,57±4,53 ^a	
	Plum	14	262,14±4,71 ^b	
	Fig	14	152,57±5,64 ^a	
Triglyceride	Control	14	136,21±16,16 ^{bc}	0,001
	Apricot	14	147,86±19,06 ^c	
	Pomegranate	14	110,07±9,33 ^{abc}	
	Grape	14	96,93±5,97 ^{ab}	
	Plum	14	91,29±4,59 ^{ab}	
	Fig	14	88,14±5,19 ^a	

p< 0.05; P: ANOVA

3.4. Coloration

The color values obtained with the Just color picker 5.5 program and complementary statistical values are given in Table 9.

Table 9. Final fish colors based on RGB codes

Color	Groups	n	Mean	SD	Min	Max
Red	Control	10	76,39	4,21	69,41	81,96
	Pomegranate	10	64,51	6,42	54,90	72,94
	Grape	10	71,88	3,77	65,88	76,86
	Fig	10	66,82	9,41	48,24	77,65
	Plum	10	72,12	8,69	58,43	89,80
	Apricot	10	67,69	5,00	58,04	76,08
Green	Control	10	65,69	7,67	51,76	75,29
	Pomegranate	10	29,92	6,58	23,92	41,96
	Grape	10	52,67	3,45	43,92	55,69
	Fig	10	36,70	7,94	25,10	47,84
	Plum	10	56,59	8,08	42,35	73,73
	Apricot	10	39,65	8,86	28,24	53,33
Blue	Control	10	48,27	11,99	30,98	65,88
	Pomegranate	10	2,31	0,77	0,78	3,53
	Grape	10	20,59	5,18	10,98	28,63
	Fig	10	4,98	1,36	3,53	7,84
	Plum	10	28,90	6,99	18,04	39,61
	Apricot	10	11,88	2,77	8,24	15,29
Saturation	Control	10	36,80	8,02	26,00	51,00
	Pomegranate	10	92,90	2,77	89,00	98,00
	Grape	10	56,40	7,03	47,00	71,00
	Fig	10	86,10	3,28	81,00	91,00
	Plum	10	49,50	9,01	39,00	71,00
	Apricot	10	70,40	5,56	63,00	79,00
Lightness	Control	10	62,30	7,42	50,00	74,00
	Pomegranate	10	33,50	3,06	29,00	37,00
	Grape	10	45,70	4,42	38,00	52,00
	Fig	10	35,80	4,94	26,00	42,00
	Plum	10	50,50	7,52	40,00	65,00
	Apricot	10	39,80	3,43	35,00	46,00

Coloration in fish was first observed at the 4th measurement (Fig 1) and 7 mango fish were recorded in the control group while 18 gold in apricot, 10 bright yellow in pomegranate, 22 gold in grape, 17 mango in plum, 13 gold were detected in the fig groups. At the 5th measurement, 24 bright yellow color fish were recorded in the control group while there were 19 bright yellow in apricot, 19 orange and bright yellow in the pomegranate, 29 bright yellow in grape, 29 gold and bright yellow fish in plum, and 21 bright yellow and orange in the fig group. At the 6th measurement, the colors were fully formed and neither the color nor the numbers changed in later periods. Therefore, final color shades and numbers in groups were as follows: 32 bright yellow fish in the control group, 32 orange and bright yellow in apricot, 36 tangelo and orange in pomegranate, 37 bright yellow in grape, 37 bright yellow in plum, and 31 orange fish in the fig group. Looking at the final color and intensity distribution based on the Just color picker 5.5 program on the computer, red, green and blue colors were seen to be more prominent in the control, plum and grape seed oil groups contrary to the saturation values. Saturation was higher in the pomegranate group followed by fig and apricot.

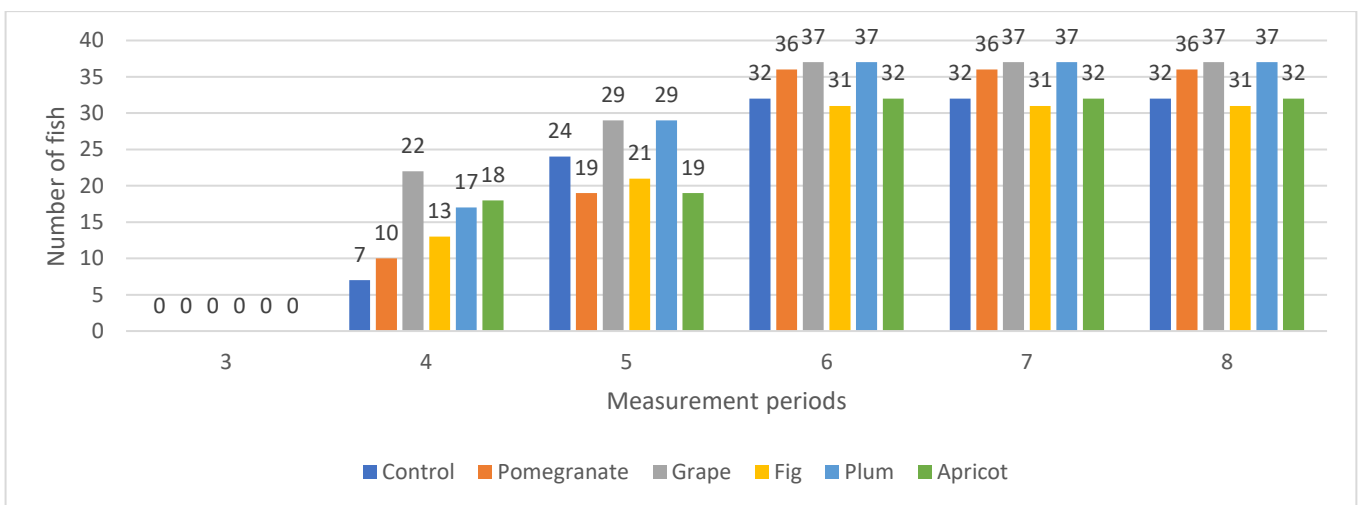


Figure 1. Coloration profile of the groups by periods

Positive effects of feeding with herbal products and active ingredients on growth are seen in many fish species such as goldfish, rockfish, tilapia fish, rainbow trout (Akoh & Min, 2008; Dananjaya et al., 2020; Gatlin et al., 2007; Gabriel et al., 2015; Heidarieh et al., 2013; Vieges & Contreras, 1994; Vincenzo et al., 2018). As one of those effective ingredients, essential fatty acids in which linoleic and linolenic fatty acids present in a balanced manner are recommended to be given externally for growth (Chou & Shiau, 1999; Aliyu-Paiko et al., 2010). Similar to the results of those papers, seed oils were found to have positive effects on fish growth in the current study. The weight gain values in the trial groups were higher than the control group due to the supplementation of cold-pressed seed oils to the diet because grape and fig seed oils are rich in linoleic and linolenic acid, while apricot and plum seed oils are rich in oleic acid. In this sense, the increase in weight in these groups could be attributed to the high amount of their essential fatty acid contents and other components (phenolic substances, vitamins and antioxidants).

The fact that the bodyweight gains were more pronounced with the preference of goldfish compared to other aquarium fish provided an advantage in terms of interpreting the research findings. Higher SGR values in all treatment groups particularly in fig and plum groups compared to the untreated control group indicates the positive effects of seed oils. Guoa et al. (2020) reported that the addition of different vegetable oils to feeds in juvenile golden pompano fish had a better effect on growth parameters and feed efficiency. They observed that a diet with vegetable oils had a significantly higher SGR compared to fish in the control group. However, they did not observe any statistical difference in feed conversion ratio (FCR). Abdel-Latif et al. (2020) stated that a dose-dependent effect of thyme essential oil taken with diet in carp fish had a positive effect on growth performance (weight gain, SGR and weight gain) compared to the control group. On the other hand, they stated that FCR values among all groups were not significantly affected by the addition of dietary thyme oil for carp.

Regarding the total length measurements, all the groups became closer during the last two periods ($p > 0.05$) whereas they were distinctly separated in terms of the bodyweight values ($p < 0.05$). This was not a surprising result considering the morphological development of the fish because, after a certain age, there is no elongation in the body of the goldfish, conversely, there is just a transverse enlargement. The Kn value (Relative Condition Factor) was not calculated because the change in body structure due to growth is in the form of a transverse expansion and there is no regular increase in body length in goldfish. They do not have a fusiform body shape, but egg-shaped.

It is known that fatty acids in the diet affect blood parameters (Mensink et al., 2003). For this reason, most dietary recommendations propose limiting the intake of saturated fatty acids and trans fats and replacing them with unsaturated, especially polyunsaturated fatty acids (Anonymous, 2010; Schwab et al., 2014). The reason why the glucose values in all groups were lower than the control group in this study is thought to be due to the rich unsaturated fatty acid content of the seed oils. Beyond this, the glucose value in the fig group was found to be the lowest (Table 8) which could be attributed to the high ratio of linoleic and linolenic acid (total Omega 3) content.

On the other hand, except for the plum group, cholesterol values in the trial groups were lower than the control group, which can be interpreted as a positive effect of unsaturated fatty acids. In

particular, fig, grape and pomegranate seed oils decreased the cholesterol levels in goldfish which can be explained by the fatty acid contents of these seed oils. Similar results are also consistent with previous findings. In studies supporting this view, using unsaturated and unprocessed products in the diet is recommended instead of saturated fatty acids due to their regulatory properties against cholesterol, triglyceride and glucose disorders (Siri-Tarino et al., 2010). For example, grape seed extract is reported to reduce the total cholesterol values in rats (Salmabadi et al., 2017; Doostan et al., 2017), in rabbits (Hassan et al., 2020), in broilers (Abu Hafsa & Ibrahim, 2018), and fish (Shakya, 2017). Similarly, a pomegranate peel extract supplemented diet is reported to decrease the blood cholesterol and triglyceride levels in *Oreochromis niloticus* (Sadeghipour et al., 2014) and dietary pomegranate seed oil is reported to decrease the blood cholesterol values of the rainbow trout (Acar et al., 2018). Moreover, 75.90% conjugated (cis 9,11,13). Additionally, punicic acid is specific to the pomegranate seed oil and not found in the other oils.

The intake of omega 3 and polyunsaturated fatty acids are reported to reduce the level of triglycerides (Weber & Raederstorff, 2000). In this research, triglyceride results in fig, plum, grape and pomegranate groups were lower than the control group whereas the apricot group was higher ($p < 0.05$). The raw material source, process conditions (cold press), vitamin, phenolic substances, antioxidant values and the richness of the obtained oil in polyunsaturated fatty acids are thought to be effective on these results.

Inclusion of natural pigment in the diets is reported to improve skin pigmentation in *Cyprinus carpio* (Ninwichian et al., 2020), in goldfish (Dananjayaa et al., 2020) and the carotenoid level directly determines the commercial value of the fish (Gouveia & Rema 2005; Paripatanamont et al. 1999). It is also effective on fish growth, metabolism and reproductive functions (Miki, 1991). As shown in Fig. 1, darker coloration was observed in the pomegranate and fig groups. Coloration with different shades is thought to be caused by the carotenoid content because carotenoids are biological pigments and responsible for the skin color in fish. In the final skin color analysis by the just color picker 5.5 program on the computer, the region above the right eye was chosen as the coloration in the head region in goldfish is a more prominent region. This program takes into account the dominant color distributions and the saturation and lightness. A one-sided evaluation will be misleading when the results obtained are given separately in terms of color and saturation. While the pomegranate seed oil group has a high value in terms of saturation, the control group stands out in terms of dominant color. When the color and saturation data are taken together, it is seen visually why more distinct colors are perceived in some groups. Based on this, it can be concluded that saturation is more determinant in color perception.

The substances that give the orange color to the oils are the α and β carotene groups and xanthophylls while anthocyanins as polyphenolic pigments for the red color. The high red color of pomegranate seed oil indicates that it is rich in anthocyanin. It is known that polyphenols are also effective on heart health and diabetes. For this reason, it is thought that the effect of pomegranate seed oil on glucose, cholesterol and triglycerides is due to its anthocyanin content. These findings are thought to be a guide for researchers and breeders interested in the subject.

The dietary supplementation of different seed oils in the current study revealed a significant improvement in growth

performance, feed utilization, coloration, blood glucose, cholesterol, and triglyceride levels. Seed oil-fed groups gained more weight compared to the control group. Fig and plum groups yielded higher SGR values. The glucose, cholesterol and triglyceride values in the fig group were found to be the lowest among all groups. No significant change was observed in terms of the total lengths except for small differences. Regarding the coloration, darker color shades were found in the pomegranate and fig groups. Considering the positive effects of natural color substances on health, it is thought that they have also positive effects on blood values.

4. Conclusions and Recommendations

The dietary supplementation of different seed oils in the current study improved the growth performance, feed utilization, coloration and decreased the blood glucose, cholesterol, and triglyceride levels in goldfish. Since, health, rapid growth and desired skin color are the most important factors for both sustainability and commercial gains of aquarium fisheries, this research showed that the use of dietary seed oils makes it possible to grow healthy and fast-growing fish in the desired color.

5. Acknowledge

The authors sincerely acknowledge the Fisheries and Diseases Laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine for their support and cooperation in the study.

References

Abbas, S., Haider, M.S., Kafayet, F., Ashraf, S., Masood, A. and Batool, M. (2020). Effect of citrus peels mingled diets on *Carassius auratus* coloration. *Pakistan Journal of Zoology*, 52, 519-524. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20161107041109>

Abdel-Latifa, H.M.R., Abdel-Tawwab, M., Khafagac, A.F. and Dawood, M.A.O. (2020). Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 526, 735432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735432>

Abu Hafsa, S. and Ibrahim, S. (2018). Effect of dietary polyphenol-rich grape seed on growth performance, antioxidant capacity and ileal microflora in broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102, 268-275. <https://doi.org/10.1111/jpn.12688>

Acar, Ü., Parrino, V., Kesbiç, O.S., Lo Paro, G., Saoca, C., Abbate, F., Yılmaz, S. and Fazio, F. (2018). Effects of different levels of pomegranate seed oil on some blood parameters and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout. *Frontiers in Physiology*, 23, 596. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00596>

Akoh, C.C. and Min, D.B. (2008). *Food lipids: Chemistry, Nutrition, Biotechnology. Part 3: Oxidation and antioxidants*. CRC Press, 3rd Edition. ISBN-13: 978-1420046632

Aliyu-Paiko, M., Hashim, R. and Shu-Chien, A.C. (2010). Influence of dietary lipid/protein ratio on survival, growth, body indices and digestive lipase activity in Snakehead (*Channa striatus*, Bloch 1793) fry reared in re-circulating water system. *Aquaculture Nutrition*, 16, 466-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00683.x>

Anonymous, (2010). The Joint FAO/WHO expert consultation on fats and fatty acids in human nutrition. Interim summary of conclusion and dietary recommendations on total fat and fatty acids. WHO HQ, Geneva https://www.who.int/nutrition/topics/FFA_interim_recommendations/en/

Anonymous, (2020). Giant goldfish color scheme. Last accessed on Feb 26th 2021. <https://www.schemecolor.com/giant-goldfish-colors.php>

Arici, M., Sağdıç, O. and Geçgel, Ü. (2005). Antibacterial effect of Turkish black cumin (*Nigella Sativa* L.) oils. *Grasas y Aceites*, 56, 259-262. https://core.ac.uk/download/pdf/26817_774.pdf

Chou, B.S. and Shiau, S.Y. (1999). Both n-6 and n-3 fatty acids are required for maximal growth of juvenile hybrid tilapia. *North American Journal of Aquaculture*, 61, 13-20. [https://doi.org/10.1577/15488454\(1999\)061<0013:BNANFA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/15488454(1999)061<0013:BNANFA>2.0.CO;2)

Dananjayaa, S.H.S., Manjulab, P., Dissanayakec, A.S., Edussuriyac, M., Radampolad, K., Parka, B.K. and De Zoysa, M. (2020). Growth performance and color enhancement of goldfish, *Carassius auratus*, fed diets containing natural dyes extracted from annatto (*Bixa orellana*) seeds. *Journal of Applied Aquaculture*, 32, 53-69. <https://doi.org/10.1080/10454438.2019.1629371>

Doostan, F., Vafafar, R., Zakeri-Milani, P., Pouri, A., Amini Afshar, R. and Abbasi, M.M. (2017). Effects of pomegranate (*punica granatum* l.) Seed and peel methanolic extracts on oxidative stress and lipid profile changes induced by methotrexate in rats. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 7, 269-274. <https://doi.org/10.15171/apb.2017.032>

Erdoğan, İ. and Kartal, M. (2011). Insights into research on phytochemistry and biological activities of *Prunus armeniaca* L. (Apricot). *Food Research International*, 44, 1238-1243. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.014>

Gabriel, N.N., Qiang, J., He, J., Ma, X.Y., Kpundeh, M.D. and Xu, P. (2015). Dietary Aloe vera supplementation on growth performance, some haemato-biochemical parameters and disease resistance against *Streptococcus iniae* in tilapia (GIFT). *Fish and Shellfish Immunology*, 44, 504-514. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.03.002>

Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R. and Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38, 551-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>

Guoa, H., Chena, C., Yana, X., Lib, Y., Wena, X., Youa, C., Monroigd, Ó., Tochera, D.R. and Wang, S. (2021). Effects of different dietary oil sources on growth performance, antioxidant capacity and lipid deposition of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 530, 735923. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735923>

Gouveia, L. and Rema, P. (2005). Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture nutrition*, 11, 19-23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x>

Hassan, F.A., Ibrahim, M.R.M. and Arafa, S.A. (2020). Effect of dietary pomegranate by-product extract supplementation on growth performance, digestibility, and antioxidant status of growing rabbit. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 1893-1901. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02201-0>

- Heidarieh, M., Mirvaghefi, A.R., Sepahi, A., Sheikhzadeh, N., Shahbazfar, A.A. and Akbari, M. (2013). Effects of dietary aloe vera on growth performance, skin and gastro-intestine morphology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 13, 367-373. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_2_20
- Mensink, R.P., Zock, P.L., Kester, A.D. and Katan, M.B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 1146-1155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>
- Miki, W. (1991). Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 63, 141-146. <https://doi.org/10.1351/pac199163010141>
- Ninwichian, P., Chookird, D. and Phuwan N. (2020). Effects of dietary supplementation with natural carotenoid sources on growth performance and skin coloration of fancy carp. *Cyprinus carpio L. Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19, 167-181. <https://doi.org/10.22092/IJFS.2019.118784>
- Paripatanamont, T., Tangtrongpaioj, J., Sailasuta, A. and Chansue, N. (1999). Effect of astaxanthin on the pigmentation of goldfish *Carassius auratus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 30, 454-460. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00993.x>
- Sadeghipour, A., Eidi, M., Kavgani, A.I., Ghahramani, R., Shahabzadeh, S. and Anissian, A. (2014). Lipid lowering effect of punica granatum l. Peel in high lipid diet fed male rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 432650. <https://doi.org/10.1155/2014/432650>
- Salmabadi, Z., Kouchesfahani, H.K., Parivar, K. and Karimzadeh, L. (2017). Effect of grape seed extract on lipid profile and expression of interleukin-6 in polycystic ovarian syndrome wistar rat model. *International Journal of Fertility and Sterility*, 11, 176-183. <https://doi.org/10.22074/IJFS.2017.5007>
- Schwab, U., Lauritzen, L., Tholstrup, T., Haldorssoni, T., Riserus, U., Uusitupa, M. and Becker, W. (2014). Effect of the amount and type of dietary fat on cardiometabolic risk factors and risk of developing type 2 diabetes, cardiovascular diseases, and cancer: a systematic review. *Food & Nutrition Research*, 58, 25145. <https://doi.org/10.3402/fnr.v58.25145>
- Shakya, S.R. (2017). Effect of herbs and herbal products feed supplements on growth in fishes: a review. *Nepal Journal of Biotechnology*, 5, 58-63. <https://doi.org/10.3126/njb.v5i1.18870>
- Siri-Tarino, P.W., Sun, Q., Hu, F.B. and Krauss, R.M. (2010). Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91, 502-9. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26285>
- Vieges, E.M.M. and Contreras, E.S.G. (1994). Effect of dietary crude palm oil and a deodorization distillate of soybean oil on growth of tambagui (*Colossoma macropomum*) fingerlings. *Aquaculture*, 124, 128. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90369-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90369-7)
- Vincenzo, P., Kesbiç, O.S., Acar, Ü. and Fazio, F. (2019). Hot pepper (*Capsicum sp.*) oil and its effects on growth performance and blood parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Natural Product Research*, 19, 1-5. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1550769>
- Yaşar, T.Ö., Yağcılar, Ç. and Yardımcı, M. (2020). Comparative efficacy of propofol and clove oil as sedatives in transportation of Jack Dempsey fish (*Rocio octofasciata*). *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 36, 8-15. <https://doi.org/10.15312/EurasianJVetSci.2020.253>
- Weber, P. and Raederstorff, D. (2000). Triglyceride-lowering effect of omega-3 LC-polyunsaturated fatty acids - A review. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 10, 28-37.



Nöral Doku Mühendisliği Uygulamalarına Yönelik Mikro-oluklu İpek Fibroin/Polietilen Oksit Film İskelelerin Geliştirilmesi

İlyas Özçiçek^{1*}

^{1*} İstanbul Medipol Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tıbbi Biyoloji Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4495-7395), iozcicek@medipol.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1123769)

ATIF/REFERENCE: Özçiçek, İ. (2022). Nöral Doku Mühendisliği Uygulamalarına Yönelik Mikro-oluklu İpek Fibroin/Polietilen Oksit Film İskelelerin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 343-348.

Öz

Nöral doku mühendisliği alanında, nanoteknolojinin ve biyomalzeme biliminin sunmuş olduğu yeni tekniklerle birlikte, alternatif sinir kılavuz kanalları geliştirmek için yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Fakat doğal ekstraselüler matriksi taklit edebilecek özellikte, intralüminal kanallı yapıda, uygun mikro/nano desenlemelere sahip, nöral hücreleri destekleyecek ve onlara kılavuzluk sağlayabilecek ideal bir nöral iskele henüz tam olarak geliştirilememiştir. Bu çalışmanın amacı; nöral doku mühendisliği uygulamalarına yönelik çeşitli kanal genişliklerine (1 µm, 5 µm ve 10 µm) sahip mikro-oluklu ipek fibroin/polietilen oksit (SF/PEO) film iskelelerin elde edilebilmesi için elektron demeti litografisi tekniğinin kullanımına ilaveten, dizayn edilen biyomalzemenin mekanik özelliğinin ve stabilitesinin geliştirilmesidir. Planlanan oluk genişliklerine başarıyla ulaşılmış olup, özellikle glutaraldehit buharına maruz bırakılan filmlerde stabilitenin optimal olarak sağlandığı gözlenmiştir. Yine yapıya PEO ilavesinin, filmlerin esnekliğini artırdığı görülmüştür. Geliştirilen biyomalzemenin, potansiyel nöral doku mühendisliği çalışmaları kapsamında; hüresel nöritlerin ve aksonların lineer hatlar boyunca ilerlemesine kılavuzluk etmesine yardımcı olabileceği ve bir sinir hasarı bölgesine implantasyonu sonrasında rejenerasyonu destekleyebileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İpek fibroin, Nöral doku mühendisliği, Mikro-oluklar, Elektron demeti litografisi, Aksonal kılavuzluk.

Development of Micro-grooved Silk Fibroin/Polyethylene Oxide Film Scaffolds for Neural Tissue Engineering Applications

Abstract

In the field of neural tissue engineering, intensive work is being done to develop alternative nerve guide channels with the new techniques offered by nanotechnology and biomaterials science. However, an ideal neural scaffold capable of mimicking the natural extracellular matrix, having an intraluminal channel structure, have suitable micro/nano patterns, can support neural cells and guide them has not been fully developed yet. The aim of this study is the use of electron beam lithography technique to obtain micro-grooved silk fibroin/polyethylene oxide (SF/PEO) film scaffolds with various channel widths (1 µm, 5 µm and 10 µm) for neural tissue engineering applications. In addition, it is also aimed to improve the mechanical properties and stability of the designed biomaterial. The planned groove widths were successfully achieved, and it was observed that the stability was optimally achieved, especially in films exposed to glutaraldehyde vapor. It has also been observed that the addition of PEO to the structure increases the flexibility of the films. It was concluded that it can help guide the progression of cellular neurites and axons along linear lines, within the scope of future potential neural tissue engineering studies of the developed biomaterial. It has also been evaluated that the material can promote regeneration after implantation at a nerve injury site.

Keywords: Silk fibroin, Neural tissue engineering, Micro-grooves, Electron beam lithography, Axonal guidance.

* Sorumlu Yazar: iozcicek@medipol.edu.tr

1. Giriş

Merkezi sinir sisteminde (MSS) hasar sonrasındaki rejenerasyon süreci, kendi inhibitör çevresinden dolayı ve aynı zamanda oluşan glial skar dokusu sebebiyle oldukça kısıtlı düzeydedir. Gelişen kist ve skar dokusu, rejenerasyonun önünde önemli bir bariyer olduğundan, nöritler hedeflere yeterince ulaşamamaktadır (Buss vd., 2004; Tucker ve Mearow 2008; Tabesh vd., 2009). Oluşan sinir hasarı sonrasında fonksiyonel yeniden kazanımı sağlamak için aksonların/nöritlerin lineer hatlar boyunca ilerlemelerini teşvik edecek biyomalzemelerin dizaynı, nöral doku mühendisliği alanında oldukça önemlidir. Bu noktada, bazı litografi teknikleri (elektron demeti litografisi, fotolitografi, plazma litografi, nano litografi ve kimyasal litografi vb.) kullanılmaktadır (Wade vd., 2014; Dalamagkas vd., 2016). Özellikle elektron demeti litografisi tekniğinin sunduğu yenilikçi yaklaşımlar sayesinde, oldukça yüksek hassasiyette ve çözünürlük düzeyinde, kararlı ve güvenilir mikro/nano desenlemeler; biyomalzemelerde ve çeşitli kalıp yüzeylerinde uygulanabilmektedir (Chen, 2015).

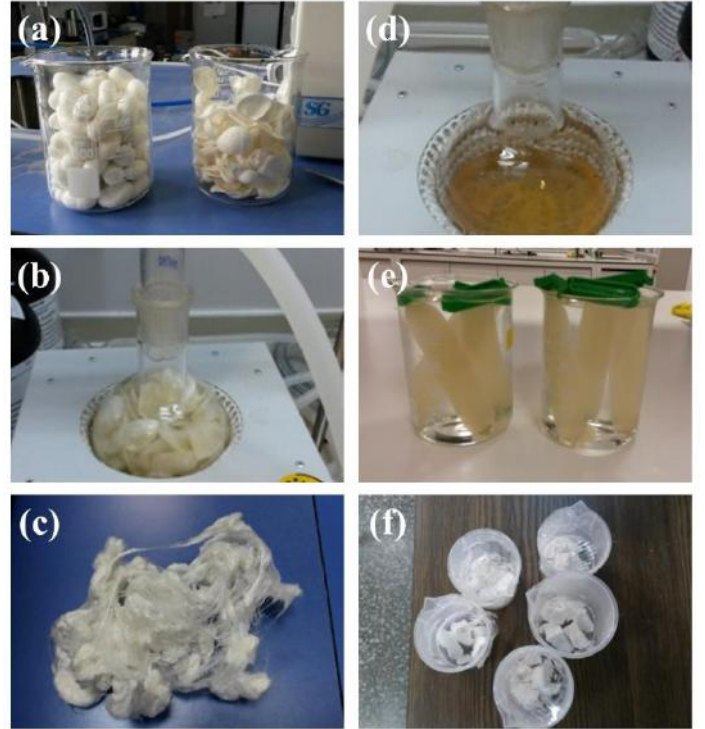
Hücre iskelesi materyali olarak kullanılabilen ipek fibroin, *Bombyx mori* (ipek böceği) kozaları kullanılarak oldukça yüksek verimle saflaştırılabilmektedir. Henüz işlenmemiş olan ipek materyali, fibroin (SF, %70) ve serisin (%30) olmak üzere 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Serisinin immün yanıt oluşturmaya sebebiyle, kimyasal işlemlerle ayrıştırılması gerekmektedir. İpek fibroin biyoyumlu, biyobozunur, biyolojik ortamda iyi tolere edilebilen, mekanik özellikleri güçlü doğal yapılı bir proteindir. İhtiva ettiği yan gruplar (amin, fenol, tiyol, karboksil vb.) sayesinde biyomoleküllerle yüzey modifikasyonu yapılabilmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde doku mühendisliği uygulamalarında popüler bir biyomalzeme haline gelmiştir (Sofia vd., 2001; Altman vd., 2003; Meinel vd., 2005; Wang vd., 2008). İpek fibroinin nöral doku mühendisliği kapsamında, film/fiber yapıda biyomalzeme olarak kullanıldığı çalışmalarda; özellikle primer olarak elde edilen nöral hücrelerde canlılığı desteklediği, lineer hatlar boyunca aksonal yönelmeyi/göçü teşvik ettiği ve oldukça biyoyumlu olduğu gösterilmiştir (Yang vd., 2007; Madduri vd., 2010; Zhang vd., 2012; White vd., 2015).

Bu çalışmanın amacı; nöral doku mühendisliği uygulamalarına yönelik çeşitli kanal genişliklerine (1 μm , 5 μm ve 10 μm) sahip mikro-oluklu ipek fibroin/polietilen oksit (SF/PEO) film iskelelerin elde edilebilmesi için elektron demeti litografisi tekniği ile Silikon (Si) kalıpların dizaynı sonrasında, spin kaplama tekniği kullanılarak ince film yapıdaki stabil düz ve mikrodeseanlı iskelelerin eldesidir. SF/PEO hibrit yapıdaki biyomalzemeyi stabil ve mekanik açıdan güçlü hale getirebilmek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmış ve sonuçlar ortaya konularak karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla hem yüzey mikrotopografyası açısından hem de kimyasal stabilizasyon işlemleri olarak farklı teknikler SF/PEO biyomalzeme için uygulanmıştır. Biyomalzeme, nanoteknoloji ve doku mühendisliğindeki gelişmelerle birlikte bazı ticari ürünler piyasada yer alsa da, buna rağmen nöral rejenerasyonu yeterli düzeyde destekleyebilecek nitelikte, ideal implant klinik ürünler henüz bulunmamaktadır. Geliştirilen film iskeleler kolaylıkla tübüler hale de getirilebilmekte olup, sonraki süreçte hem nöral hücreler için hem de özellikle MSS'deki hasarlar için aksonal kılavuzluğu sağlayabilecek potansiyel bir biyomalzeme olarak kullanılabilir yapıdadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İpek Fibroinin Saflaştırılması

İpekten fibroin proteininin saflaştırılması amacıyla, *Bombyx mori* (ipek böceği) kozaları (Bursa Kozabirlik) açılarak içindeki larvalardan temizlenmiş ve daha sonra %0,5'lik sodyum bikarbonat (NaHCO_3 , Sigma) çözeltisinde 1 saat boyunca kaynatılmıştır. Kaynayan ve yumuşayan kozalar 3-4 kez ılık distile su ile yıkandıktan sonra, 1 gün süreyle oda ısısında kurutulmuştur. İpek fibroini yapışkan ve toksik olan serisinden ayırmak için bir CaCl_2 (Sigma), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (Sigma) ve H_2O (1:2:8 molar oranda) çözeltisi hazırlanmıştır. Bu sıvıdan 100 mL yuvarlak balona alınıp, 60-70 °C'de inkübe edilmiş, üzerine 7.6 g ipek ilave edilerek 2-3 saat daha inkübasyona devam edilmiştir. Daha sonra 7.000 rpm'de 5 dk. boyunca santrifüj (Thermo Scientific-Sorvall Biofuge Stratos) edilmiş, üstteki sıvı ayrılarak diyaliz poşetine (Sigma) doldurulmuştur. İpek materyali distile su içinde 3 gün boyunca diyaliz edilerek, fibroin bütün safsızlıklarından arındırılmıştır. Ortamdan uzaklaşan Ca^{+2} iyonunun tayini, %5'lik (w/v) AgNO_3 (Sigma) çözeltisi ile yapılmıştır. AgNO_3 , Ca^{+2} iyonunun indikatörü olduğundan, ortamdaki Ca^{+2} varlığında beyaz bir çökelek oluşturmaktadır.



Şekil 1. İpek fibroinin saflaştırma aşamaları. (a) Larvalarından arındırılmış ipek kozaları. (b) %0,5'lik NaHCO_3 çözeltisinde kaynatılmış ipek. (c) Kurutulmuş ipek materyali. (d) Serisinin kaynatılarak uzaklaştırılması. (e) Fibroinin diyaliz işlemi ile saflaştırılması. (f) Liyofilize edilmiş ve kullanıma hazır olan ipek fibroin.

Figure 1. Purification steps of silk fibroin. (a) Silk cocoons free of larvae. (b) Silk boiled in 0.5% NaHCO_3 solution. (c) Dried silk material. (d) Removal of sericin by boiling. (e) Purification of fibroin by dialysis. (f) Silk fibroin lyophilized and ready to use.

Fibroin proteini safsızlıklardan ayrıldıkça daha şeffaf bir renk almaktadır. Saflaştırılan ipek fibroin; önce sıvı azot kullanılarak dondurulmuş, sonra liyofilizatöre (Christ, Alpha 1-2 LDplus) alınarak, 72 saat boyunca liyofilize edilmiştir. Elde edilen liyofilize ipek fibroinler, kullanılabildiği kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir (Rockwood vd., 2011) modifiye edilerek. İpek fibroin proteininin saflaştırma süreci ve basamakları görsel olarak Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Silikon Kalıpların Üretimi

Mikro-oluklu SF/PEO film iskelelerin elde edilebilmesi için öncelikli olarak Si-kalıpların dizaynı ve üretimi yapılmıştır. Üç farklı çatı genişliğine sahip Si-kalıplar, elektron demeti litografisi tekniği kullanılarak üretilmiştir. Elektron demeti litografisi tekniğinin sunduğu yeni yaklaşımlar sayesinde; oldukça yüksek hassasiyette ve çözünürlük düzeyinde, kararlı ve güvenilir desenlemeler yapılabilmektedir (Chen, 2015). Kalıplarda planlanan çatı genişlikleri (R) 1, 5 ve 10 µm; oluk genişliği (G) 1 µm ve oluk yüksekliği (H) ise 1 µm'dir. Kalıpların hazırlanmasında kısaca, planlanan mikrodeseinler silisyum yonga üzerine 1.4 µm fotorezist serilerek standart fotolitografi ile kanallar sisteme tanımlanmıştır. Daha sonra induktif olarak eşleştirilmiş plazma kuru aşındırıcı (ICP-RIE-Bilkent Üniversitesi-Sentech SI 500 Dry Etching System) ile SF₆ gazı kullanılarak istenilen derinlikteki aşındırmalar sağlanmıştır. Mikrokanalların oluşturulmasında elektron ışınları kullanılmıştır. Son olarak Silisyum yüzeydeki fotorezist temizlenmiştir. Elektron demeti litografisi tekniğiyle mikrodeseinleme işlemi uygulanan Si-kalıpların; oluk, çatı genişliklerinin ve derinliklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) karakterizasyonları yapılmıştır (Zeiss EVO HD 15) ve planlanan hedeflerle örtüşmeler incelenmiştir.

2.3. Düz Yüzeyle SF/PEO Film İskelelerin Hazırlanması ve Stabilizasyonu

Düz yüzeyle (S) SF/PEO film iskelelerin üretimi için öncelikle, liyofilize ipek fibroin formik asit (Sigma) içinde, 5 saat süreyle karıştırılarak %10'luk (w/v) fibroin çözeltisi hazırlanmıştır. Diğer taraftan polietilen oksit (PEO) (Sigma, Mw: 900.000) distile su içinde 60-70°C'de 24 saat çözüldükten sonra %5'lik (w/v) çözeltisi hazırlanmıştır. Sonra fibroin çözeltisi 7:3 (v/v) oranında, PEO çözeltisi ile karıştırılarak homojen SF/PEO hibrit polimer çözeltisi hazırlanmıştır. Spin kaplama tekniği kullanılarak, öncelikle küçük düz tabanlı cam petri için 5 mL SF/PEO çözeltisi kademe kademe homojen ve ince bir tabaka oluşturacak şekilde dökülerek, çeker ocak içinde 1 gece boyunca kurumaya bırakılmıştır. Filmler cam yüzeyden dikkatlice çıkartılarak, yüzey kimyası analizleri kapsamında FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) spektral ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Pelkin Elmer Spectrum Two equipped ATR apparatus).

İlk hazırlanan SF/PEO S film iskelelerin, sonraki çalışmalarda hücre kültürü vasat ortamını taklit edecek şekilde PBS veya distile su içine konulduğunda, fiziksel bütünlüklerini hemen kaybettikleri gözlenmiştir. Bu mekanik açıdan zayıflığın fibroin amorf yapısından kaynaklandığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu amorf yapının kristal yapıya dönüşmesi ya da çapraz bağlarla yapının daha stabil hale getirilmesi amacıyla farklı yöntemler denenmiştir. İlk olarak SF/PEO filmler %90'lık metanolla (Sigma) yarım saat muamele edilerek fibroindeki amorf yapıların kristal yapıya dönüştürülmesi amaçlanmıştır (Liu vd., 2011). Farklı olarak filmler %25'lik gluteraldehit

(Sigma) içinde 30 dk. bekletilerek veya %25'lik gluteraldehit buharına 3 saat maruz bırakılarak veya başlangıçtaki SF çözeltisine %1'i oranında gluteraldehit ya da genipin (Sigma) eklenerek çapraz bağların oluşturulması sağlanarak filmlerin stabilitesi artırılmaya çalışılmıştır. (Wang vd., 2013, Wang vd., 2014) modifiye edilerek. Daha sonra elde edilen SF/PEO filmler, 37°C'deki dH₂O içinde, 72 saat boyunca etüvde bekletilerek mekanik bütünlüklerini muhafaza edip etmedikleri gözlenmiştir.

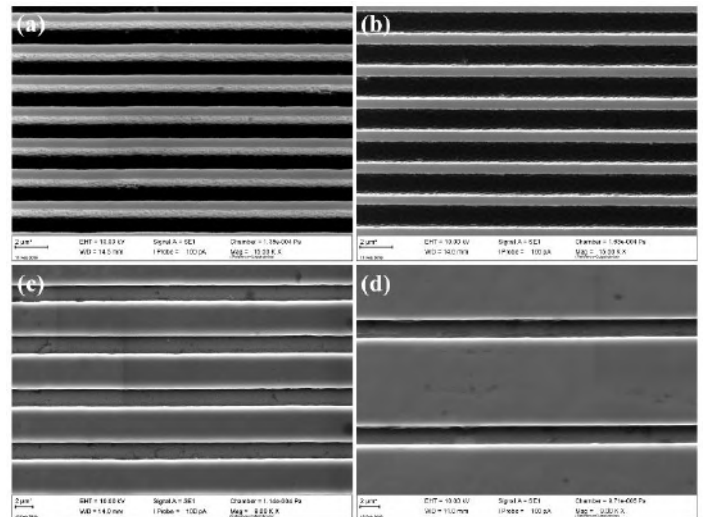
2.4. Mikro-oluklu SF/PEO Film İskelelerin Hazırlanması

Mikro-oluklu (G) SF/PEO film iskelelerin elde edilebilmesi için elektron demeti litografisi tekniği ile üretilmiş olan Si-kalıplar ve spin kaplama tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla voltaj/dönüş süreleri ve kullanılan polimer çözeltisinin hacimleri deneyerek optimize edilmiştir. Si-kalıplar öncelikle küçük cam tabanlı petrinin tam ortasına entegre edilmiş ve sonra petri spin kaplama sistemine dahil edilmiştir. Her bir petriye toplam 10 mL SF/PEO çözeltisi damla damla ilave edilerek çeker ocak içinde 1 gece boyunca kurumaya bırakılmıştır. Ertesi gün mikro-oluklu filmler, kalıplardan dikkatlice ayrılmış ve oda sıcaklığında saklanmıştır. SF/PEO S filmler için gözlemlenen en uygun stabilizasyon yaklaşımı olan %25'lik gluteraldehit buharına 3 saat maruz bırakma işlemi, tüm SF/PEO G film iskeleler için de uygulanmıştır. Elde edilen tüm filmlerin, 4 nm kalınlığında Au/Pd sputter kaplamaları (Leica EM ACE200) sonrasında yüzey SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda film iskele kalınlıkları kesitsel incelemelerle belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Elektron Demeti Litografisi Yöntemiyle Üretilen Silikon Kalıplar

Elektron demeti litografisi yöntemiyle üretilen Si-kalıpların SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Elektron demeti litografisi tekniğiyle üretilmiş Si-kalıpların SEM görüntüleri. (a) G1R1 kalıbın eğik görüntüsü. (b) G1R1 kalıp. (c) G1R5 kalıp. (d) G1R10 kalıp. (G: Oluk genişliği, R: Çatı genişliği, 1: 1µm genişlik, 5: 5µm genişlik, 10: 10µm genişlik).

Figure 2. SEM images of Si-molds produced by electron beam lithography technique. (a) Tilted view of G1R1 mold. (b) G1R1 mold. (c) G1R5 mold. (d) G1R10 mold. (G: Groove width, R: Roof width, 1: 1µm width, 5: 5µm width, 10: 10µm width).

Tablo. Si-kalıplara ait planlanan ve üretim sonrasında elde edilen oluk-çatı genişlik değerleri.

Table. Groove-roof width values of Si-molds planned and obtained after production.

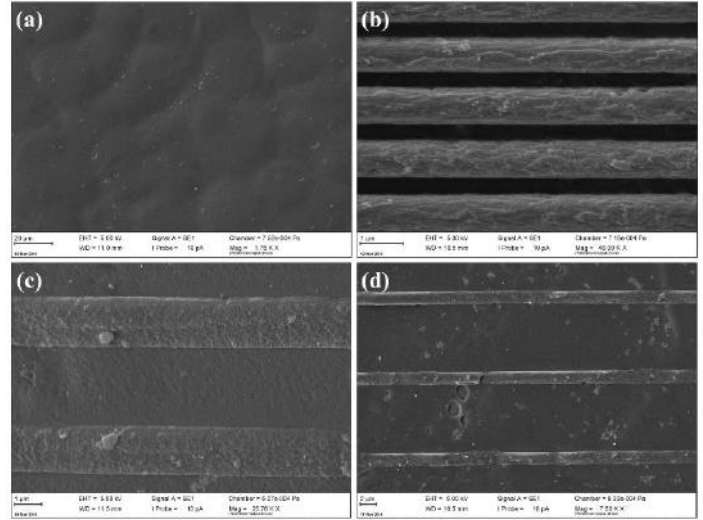
Si-Kalıp Grupları	Planlanan Kalıp Değerleri		
	Oluk Genişliği	Oluk Yüksekliği	Çatı Genişliği
G1R1	1 µm	1 µm	1 µm
G1R5	1 µm	1 µm	5 µm
G1R10	1 µm	1 µm	10 µm
Si-Kalıp Grupları	Üretim Sonrası Ölçülen Kalıp Değerleri		
	Oluk Genişliği	Oluk Yüksekliği	Çatı Genişliği
G1R1	1.2 µm	900 nm	800 nm
G1R5	1.8 µm	900 nm	4.5 µm
G1R10	1.8 µm	900 nm	9.5 µm

Tabloda ise planlanan oluk-çatı genişlikleri ile SEM karakterizasyonu sonucu elde edilen yaklaşık değerler verilmiştir. Si-kalıplarda çatı genişliği (R) 1, 5 ve 10 µm; oluk genişliği (G) ve yüksekliği (H) ise 1'er µm olarak planlanmıştır. Üretim sonrası elde edilen Si-kalıpların çatı genişliği G1R1, G1R5 ve G1R10 kalıpları için sırasıyla 800 nm, 4.5 µm ve 9.5 µm olarak ve aynı örnekler için oluk genişlikleri sırasıyla 1.2, 1.8, 1.8 µm olarak SEM ile ölçülmüştür. Yine oluk yüksekliği yaklaşık olarak 900 nm'dir. Ölçülen değerlerin hedeflenen değerlere oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Özellikle Si-kalıplardaki çatı genişlikleri, film dökümünde tam tersine oluk genişliğine karşılık geleceği için SF/PEO film iskelelerdeki oluk genişliği gruplarına oldukça yaklaşılmış olacaktır. Elde edilen Si-kalıplarda oluk ve çatıların oldukça düzgün morfolojide oldukları gözlenmiştir.

3.2. Düz ve Mikro-oluklu SF/PEO Film İskeleler

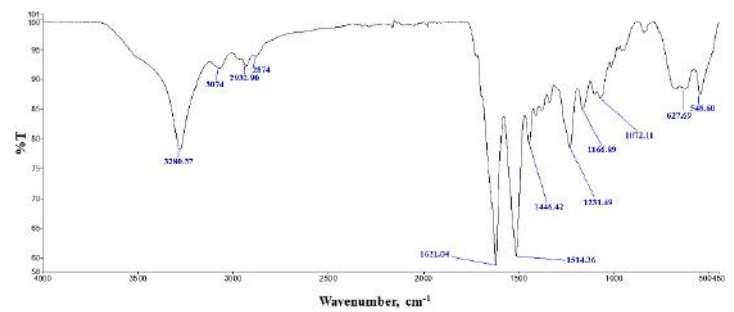
Üretilen düz ve mikro-oluklu SF/PEO film yapıdaki iskelelerin SEM görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir. Düz yüzeyli filmlerin oldukça homojen ve düzgün bir dağılım gösteren yüzey morfolojisi sergiledikleri görülmektedir (Şekil 3-a). SF/PEO iskelelerin stabilizasyonunu sağlamak amacıyla bir grup örnek %90'lık metanol içinde 30 dk. bekletilmiş, bir grubu %25'lik gluteraldehit içinde 30 dk. tutulmuş, diğer bir grup ise %25'lik gluteraldehit buharına 3 saat maruz bırakılmıştı. Bazı örnekler ise başlangıçtaki SF çözeltisinin %1'i oranında gluteraldehit çözeltisi veya genipin eklenmişti. SF/PEO filmlerin %90'lık metanolla yarım saat muamele edilmesi, yapıdaki amorf karakterdeki fibroin proteinlerin kristal yapıya dönüşmesini sağlamaya yöneliktir. Diğer taraftan filmlerin gluteraldehit ve genipin ile muamele edilmesi ise yapıya çapraz bağlar katarak, dayanıklılığı sağlamaya yöneliktir. Tüm bu uygulanan işlemlerde ipek iskelelerin sulu çözelti içerisinde mekanik bütünlüğünü muhafaza ederek, 72 saat boyunca stabil kalması hedeflenmiştir. Mekanik stabilizasyona yönelik bu yaklaşımlar içinde, morfolojik gözlemlere dayalı olarak en optimal sonuç, %25'lik gluteraldehit buharına 3 saat boyunca maruz kalan filmlerden alınmıştır. Bunun haricindeki diğer işlemlerde, 72. saat sonunda SF/PEO iskelelerin dağıldıkları ve bütünlüklerini kaybettikleri gözlenmiştir. Yine SF biyomateryale PEO katılması kırılğan yapıdaki ipek fibroini daha esnek bir hale getirmiştir.

SF/PEO filmlerin FTIR spektroskopi analiz sonuçları (Şekil 4) incelendiğinde, 3280 cm^{-1} bandındaki pik N-H gerilme titreşimini ifade etmekte olup, ayrıca primer amin fonksiyonel grubunu doğrulamaktadır. Yine 3074 cm^{-1} , 2932 cm^{-1} ve 2874 cm^{-1} 'deki gerilme titreşimleri ise C-H bağlarına aittir; ilaveten 1621 cm^{-1} bandındaki titreşim ise N-H bağı olup, primer amini doğrulamaktadır (Zhang vd., 2012; Ling vd., 2014).



Şekil 3. Spin kaplama tekniği ile hazırlanan SF/PEO film iskelelerin SEM görüntüleri. (a) SF/PEO S film yüzey. (b) SF/PEO G1 film yüzey. (c) SF/PEO G5 film yüzey. (d) SF/PEO G10 film yüzey. (SF: İpek fibroin, PEO: Polietilen oksit, S: Düz, G: Oluk genişliği, 1: 1 µm genişlik, 5: 5 µm genişlik, 10: 10 µm genişlik).

Figure 3. SEM images of SF/PEO film scaffolds prepared by spin coating technique. (a) SF/PEO S film surface. (b) SF/PEO G1 film surface. (c) SF/PEO G5 film surface. (d) SF/PEO G10 film surface. (SF: Silk fibroin, PEO: Polyethylene oxide, S: Smooth, G: Groove width, 1: 1 µm width, 5: 5 µm width, 10: 10 µm width).



Şekil 4. SF/PEO film iskele biyomateryalin FTIR spektroskopi analizi. (SF: İpek fibroin, PEO: Polietilen oksit, FTIR: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi).

Figure 4. FTIR spectroscopy analysis of SF/PEO film scaffold biomaterial. (SF: Silk fibroin, Polyethylene oxide, FTIR: Fourier-transform infrared spectroscopy).

Nöral doku mühendisliği kapsamındaki çalışmalarda hücresel çalışmalar da önemli olmakla birlikte, özellikle bu tür biyomalzeme dizaynlarının nihai hedefi üç boyutlu, tübüler ve implante edilebilir bir biyomateryal geliştirilmesidir. Dolayısıyla SF/PEO iskeleleri gluteraldehit buharına maruz bırakmak, yapıya ilave çapraz bağlar katarak mekanik stabiliteye yardımcı

olmuştur. PEO ilavesi ise yapıya esneklik sağlamıştır. Literatürdeki bir çalışmada, elektrospin tekniğiyle hazırlanan ipek fibroin/jelatin nanofiberleri, glüteraldehit buharına maruz bırakmanın, malzemeye çapraz bağlar sağlayarak stabilitesini ve mekanik özelliklerini artırdığı gösterilmiştir (Mohammadzadehmoghadam vd., 2019). Yine başka bir çalışmada glüteraldehid çapraz bağlı ipek fibroin film malzemelerde, esnekliğin ve stabilitenin yükseldiği bildirilmiştir (Wang vd., 2014).

Mikro-oluklu SF/PEO iskeleler başarılı bir şekilde spin kaplama sistemi ile Si-kalıplar üzerinde elde edilmiştir (Şekil 3 b-d). SEM görüntülerinden filmlerdeki planlanmış oluk genişliklerine oldukça yaklaşıldığı (1, 5 ve 10 µm) görülmektedir. Oldukça lineer paralel hatlara sahip ve periyodik olarak tekrar eden mikro-kanalların, nöral doku mühendisliği kapsamındaki çalışmalarda büyük bir kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle bu çalışma kapsamında farklı oluk genişliği varyasyonlarının oluşturulması, değişik hücre tipleri ve hayvan modelleri düşünüldüğünde, aksonal kılavuzluk sağlayarak optimal sonuca ulaşılabilmesi bakımından önemlidir. Nöral doku onarımı ve rejenerasyon stratejileri, doğrudan hastaların yaşam kalitelerini etkilediği için üzerinde oldukça yoğun olarak çalışılan bir alandır (Gu vd., 2015; Seddighi vd., 2016). Sinir hasarlarının doku mühendisliği yaklaşımlarıyla tedavisinde kullanılan biyomalzemeler; sentetik, doğal ya da her ikisinin belirli oranlarda karışımıyla elde edilen hibrit yapılar şeklinde olabilmektedir (Willerth vd., 2007). Doğal polimerlerin en büyük avantajı ekstraselüler matriks ortamını daha iyi taklit edebilmeleri ve hücrelerle daha iyi etkileşime geçebilmeleridir. Sentetik polimerlerin ise mekanik özellikleri daha iyi kontrol edilebilmektedir. Hidrofil ve biyobozunur olmaları, elastikiyeti ve mekanik açıdan güçlü olmaları sentetik polimerlerin avantajlarından bazılarıdır (Subramanian vd., 2009). Dolayısıyla bu çalışma kapsamında geliştirilen stabil, esnek, biyobozunur, mekanik açıdan güçlü ve aksonal kılavuzluğu sağlayabilecek özelliklere sahip SF/PEO G film iskeleler, hem doğal polimerin hem de sentetik polimerin avantajlarını taşımaktadır. Elektron demeti litografisi tekniğinin sunduğu yaklaşımlar sayesinde, oldukça güvenilir ve yüksek hassasiyette mikro-desenlemeler başarılı bir şekilde Si-kalıp yüzeylere uygulanarak, mikro-oluklu film iskeleler elde edilmiştir.

Nöral doku mühendisliği kapsamında, ipek fibroin kullanılarak elde edilen nanofiber ve film yapıdaki iskelelerin kullanıldığı *in vitro* çalışmalarda; DRG primer duyu nöronları, Schwann hücreleri ve primer hipokampus nöronları kullanılmıştır. Mikro/nano desenli ipek fibroin yapının; nöronlarda canlılığı desteklediği, aksonal uzamayı ve oryantasyonu teşvik ettiği, hücre yapışmasını ve göçünü artırdığı, yüksek düzeyde biyoyumlu olduğu gösterilmiştir (Yang vd., 2007; Madduri vd., 2010; Zhang vd., 2012; White vd., 2015). İpek fibroinin tübüler sinir kanalı halinde kullanıldığı ve sıçanlarla yapılan implantasyon çalışmalarında ise siyatik sinir hasarında 1 cm'lik boşluğu tamir ettiği, omuriliğin toraksik kısmındaki yarı-kesim bölgesindeki (T8-T10 ve T11) hasarlı nöronların rejenerasyonunu önemli düzeyde teşvik ettiği ve fonksiyonel geri kazanıma yardımcı olduğu gösterilmiştir (Yang vd., 2007; Wang vd., 2011; Wei vd., 2011; Wang vd., 2016; Xu vd., 2016; Jiao vd., 2017). Tüm bu literatür verileri ve bu çalışma kapsamında biyomalzeme tasarımına dair elde edilen sonuçlar birlikte ele alındığında, nöral doku mühendisliği alanında alternatif ve yenilikçi biyomalzeme dizaynlarına büyük

bir ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen film iskelelerin, sonraki süreçteki nöral hücre sel davranışları araştırmaya ve *in vivo* sinir rejenerasyonunu desteklemeye yönelik yeni çalışmalar için yol gösterici olabileceği sonucuna varılmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, elektron demeti litografisi tekniği kullanılarak, periyodik olarak tekrar eden üç farklı kanal genişliğine (1, 5 ve 10 µm) sahip ipek fibroin/polietilen oksit mikro-oluklu film yapıdaki iskeleler dizayn edilmiştir. Malzemenin mekanik özelliğini ve stabilitesini geliştirmek için farklı yaklaşımlar uygulanarak, en optimal sonuçlar glüteraldehit buharına maruz bırakma yoluyla elde edilmiştir. Yine yapıya PEO ilavesinin, filmlerin esnekliğini artırdığı görülmüştür. Geliştirilen biyomalzemenin, potansiyel nöral doku mühendisliği çalışmaları kapsamında; hücre sel nöritlerin ve aksonların lineer hatlar boyunca ilerlemesine kılavuzluk etmesine yardımcı olabileceği ve bir sinir hasarı bölgesine implantasyonu sonrasında rejenerasyonu destekleyebileceği değerlendirilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (BİDEB-2211-C) öncelikli alanlara yönelik doktora teşvik bursu ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın yapılmasına katkı sağladığı için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Kaynakça

- Altman, G. H., Diaz, F., Jakuba, C., Calabro, T., Horan, R. L., Chen, J., Lu, H., Richmond, J., & Kaplan, D. L. (2003). Silk-based biomaterials. *Biomaterials*, 24(3), 401–416. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(02\)00353-8](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00353-8)
- Buss, A., Brook, G. A., Kakulas, B., Martin, D., Franzen, R., Schoenen, J., Noth, J., & Schmitt, A. B. (2004). Gradual loss of myelin and formation of an astrocytic scar during Wallerian degeneration in the human spinal cord. *Brain*, 127, 34–44. <https://doi.org/10.1093/brain/awh001>
- Chen, Y. F. (2015). Nanofabrication by electron beam lithography and its applications: A review. *Microelectronic Engineering*, 135, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2015.02.042>
- Dalamagkas, K., Tsintou, M., & Seifalian, A. (2016). Advances in peripheral nervous system regenerative therapeutic strategies: A biomaterials approach. *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications*, 65, 425–432. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.04.048>
- Gu, X. S. (2015). Progress and perspectives of neural tissue engineering. *Frontiers of Medicine*, 9(4), 401–411. <https://doi.org/10.1007/s11684-015-0415-x>
- Jiao, G. L., Pan, Y. Q., Wang, C. C., Li, Z. X., Li, Z. Z., & Guo, R. (2017). A bridging SF/Alg composite scaffold loaded NGF for spinal cord injury repair. *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications*, 76, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.102>
- Ling, S. J., Qi, Z. M., Watts, B., Shao, Z. Z., & Chen, X. (2014). Structural determination of protein-based polymer blends with a promising tool: combination of FTIR and STXM spectroscopic imaging. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(17), 7741–7748. <https://doi.org/10.1039/c4cp00556b>

- Liu, H. F., Li, X. M., Zhou, G., Fan, H. B., & Fan, Y. B. (2011). Electrospun sulfated silk fibroin nanofibrous scaffolds for vascular tissue engineering. *Biomaterials*, 32(15), 3784-3793. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.02.002>
- Madduri, S., Papaloizos, M., & Gander, B. (2010). Trophically and topographically functionalized silk fibroin nerve conduits for guided peripheral nerve regeneration. *Biomaterials*, 31(8), 2323-2334. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.11.073>
- Meinel, L., Hofmann, S., Karageorgiou, V., Kirker-Head, C., McCool, J., Gronowicz, G., Zichner, L., Langer, R., Vunjak-Novakovic, G., & Kaplan, D. L. (2005). The inflammatory responses to silk films in vitro and in vivo. *Biomaterials*, 26(2), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.02.047>
- Mohammadzadehmoghadam, S., & Dong, Y. (2019). Fabrication and Characterization of Electrospun Silk Fibroin/Gelatin Scaffolds Crosslinked With Glutaraldehyde Vapor. *Frontiers in Materials*, 6. <https://doi.org/ARTN9110.3389/fmats.2019.00091>
- Rockwood, D. N., Preda, R. C., Yucel, T., Wang, X. Q., Lovett, M. L., & Kaplan, D. L. (2011). Materials fabrication from Bombyx mori silk fibroin. *Nature Protocols*, 6(10), 1612-1631. <https://doi.org/10.1038/nprot.2011.379>
- Seddighi, A., Nikouei, A., Seddighi, A. S., Zali, A. R., Tabatabaei, S. M., Sheykhi, A. R., Yourdkhani, F., & Naeimian, S. (2016). Peripheral Nerve Injury: A Review Article. *International Clinical Neuroscience Journal*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.22037/icnj.v3i1.12016>
- Sofia, S., McCarthy, M. B., Gronowicz, G., & Kaplan, D. L. (2001). Functionalized silk-based biomaterials for bone formation. *Journal of Biomedical Materials Research*, 54(1), 139-148. [https://doi.org/Doi10.1002/1097-4636\(200101\)54:1<139::Aid-Jbm17>3.0.Co;2-7](https://doi.org/Doi10.1002/1097-4636(200101)54:1<139::Aid-Jbm17>3.0.Co;2-7)
- Subramanian, A., Krishnan, U. M., & Sethuraman, S. (2009). Development of biomaterial scaffold for nerve tissue engineering: Biomaterial mediated neural regeneration. *Journal of Biomedical Science*, 16. <https://doi.org/Artn10810.1186/1423-0127-16-108>
- Tabesh, H., Amoabediny, G., Nik, N. S., Heydari, M., Yosefifard, M., Siadat, S. O. R., & Mottaghy, K. (2009). The role of biodegradable engineered scaffolds seeded with Schwann cells for spinal cord regeneration. *Neurochemistry International*, 54(2), 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2008.11.002>
- Tucker, B. A., & Mearow, K. M. (2008). Peripheral Sensory Axon Growth: From Receptor Binding to Cellular Signaling. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 35(5), 551-566. <https://doi.org/Doi10.1017/S0317167100009331>
- Wade, R. J., & Burdick, J. A. (2014). Advances in nanofibrous scaffolds for biomedical applications: From electrospinning to self-assembly. *Nano Today*, 9(6), 722-742. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2014.10.002>
- Wang L., Wang Y., Qu J., Hu Y., You R. and Li M. (2013). The Cytocompatibility of Genipin-Crosslinked Silk Fibroin Films. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 4(3), 213-221. doi: 10.4236/jbnb.2013.43026
- Wang, C. Y., Zhang, K. H., Fan, C. Y., Mo, X. M., Ruan, H. J., & Li, F. F. (2011). Aligned natural-synthetic polyblend nanofibers for peripheral nerve regeneration. *Acta Biomaterialia*, 7(2), 634-643. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.011>
- Wang, T. G., Xu, J., Zhu, A. H., Lu, H., Miao, Z. N., Zhao, P., Hui, G. Z., & Wu, W. J. (2016). Human amniotic epithelial cells combined with silk fibroin scaffold in the repair of spinal cord injury. *Neural Regeneration Research*, 11(10), 1670-1677. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.193249>
- Wang, Y. X., Qin, Y. P., Kong, Z. J., Wang, Y. J., & Ma, L. (2014). Glutaraldehyde Cross-linked Silk Fibroin Films for Controlled Release. *Advances in Materials and Materials Processing Iv, Pts 1 and 2*, 887-888, 541-546. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.887-888.541>
- Wang, Y., Rudym, D. D., Walsh, A., Abrahamsen, L., Kim, H. J., Kim, H. S., Kirker-Head, C., & Kaplan, D. L. (2008). In vivo degradation of three-dimensional silk fibroin scaffolds. *Biomaterials*, 29(24-25), 3415-3428. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.05.002>
- Wei, Y. J., Gong, K., Zheng, Z. H., Wang, A. J., Ao, Q., Gong, Y. D., & Zhang, X. F. (2011). Chitosan/silk fibroin-based tissue-engineered graft seeded with adipose-derived stem cells enhances nerve regeneration in a rat model. *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*, 22(8), 1947-1964. <https://doi.org/10.1007/s10856-011-4370-z>
- White, J. D., Wang, S. R., Weiss, A. S., & Kaplan, D. L. (2015). Silk-tropoelastin protein films for nerve guidance. *Acta Biomaterialia*, 14, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.11.045>
- Willerth, S. M., & Sakiyama-Elbert, S. E. (2007). Approaches to neural tissue engineering using scaffolds for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(4-5), 325-338. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.03.014>
- Xu, Y. Q., Zhang, Z. H., Chen, X. Y., Li, R. X., Li, D., & Feng, S. Q. (2016). A Silk Fibroin/Collagen Nerve Scaffold Seeded with a Co-Culture of Schwann Cells and Adipose-Derived Stem Cells for Sciatic Nerve Regeneration. *Plos One*, 11(1). <https://doi.org/ARTN10.1371/journal.pone.0147184>
- Yang, Y. M., Chen, X. M., Ding, F., Zhang, P. Y., Liu, J., & Go, X. S. (2007). Biocompatibility evaluation of silk fibroin with peripheral nerve tissues and cells in vitro. *Biomaterials*, 28(9), 1643-1652. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.12.004>
- Yang, Y., Chen, X., Ding, F., Zhang, P., Liu, J., & Gu, X. (2007). Biocompatibility evaluation of silk fibroin with peripheral nerve tissues and cells in vitro. *Biomaterials*, 28(9), 1643-1652. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.12.004>
- Yang, Y., Ding, F., Wu, H., Hu, W., Liu, W., Liu, H., & Gu, X. (2007). Development and evaluation of silk fibroin-based nerve grafts used for peripheral nerve regeneration. *Biomaterials*, 28(36), 5526-5535. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.09.001>
- Zhang, H., Li, L. L., Dai, F. Y., Zhang, H. H., Ni, B., Zhou, W., Yang, X., & Wu, Y. Z. (2012). Preparation and characterization of silk fibroin as a biomaterial with potential for drug delivery. *Journal of Translational Medicine*, 10. <https://doi.org/Artn11710.1186/1479-5876-10-117>
- Zhang, Q., Zhao, Y. H., Yan, S. Q., Yang, Y. M., Zhao, H. J., Li, M. Z., Lu, S. Z., & Kaplan, D. L. (2012). Preparation of uniaxial multichannel silk fibroin scaffolds for guiding primary neurons. *Acta Biomaterialia*, 8(7), 2628-2638. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2012.03.033>



Dengesiz ML-Tabanlı NIDS Veri Setlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması

Güneş Harman^{1*}, Emine Cengiz²

^{1*} Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5413-124X), gunes.guclu@yalova.edu.tr

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6695-9500), emine.cengiz@yalova.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1157441)

ATIF/REFERENCE: Harman, G., Cengiz, E. (2022). Dengesiz ML-Tabanlı NIDS Veri Setlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 349-356.

Öz

Ağ tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri (NIDS), ağda bulunan tüm cihazlardan gelen trafiği izlemek ve analiz etmek için kullanılır. Makine Öğrenimi (ML) tabanlı NIDS, günümüzde bilgisayar ağlarını siber saldırılara karşı korumak için önemli araçlardan biridir. ML tabanlı NIDS'in eğitimi ve değerlendirilmesi için ağ veri özellikleri önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ML modelinin doğruluğunu ve performansını değerlendirmek için birden çok veri kümesinin ortak temel özellik kümesi içermesi gerekir. Bu çalışmada ortak NetFlow özelliklerine sahip NIDS veri setleri (NF-UNSW-NB15, NF-BoT-IoT, NF-ToN-IoT ve NF-CSE-CIC-IDS2018) kullanılarak ikili sınıflandırma yapılmıştır. Veri setlerindeki saldırı ve normal akış (saldırı yok) sınıfları dengesiz dağılım göstermektedir. Bunun üstesinden gelmek için Rastgele Alt Örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma yöntemleri olarak Rastgele Orman, K-En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri ve Yapay Sinir Ağları algoritmaları kullanılmıştır. Farklı veri setlerinin yeniden örneklenmiş durumlarına, ML yöntemleri kullanılarak doğruluk ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan dört veri seti içinde en iyi sonucu Rastgele Orman algoritması vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağ Saldırı Tespit Sistemleri, Makine Öğrenmesi, NetFlow

Comparison of Classification Performances of Imbalanced ML-Based Nids Datasets

Abstract

Network Based Intrusion Detection Systems (NIDS) are used to track and analyze traffic from all devices on the network. Nowadays Machine Learning (ML) based NIDS is one of the important tools to protect computer networks against cyber attacks. Network data characteristics have a significant impact on training and evaluation of ML-based NIDS. Therefore, to evaluate the accuracy and performance of the ML model, multiple datasets must contain a common core set of features. In this study, binary classification was performed using NIDS datasets (NF-UNSW-NB15, NF-BoT-IoT, NF-ToN-IoT and NF-CSE-CIC-IDS2018) with common NetFlow features. The attack and benign classes in the datasets show an unbalanced distribution. To overcome this, the Random Undersampling method was used. Random Forest, K-Nearest Neighbors, Support Vector Machines and Artificial Neural Networks were used as classification methods. The accuracy and performance of different datasets were compared to the resampled cases using ML methods. As a result of the study, the Random Forest algorithm gave the best result for all four data sets.

Keywords: Network Intrusion Detection Systems, Machine Learning, NetFlow

* Sorumlu Yazar: gunes.guclu@yalova.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, çeşitli teknolojik uygulamaların performansını ve verimliliğini artırmak için Makine Öğrenimi (ML) yöntemleri kullanılmaktadır (Ghahramani, 2015). ML modelleri, uzmanlar tarafından gerçekleştirilemeyen karmaşık veri kalıplarını çıkarma ve öğrenme konusunda üstün yeteneklere sahiptir (Sarhan, Layeghy, Gallagher & Portmann, 2021). Bu modeller geleneksel bilgi işlem algoritmalarına göre daha iyi performans göstermektedir. Bu durum ML'nin kullanım alanını oldukça yaygınlaştırmıştır. Siber güvenlik alanında kullanılan modellerin amacı, kurumların güvenliğini geliştirmek ve güçlendirmek içindir (Buczak & Guven, 2015). Bu modeller bilgisayar ağlarının tehditlere karşı korunmasında kullanılmış (Apruzzese vd., 2018) ve gelişmiş algılama yetenekleri gerektiren karmaşık modern saldırılarını tespit etmiştir (Alrashdi vd., 2019).

Ağ tabanlı Saldırı Tespit Sistemleri (NIDS), gelen trafiği saldırı veya normal akış olarak sınıflandırarak ağ veri davranışlarını öğrenmeyi, aynı zamanda dijital ağları siber tehditlerden korumayı amaçlamıştır (Garcia-Teodoro vd., 2009). Geleneksel NIDS'ler, saldırı imzalarını gelen trafik imzalarıyla eşleştirerek, bilinen saldırılara karşı yüksek tespit doğruluğu sağlar (Garuba vd., 2008). Ancak, bu sistemler sıfır gün saldırıları olarak bilinen bilgisayar ağlarına yönelik görünmeyen tehditleri veya bilinen saldırıların yeni türlerini tespit edemez (Garcia-Teodoro vd., 2009). Bu nedenle saldırı davranışlarını öğrenmek ve ağdaki izinsiz girişleri tespit etmek için ML yöntemlerini uygulanır (Sinclair vd., 1999). Bu alanda birçok ML tabanlı NIDS geliştirilmiş ve belirli veri kümelerine uygulandığında çoğunlukla yüksek doğruluk elde edilmiştir (Sarhan, Layeghy & Portmann, 2021). Tüm veri kümeleri için standart bir özellik kümesine sahip olması, saldırı senaryolarında önerilen ML modellerinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu durum aynı zamanda modelin genellebilirliğinin ve ağ senaryolarında performansın değerlendirilmesini sağlar.

Bir bilgisayar ağının trafiğini izlemek ve analiz etmek; normal olmayan olayların hemen fark edilmesi, tıkanıklık sorunları, donanım tarafında meydana gelen hatalar ve güvenlik olayları gibi sorunların krize dönüşmeden fark edilip çözüm üretilmesini sağlar. Ağ trafiğini izlemede kullanılan araçlardan birisi de NetFlow'dur. NetFlow, yaygın olarak kullanılan bir ağ trafiği toplama için endüstri standardı bir protokoldür (Claise vd., 2004). 3. Katman ve sonrasında çalışır. NetFlow özellikleri, ağ saldırılarının tanımlanmasında önemli bir yere sahiptir.

Sınıflama performansını etkileyen unsurlar arasında birçok etken bulunmakla beraber; veri seti veya veri setlerinde kullanılan özellikler, kullanılan sınıflandırma algoritmaları ve sınıfların dağılımı en önemli kriterlerin başında gelmektedir. Bazı durumlarda bir veri setinde sınıflandırma algoritmalarını kullanmak tek başına yeterli olmayabilir. Bu amaçla sınıflandırma algoritmalarını daha iyi değerlendirebilmek için aynı özelliklere sahip farklı veri setleri kullanılmıştır. Ayrıca veri setlerindeki dengesiz örnek dağılımı aşırı öğrenmeye sebep olmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için yeniden örnekleme yapılmıştır.

Bu çalışmada ortak NetFlow özelliklerine sahip NIDS veri setleri (NF-UNSW-NB15, NF-BoT-IoT, NF-ToN-IoT ve NF-CSE-CIC-IDS2018) kullanılarak ikili sınıflandırma yapılmıştır. Veri setlerindeki dengesiz sınıf dağılımını ortadan kaldırmak için Rastgele Alt Örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma yöntemleri olarak Rastgele Orman (RO), K-En Yakın Komşuluk

(KNN), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmaları kullanılmıştır. Farklı veri setlerinin yeniden örneklenmiş durumlarına, ML yöntemleri uygulanarak doğruluk ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan dört veri seti içinde en iyi sonucu RO algoritması vermiştir. KNN algoritması için en iyi doğruluk oranı (%98.7), NF-UNSW-NB15 ve NF-CSE-CIC-IDS2018 veri setlerinde elde edilmiştir.

DVM algoritmasında en iyi sonuç (%96.8) NF-BoT-IoT veri setinde, YSA algoritmasında ise en iyi doğruluk oranı (%96.9) NF-CSE-CIC-IDS2018 veri setinde elde edilmiştir. Çalışma sonucunda ise en düşük performans (%60.7) NF-BoT-IoT veri setinde YSA algoritmasında elde edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı; aynı özelliklere sahip farklı veri setleri kullanılarak sınıflandırma algoritmalarının performanslarını karşılaştırmaktır. Kullanılan veri setleri dengesiz sınıf dağılımına sahip olduğundan, modelin verimini artırmak için dengesizlik oranı azaltılmalıdır. Bu oranı azaltmak için çoğunluk gruplarının veri büyüklüğünü azaltan bir veri örnekleme modeli kullanılmıştır.

Yapılan çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bahsedilen konular şu şekildedir. İkinci bölümde bu alanda yapılmış olan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Üçüncü bölüm çalışma kapsamında kullanılan veri setlerinden ve ML yöntemleri hakkında bilgi vermektedir. Dördüncü bölüm sınıflandırma algoritmalarının performans değerlendirmeleri ve sonuçlarını içermektedir. Son olarak sonuç bölümünde ise kullanılan sınıflandırma algoritmalarının ve veri setlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Literatür Taraması

Bu bölümde, NIDS özellik kümelerinin genellebilirliğini açıklamaya ve değerlendirmeye çalışan çalışmalardan bahsedilmektedir. ML modelinin veri setleri arasında performansının değerlendirilmesinin yapılabilmesi için ortak bir temel özellik kümesinin olması gerekir. Bunun için Sarhan vd. (Sarhan, Layeghy, Moustafa & Portmann, 2020) aynı 12 NetFlow tabanlı özelliği paylaşan dört veri kümesini oluşturdu ve yayınladı. Veri setleri, mevcut NIDS veri setlerinin NetFlow formatına dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. NetFlow özellikleri, paket başlıklarında bulduklarından dolayı paket incelemesi gerektiren karmaşık özelliklere oranla ağ trafiğinden çıkarılması daha kolaydır. Bu çalışmada Ekstra Ağaç sınıflandırıcı kullanılarak ikili ve çoklu sınıflandırma yapılmıştır.

Yazarlar (Sarhan, Layeghy & Portmann, 2021) önerilen özellik setini (Sarhan, Layeghy, Moustafa & Portmann, 2020) genişleterek toplam 43 NetFlow tabanlı özellik çıkarmışlardır. Oluşturulan ve etiketlenen veri setleri: NF-UNSW-NB15-v2, NF-BoT-IoT-v2, NF-ToN-IoT-v2 ve NF-CSE-CIC-IDS2018-v2 dir. Ortak özellik kümeleri, gelecekteki NIDS veri kümelerinde kullanılmak üzere önerilmektedir. Özellik kümesini değerlendirmek için Ekstra Ağaç sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Bu çalışmalarında yazarlar, daha önce oluşturdukları (Sarhan, Layeghy, Moustafa & Portmann, 2020) temel NetFlow veri kümelerini ve veri kümelerinin orijinal özellik kümelerini karşılaştırmışlardır. Önerilen NetFlow özellik seti, tüm veri setlerinde saldırı tespit doğruluğu açısından kıyaslandığında diğer özellik setlerinden daha iyi performans göstermektedir.

Sarhan vd. sıfır gün olarak da bilinen görünmeyen saldırıların tespitinde ML tabanlı NIDS'in performansını değerlendirmek için Sıfır Atış Öğrenmesi tabanlı bir yöntem önermişlerdir. ML modeli olarak Çok Katmanlı Algılayıcı ve Rastgele Orman (RO)

algoritmaları kullanılmıştır. NIDS veri setlerinden UNSW-NB15 ve NF-UNSW-NB15-v2 kullanılmıştır. Performans değerlendirilmesinde standart metriklere ek olarak, Sıfır Gün Tespit Oranı (Zero-Day Detection Rate) adı verilen yeni bir değerlendirme metriği tanımlanmıştır. Sonuçlar, ML tabanlı NIDS'in, sıfırıncı gün saldırılarına karşı önemli ölçüde koruma yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Sarhan, Layeghy, Gallagher & Portmann, 2021).

Sarhan vd. ortak bir özelliğin farklı ağ ortamlarına ve saldırı senaryolarına genelleştirilebilirliğini üzerine çalışmışlardır. İki özellik setini (NetFlow ve CICFlowMeter), üç temel veri setinde (CSE-CIC-IDS2018, BoT-IoT ve ToN-IoT) doğruluk açısından değerlendirilmiştir. Veri setlerinde bulunan ağ veri akışlarını sınıflandırmak için Derin İleri Besleneli Sinir Ağı ve RO sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Sonuçlar, ML modelleri algılama doğruluğunu geliştirmede NetFlow özelliğinin üstünlüğünü göstermektedir. Ayrıca, öğrenme modellerinin karmaşıklığı nedeniyle, ML modellerinin sınıflandırma kararlarını açıklamak ve yorumlamak için Yapay Zeka metodolojisi olan SHapley Additive ExPlanations (SHAP) yöntemi kullanılmıştır. İki ortak özellik setinin Shapley değerleri, her bir özelliğin ML tahminine katkısını belirlemek için çoklu veri setlerinde analiz edilmiştir (Sarhan, Layeghy & Portmann, 2021).

Meftah vd. UNSW-NB15 veri setini kullanarak iki aşamalı anomali tabanlı bir ağ saldırı tespit sistemi üzerine çalışmışlardır. En iyi veri kümesi özelliklerini seçmek için Özyinelemeli Özellik Yok Etme ve RO kullanılmıştır. Logistik Regression, Gradyan Artırma ve Destek Vektör Makinesi (DVM) yöntemleri kullanılarak izinsiz trafiği ve normal trafiği belirlemek için ikili bir sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmasının sonuçlarından en iyi performansı DVM (%82.11) vermiştir. Ardından, doğruluk oranını artırmak için DVM'nin çıktısı bir dizi çok terimli sınıflandırıcıya verilmiştir. Daha sonra, saldırıların türünü tahmin etmek için Karar Ağaçları (C5.0), Naive Bayes ve DVM yöntemleri kullanılarak çoklu sınıflandırma yapılmıştır. DVM'nin çıktısı saldırı türünün tahmin etme doğruluğunu artırmak için kullanılmıştır. DVM ile entegre edildikten C5.0 uygulanması en yüksek doğruluk oranını %12 kadar artırdığı gözlenmiştir (Meftah vd., 2019).

Jing ve Chen çalışmalarında izinsiz giriş tespiti için doğrusal olmayan bir ölçekleme yöntemine sahip DVM önermişlerdir. UNSW-NB15 veri seti, önerilen DVM tabanlı modelin etkinliğini göstermek için kullanılır. Hem ikili sınıflandırma hem de çoklu sınıflandırma üzerinde çalışma yapılmıştır. Önerilen yöntemin ikili sınıflandırması için doğruluğu %85.99 ve çoklu sınıflandırma için %75.77 bulunmuştur (Jing ve Chen, 2019).

Karataş vd. CSE-CIC-IDS2018 veri setinin dengesizlik oranını incelemişlerdir. Sistemin verimliliğini artırmak için Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) adı verilen sentetik bir veri üretme modeli kullanılarak dengesizlik oranı düşürülmüştür. ML modeli olarak Karar Ağacı, RO, K-En Yakın Komşu, Adaboost, Gradyan Artırma ve Lineer Diskriminant Analizi kullanılmıştır. Örneklenmiş bir veri kümesinin kullanılması sonucunda modellerin ortalama doğruluğunun %4.01 ile %30.59 arasında arttığı gözlenmiştir (Karataş vd., 2020).

3. Materyal ve Metod

3.1 Veri Seti

Ağları izlemek ve analiz etmek için ağ trafiğindeki bilgileri toplamak gereklidir (Sarhan, Layeghy, Moustafa & Portmann, 2020). Bu durum ya ağ trafiğindeki paketleri yakalayıp ya da akışlar biçiminde ağ paketlerinin bir özetini yakalayıp gerçekleştirir. Paket yakalama, ağ ve güvenlik analizi için trafik geçmişine tam erişim sağlar. Bu durum veri depolama için büyük kapasite gerektirebilir. Veri setinin büyük hacimli olması gizlilik ve güvenlik sorunlarını da beraberinde getirir. Diğer bir yöntem ise ağ trafiği özetini akışlar olarak yakalamaktır. Ağ akışı tarafından sağlanan bilgiler hem ağ güvenliği hem de uygun bir ağ planlaması için de bir gereklidir. NetFlow, Cisco tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir ve ağ akışlarını temsil etmek için kullanılmıştır (Kerr & Bruins, 2021).

Bu çalışmada kullanılan veri setleri ağ yapılarını temsil eden sanal ağ test yatakları aracılığıyla (virtual network testbeds) oluşturulmuştur. Bu tür veri setlerinin oluşturulmasında farklı saldırı senaryoları yürütülür, ilgili ağ trafiği yakalanır ve ilgili saldırı türü ile etiketlenir. Ek olarak, saldırı olmayan trafiği temsil eden normal ağ trafiği oluşturulur, ağ trafiği yakalanır ve etiketlenir. Hem kötü amaçlı hem de kötü amaçlı olmayan ağ trafiği, yerel paket yakalama (pcap) biçiminde yakalanır. Daha sonra veri akışıyla ilgili bilgileri temsil etmek için 12 veri özelliği nProbe aracı kullanılarak çıkarılmıştır. Tablo 1' de bu çıkarılan özellikler gösterilmiştir.

Tablo 1. NetFlow özellikleri (Table 1. NetFlow features)

Özellik	Açıklama
IPV4_SRC_ADDR	IPv4 kaynak adresi
IPV4_DST_ADDR	IPv4 hedef adresi
L4_SRC_PORT	IPv4 kaynak bağlantı noktası numarası
L4_DST_PORT	IPv4 hedef bağlantı noktası numarası
PROTOCOL	IP protokolü tanımlayıcı baytı
TCP_FLAGS	Tüm TCP bayraklarının kümülatifi
L7_PROTO	Katman 7 protokolü (sayısal)
IN_BYTES	Gelen bayt sayısı
OUT_BYTES	Giden bayt sayısı
IN_PKTS	Gelen paket sayısı
OUT_PKTS	Giden paket sayısı
FLOW_DURATION_MILLISECONDS	Milisaneye cinsinden akış süresi

NF-UNSW-NB15: UNSW-NB15 veri kümesinin NetFlow tabanlı formatı olarak geliştirilmiştir. Toplam veri akışı sayısı 1.623.118'dir. Bunun 72.406'sı (%4.46) saldırı örnekleri ve 1.550.712'si (%95.54) normal akıştır.

NF-BoT-IoT: BoT-IoT veri kümesinin NetFlow tabanlı formatı olarak geliştirilmiştir. Toplam veri akışı sayısı 600.100'dür. Bunun 586.241'i (%97.69) saldırı örneği ve 13.859'u (%2.31) normal akıştır.

NF-ToN-IoT: ToN-IoT veri kümesinin NetFlow tabanlı formatı olarak geliştirilmiştir. Toplam veri akışı sayısı

1.379.274'dür. Bunun 1.108.995'i (%80.4) saldırı örneği ve 270.279'u (%19.6) normal akıştır.

NF-CSE-CIC-IDS2018: CSE-CIC-IDS2018 veri kümesinin NetFlow tabanlı formatı olarak geliştirilmiştir. Toplam akış sayısı 8.392.401'dir. Bunun 1.019.203'ü (%12.14) saldırı örneği ve 7.373.198'i (%87.86) normal akıştır.

3.2. Veri Ön İşleme

Makine öğrenmesi modellerinin performanslarını etkileyen en önemli kriterlerden biri kullanılan veri seti veya veri setlerinin kullanışlı ve belirli bir formatta olmasıdır. Veri ön işleme; eksik değerleri doldurma, aykırı değerleri belirleme ve temizleme, tekrar eden verileri silme, dönüştürme, veri birleştirme, boyut azaltma gibi yöntemleri kullanarak veriyi daha kullanışlı bir hale getirmektedir. Bu çalışmada veri ön işleme iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Veri temizleme
2. Yeniden örnekleme

Veri Temizleme

Veri temizleme, veri analizine başlamadan önce verinin doğru olmasını sağlama işlemidir. Verilerin eksik, yanlış veya ilgisiz bölümlerinin belirlenmesi, sonrasında bu kısımların değiştirilmesi veya silinmesi işlemine dayanır. Amaç veri setlerinin bilgi içeriklerinin en iyi şekilde analiz edilmesini sağlamaktır. Bu çalışmanın veri temizleme aşamasında veri setindeki tüm girişlerden ağ saldırılarını sınıflandırırken kullanışlı olmayan (Söderström, 2021), (Wang vd., 2021) dört özellik kaldırılmıştır.

Bunlar IPV4_SRC_ADDR, L4_SRC_PORT, IPV4_DST_ADDR ve L4_DST_PORT dir.

Yeniden örnekleme

Algoritmaların performansına etki eden ve genellikle göz ardı edilen en önemli noktalardan biri veri setindeki sınıflar arası dengedir. Veri kümesi dengesizliği, modelin çoğunluk sınıfına önyargılı olacağından dolayı sınıflandırma problemlerinde hatalara yol açabilir. Dengesiz bir veri kümesi üzerinde eğitimin olumsuz etkisine karşı koymak için kullanılan üç ana yöntem vardır. Bu yöntemler; Aşırı Örnekleme, Alt Örnekleme ve Sentetik Veri Üretilmesidir. Aşırı Örnekleme sınıf dağılımları eşit oluncaya kadar azınlık sınıfına ait verilerden rastgele seçilen bir bölümünün örnekleri çoğaltılarak bu sınıfa ait veri sayısı artırılır. Yüksek düzeyde dengesiz sınıf dağılımı olan büyük bir veri setinin hesaplama maliyeti yüksek olabilir. Alt Örneklemede ise sınıf dağılımları eşit olana kadar çoğunluk olan sınıfın örneklerinden rastgele seçilen bir bölümünün silinmesiyle gerçekleşir. Bu yöntem veri boyutu çok büyük olduğu durumlarda kullanışlıdır. Az sayıda örneğe sahip durumlarda ise örnek uzayın rastgeleliği zarar görebilir. Bu yöntem hem veriyi daha dengeli hale getirir hem de veri boyutunu azalttığı için sınıflandırma yönteminin çalışma süresini kısaltabilir. Sentetik Veri Üretilmesi aşırı örnekleme yöntemine benzer yapıdadır. Farkı ise azınlık sınıfına ait verilerin bir bölümünün rastgele üretilmesi yerine yeni verilerin belli bir algoritma ile üretilmesidir. Bu çalışmada ise Rastgele Alt Örnekleme yöntemi kullanılarak sınıf dengesizliği problemi giderilmiştir.

Tablo 2'de Rastgele Alt Örnekleme yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra veri setlerinin saldırı ve normal akış sınıflarının dağılımları verilmiştir.

Tablo 2. Veri setlerinin saldırı ve normal akış sınıfları (Table 2. Attack and normal flow classes of datasets)

Veri Setleri	Rastgele Alt Örnekleme yapılmadan önce veri dağılımı			Rastgele Alt Örnekleme yapıldıktan sonra veri dağılımı		
	Toplam veri akış sayısı	Saldırı örnek sayısı	Normal Akış	Toplam veri akış sayısı	Saldırı örnek sayısı	Normal Akış
NF-UNSW-NB15	1.623.118	72.406	1.550.712	144.812	72.406	72.406
NF-BoT-IoT	600.100	586.241	13.859	27.718	13.859	13.859
NF-ToN-IoT	1.379.274	1.108.995	270.279	414.558	270.279	270.279
NF-CSE-CIC-IDS2018	8.392.401	1.019.203	7.373.198	2.038.406	1.019.203	1.019.203

3.3 Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Saldırı tespit sistemleri için öncelikle ağ akışının normal davranışı belirlenmelidir. Bunu gerçekleştirebilmek için sistemin bir öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmesi gerekir. Literatürde birçok ML algoritması bulunmaktadır. Bu çalışmada Rastgele Orman, K-En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri ve Sinir Ağları algoritmaları kullanılmıştır.

3.3.1 Rastgele Orman

Rastgele Orman (RO), sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılabilen denetimli ML yöntemidir (Belgiu & Drăguț, e-ISSN: 2148-2683

2016), (Kuş vd., 2021). Karar Ağaçlarını kullanarak bir karar ormanı oluşturur. Karar ağaçlarının en büyük problemlerinden biri aşırı öğrenmedir. RO bu problemin üstesinden gelmek için hem veri setinden hem de özellik setinden rastgele alt örnekler seçer ve bunları eğitir. Bu yöntemle karar ağaçları oluşturulur. Daha sonra karar ağaçları bireysel olarak tahminde bulunur. Regresyon probleminde karar ağaçlarının tahminlerinin ortalaması, sınıflandırma probleminde ise tahminler arasında en çok oy alan seçilir.

3.3.2 K-en yakın komşuluk

K-En Yakın Komşu (KNN) Algoritması, denetimli bir ML algoritmasıdır. KNN algoritması eğitim aşamasına sahip değildir (Zhang vd., 2017). KNN iki değer üzerinden tahmin yapar. Bunlar 'uzaklık' ve 'k komşuluk' sayısıdır. Uzaklık değeri, tahmin edilecek noktanın diğer noktalara uzaklığıdır. Uzaklık hesaplanırken genellikle Öklid fonksiyonu kullanılır. Ayrıca Manhattan, Minkowski ve Hamming fonksiyonları da kullanılabilir. Uzaklık hesaplandıktan sonra sıralama yapılır ve bu değer uygun olan sınıfa atanır. En yakın kaç komşu üzerinden hesaplama yapılacağını ise 'k komşuluk' sayısı belirler (Baykan & Khorram, 2021). K=1 olarak seçilirse aşırı öğrenme problemi ortaya çıkar. Çok büyük seçilirse de genel sonuçlar verecektir. Bu yöntemde optimum K değerini belirlemek problemin asıl konusu olarak düşünülebilir.

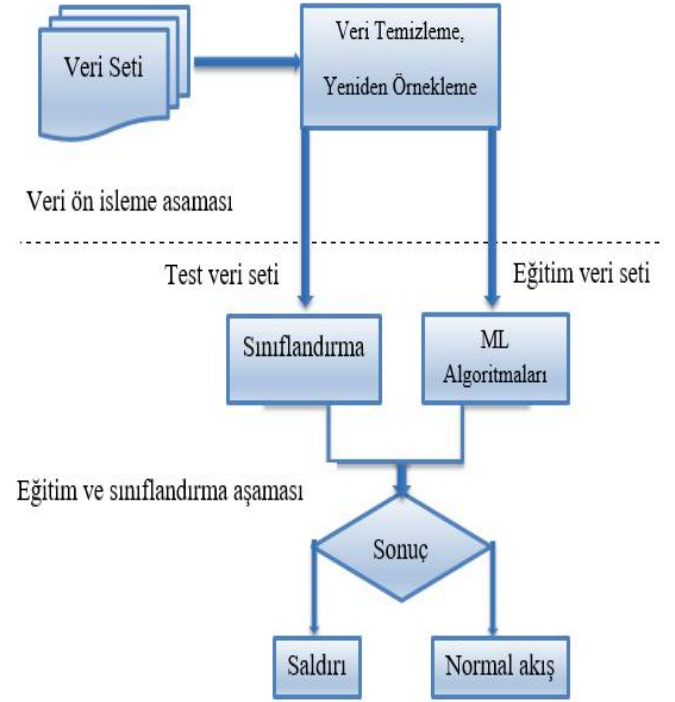
3.3.3 Destek vektör makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM) ilk olarak Vapnik (1995) tarafından sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için önerilmiştir (Bamakan vd., 2016). Genellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılır. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan veri sınıflandırmada kullanılabilir. Bir düzlem üzerine yerleştirilmiş noktaları birbirinden ayırmak için bir doğru çizer. Bu doğrunun, iki sınıfın noktaları için de maksimum uzaklıkta olması hedeflenir. Karmaşık ama küçük ve orta ölçekteki veri setleri için uygundur. Son zamanlarda, DVM'lere olan yoğun ilgi nedeniyle araştırmacılar tarafından birçok uygulama geliştirilmiştir (Ahmad vd., 2018). DVM, görüntü işleme ve örüntü tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.4 Yapay sinir ağları

Günümüzde birçok makine öğrenmesi modeli mevcuttur. Yapay Sinir Ağları (YSA) bunlardan sadece bir tanesidir. İnsan beyni ve sinir sisteminden esinlenerek tasarlanmış bir modeldir. YSA, katmanlar şeklinde kurulmuş bir yapıdır. İlk katman giriş, son katman çıkış ve orta kısımda bulunan katmanlar ise gizli katman olarak adlandırılır (Çakır & Angin, 2021). YSA'nın yapısında sisteme belli girdiler ve çıkması gereken değerler verilir. Bu girdiler katsayılar ile çarpılıp toplanır. Sonra bu toplam bir aktivasyon fonksiyonuna verilerek bir çıktı elde edilir. Beklenen değer ile sonuç değerinin farkı olarak hata oranı bulunur. Bu hata oranına göre katsayılar güncellenir ve bu işlem döngü şeklinde devam eder. Bu kısımda öğrenme işlemini gerçekleştirmiş olur.

Şekil 1' de önerilen modelin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen modelin akış şeması (Figure 1. Flow chart of the proposed model)

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde çalışmada kullanılan NetFlow veri setlerine uygulanan ML yöntemlerinin performans sonuçları verilmiştir. Eğitim ve test verilerinin rastgele oluşturulmasından dolayı performans sonuçlarının değişkenliğini azaltmak için K katlamalı Çapraz Doğrulama (K-Fold CrossValidation) yöntemi kullanılmıştır. K değeri 10 olarak seçilmiştir. Çalışmada çapraz doğrulama sırasında yeniden örnekleme yapılmıştır. 10 eşit parçaya bölünen veri kümesindeki bir parça test verisi olarak ayrılmıştır. Geriye kalan 9 parçada yeniden örnekleme yapılmış ve dengeli veride ML yöntemleri eğitilmiştir. Oluşturulan modellerin performans değerlendirilmesi test verisinde yapılmıştır. ML algoritmalarının performans ölçüsünü hesaplamak için Doğruluk, Duyarlılık, Kesinlik, F-Ölçütü ve RocAuc değerleri kullanılmıştır (Sokolova & Lapalme, 2009). Bu değerler denklem [1-4]'e göre hesaplanır.

Doğru Pozitif (True positive - TP): Saldırı örneği olduğu düşünülen durumun gerçekte de saldırı örneği olması.

Yanlış Pozitif (False positive - FP): Saldırı örneği olduğu düşünülen durumun gerçekte normal akış olması.

Yanlış Negatif (False negative -FN): Normal akış olduğu düşünülen durumun gerçekte saldırı örneği olması.

Doğru Negatif (True negative -TN): Normal akış olduğu düşünülen durumun gerçekte de normal akış olması.

Doğruluk (Accuracy): Doğru olarak sınıflandırılan örneklerin yüzdesidir.

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

Kesinlik (Precision): Pozitif olarak tahmin edilen değerlerin gerçekte kaç tanesinin pozitif olduğunu göstermektedir.

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

F1 Skoru: Kesinlik ve Duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını göstermektedir.

Duyarlılık (Recall): Pozitif olarak tahmin etmemiz gereken değerlerin ne kadarını pozitif olarak tahmin ettiğimizi gösteren bir metriktir.

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

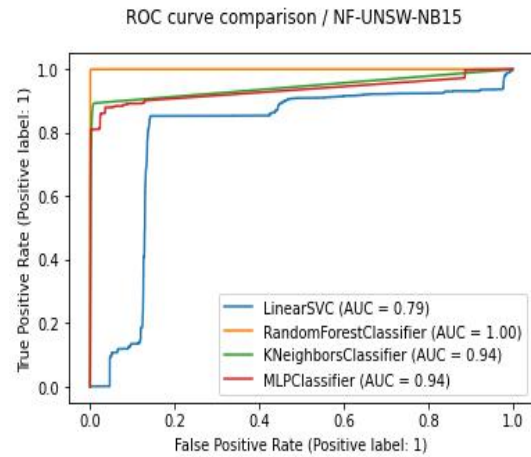
$$F_1 = 2 * \frac{\text{kesinlik} + \text{duyarlılık}}{\text{kesinlik} + \text{duyarlılık}} \quad (4)$$

Tablo 3' de dört farklı veri setine uygulanan ML yöntemlerinin doğruluk ve performans değerleri gösterilmiştir.

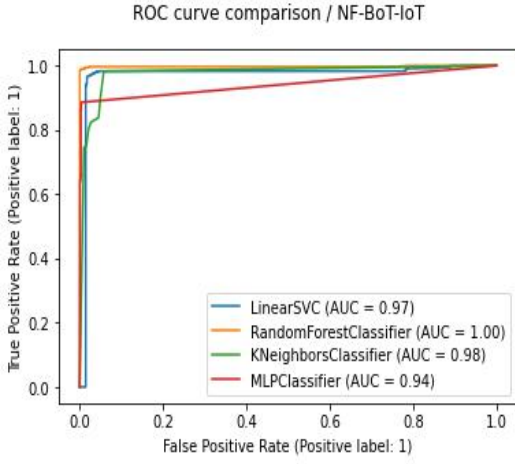
Tablo 3. ML yöntemlerinin doğruluk ve performans sonuçları (Table 3. Accuracy and performance results of ML method)

ML Yöntem	Veri Seti	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1 Skoru (%)
RO	NF-UNSW-NB15	99.9	99.2	99.1	99.2
	NF-BoT-IoT	99.4	99.9	99.4	99.7
	NF-ToN-IoT	99.5	99.9	99.4	99.7
	NF-CSE-CIC-IDS2018	99.9	99.1	98.5	98.8
KNN	NF-UNSW-NB15	98.7	83.6	88.9	86.2
	NF-BoT-IoT	82.7	99.9	82.3	90.3
	NF-ToN-IoT	90.4	99.8	88.2	93.6
	NF-CSE-CIC-IDS2018	98.7	84.5	88.9	86.6
DVM	NF-UNSW-NB15	87.9	23.9	78.4	36.6
	NF-BoT-IoT	96.8	99.9	96.7	98.3
	NF-ToN-IoT	79.7	96.0	78.0	86.1
	NF-CSE-CIC-IDS2018	85.9	20.5	74.9	32.2
YSA	NF-UNSW-NB15	79.4	13.9	69.7	23.2
	NF-BoT-IoT	60.7	99.9	59.8	74.8
	NF-ToN-IoT	81.0	97.9	78.0	86.8
	NF-CSE-CIC-IDS2018	96.9	62.0	82.3	70.7

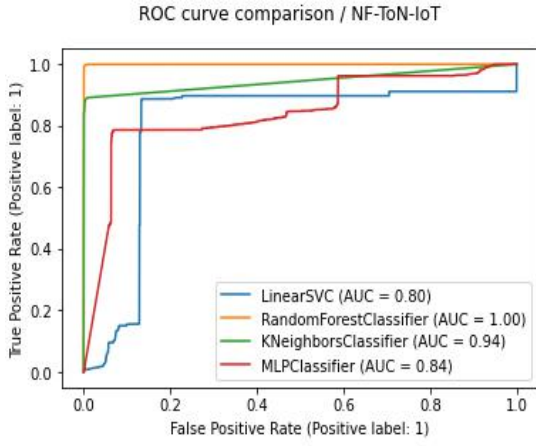
ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi, ikili sınıflandırma işlemlerinde gerçek pozitiflerin sayısının, yanlış pozitiflerin bir fonksiyonu olarak çizilmesiyle oluşan bir performans ölçümüdür. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC), modelin sınıfları ne kadar iyi ayırt edebildiğini gösterir. AUC, 0 ve 1 arasında bir değer alır. Bu değer büyüdükçe makine öğrenmesi modellerinin sınıfları ayırt etme başarısı da artar. Şekil 2, 3, 4 ve 5 da veri setlerine ait ROC eğrileri verilmiştir.



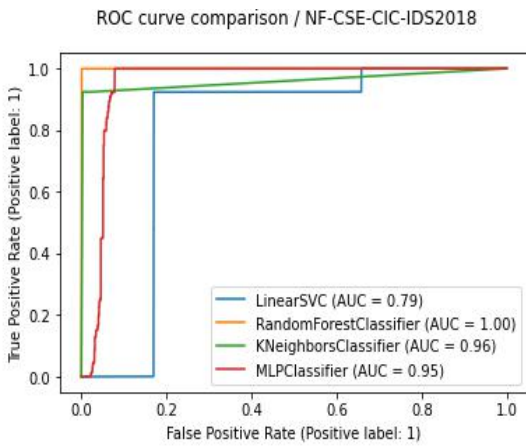
Şekil 2. NF-UNSW-NB15 veri setine ait ROC eğrisi (Figure 2. ROC curve of the NF-UNSW-NB15 dataset)



Şekil 3. NF-Bot-IoT veri setine ait ROC eğrisi (Figure 3. ROC curve of the NF-Bot-IoT dataset)



Şekil 4. NF-ToN-IoT veri setine ait ROC eğrisi (Figure 4. ROC curve of the NF-ToN-IoT dataset)



Şekil 5. NF-CSE-CIC-IDS2018 veri setine ait ROC eğrisi (Figure 5. ROC curve of the NF-CSE-CIC-IDS2018 dataset)

5. Sonuç

Günlük faaliyetlerimizin büyük ölçüde ağlar ve bilgi sistemlerine bağlı olması izinsiz giriş tespiti ve önlenmesini önemli bir konu haline getirmiştir. Saldırı tespit sistemlerinde e-ISSN: 2148-2683

çeşitli teknikler kullanılmıştır. Ancak son literatür çalışmalarına bakıldığında en yaygın olanı ML teknikleri olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada ortak özelliklere sahip NetFlow tabanlı NIDS veri setleri kullanılarak ikili sınıflandırma yapılmıştır. Modelin verimini artırmak için dengesizlik oranı azaltılmalıdır. Bu oranı azaltmak için çoğunluk gruplarının veri büyüklüğünü azaltan bir veri örnekleme modeli olan Rastgele Alt Örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma yöntemleri olarak Rastgele Orman, K-En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri ve Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarının doğruluk ve AUC değerlerine bakıldığında tüm veri setleri için en iyi sonucu RO algoritmasının verdiği gözlenmiştir. NF-UNSW-NB15 ve NF-BoT-IoT veri setleri için doğruluk değerinde en düşük performansı sırasıyla %79.4 ve %60.7 olarak YSA algoritmasının verdiği gözleniyor. Ancak NF-UNSW-NB15 veri seti için AUC değeri DVM sınıflandırıcı için en düşük değerdedir (0.79). NF-ToN-IoT ve NF-CSE-CIC-IDS2018 veri setlerinde ise doğruluk ve AUC değerlerinde düşük performans DVM algoritmasının verdiği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda veri setleri aynı özelliklere sahip olsa bile sınıflandırma algoritmalarının farklı performans gösterdiği gözlenmiştir.

Kaynakça

- Ahmad, I., Basher, M., Iqbal, M. J., & Rahim, A. (2018). Performance comparison of support vector machine, random forest, and extreme learning machine for intrusion detection. *IEEE access*, 6, 33789-33795. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2841987
- Akhan Baykan, N. & Khorram, T. (2021). Network Intrusion Detection using Optimized Machine Learning Algorithms . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (25) , 463-474 . DOI: 10.31590/ejosat.849723
- Alrashdi, I., Alqazzaz, A., Aloufi, E., Alharthi, R., Zohdy, M., & Ming, H. (2019, January). Ad-iot: Anomaly detection of iot cyberattacks in smart city using machine learning. In *2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 0305-0310). IEEE. DOI: 10.1109/CCWC.2019.8666450
- Apruzzese, G., Colajanni, M., Ferretti, L., Guido, A., & Marchetti, M. (2018, May). On the effectiveness of machine and deep learning for cyber security. In *2018 10th international conference on cyber Conflict (CyCon)* (pp. 371-390). IEEE. DOI: 10.23919/CYCON.2018.8405026
- Bamakan, S. M. H., Wang, H., Yingjie, T., & Shi, Y. (2016). An effective intrusion detection framework based on MCLP/SVM optimized by time-varying chaos particle swarm optimization. *Neurocomputing*, 199, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.03.031>
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Buczak, A. L., & Guven, E. (2015). A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications surveys & tutorials*, 18(2), 1153-1176. DOI: 10.1109/COMST.2015.2494502
- Claise, B. (2004). Cisco systems netflow services export version 9 (No. rfc3954).

- Çakır, B. & Angın, P. (2021). Zamansal Evrişimli Ağlarla Saldırı Tespiti: Karşılaştırmalı Bir Analiz . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat 2021 Ocak , 204-211 . DOI: 10.31590/ejosat.848784
- Garcia-Teodoro, P., Diaz-Verdejo, J., Maciá-Fernández, G., & Vázquez, E. (2009). Anomaly-based network intrusion detection: Techniques, systems and challenges. *computers & security*, 28(1-2), 18-28. doi:10.1016/j.cose.2008.08.003
- Garuba, M., Liu, C., & Fraites, D. (2008, April). Intrusion techniques: Comparative study of network intrusion detection systems. In *Fifth International Conference on Information Technology: New Generations (ing 2008)* (pp. 592-598). IEEE. DOI: 10.1109/ITNG.2008.231
- Ghahramani, Z. (2015). Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*, 521(7553), 452-459. <https://doi.org/10.1038/nature14541>
- Jing, D., & Chen, H. B. (2019, October). SVM based network intrusion detection for the UNSW-NB15 dataset. In *2019 IEEE 13th international conference on ASIC (ASICON)* (pp. 1-4). IEEE. DOI: 10.1109/ASICON47005.2019.8983598
- Karatas, G., Demir, O., & Sahingoz, O. K. (2020). Increasing the performance of machine learning-based IDSs on an imbalanced and up-to-date dataset. *IEEE Access*, 8, 32150-32162. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973219
- Kerr DR, Bruins B L, (2021) U.S. Patent No. 6,243,667. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Kuş, İ. , Bozkurt Keser, S. & Yolaçan, E. (2021). Saldırı Tespit Sistemlerinde Topluluk Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat 2021 Supplement 1 , 725-734 . DOI: 10.31590/ejosat.971875
- Meftah, S., Rachidi, T., & Assem, N. (2019). Network based intrusion detection using the UNSW-NB15 dataset. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 8(5), 478-487. DOI: <http://dx.doi.org/10.12785/ijcds/080505>
- Sarhan, M., Layeghy, S., & Portmann, M. (2021). Evaluating Standard Feature Sets Towards Increased Generalisability and Explainability of ML-based Network Intrusion Detection. *arXiv preprint arXiv:2104.07183*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.07183>
- Sarhan, M., Layeghy, S., & Portmann, M. (2022). Towards a standard feature set for network intrusion detection system datasets. *Mobile Networks and Applications*, 27(1), 357-370. <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01843-0>
- Sarhan, M., Layeghy, S., Gallagher, M., & Portmann, M. (2021). From Zero-Shot Machine Learning to Zero-Day Attack Detection. *arXiv preprint arXiv:2109.14868*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.14868>
- Sarhan, M., Layeghy, S., Moustafa, N., & Portmann, M. (2020). Netflow datasets for machine learning-based network intrusion detection systems. In *Big Data Technologies and Applications* (pp. 117-135). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-72802-1_9
- Sinclair, C., Pierce, L., & Matzner, S. (1999, December). An application of machine learning to network intrusion detection. In *Proceedings 15th annual computer security applications conference (ACSAC'99)* (pp. 371-377). IEEE. DOI: 10.1109/CSAC.1999.816048
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information processing & management*, 45(4), 427-437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
- Söderström, A. (2021). Anomaly-based Intrusion Detection Using Convolutional Neural Networks for IoT Devices. MSc Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden.
- Wang, C., Wang, B., Sun, Y., Wei, Y., Wang, K., Zhang, H., & Liu, H. (2021). Intrusion Detection for Industrial Control Systems Based on Open Set Artificial Neural Network. *Security and Communication Networks*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4027900>
- Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Wang, R. (2017). Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 29(5), 1774-1785. DOI: 10.1109/TNNLS.2017.2673241



Fibonacci 3-Parameter Generalized Quaternions

Göksal Bilgici^{1*}

^{1*} Kastamonu University, Faculty of Education, Department of Elementary Mathematics Education, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9964-5578),
gbilgici@kastamonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Ağustos 2022 ve Kabul Tarihi 9 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1166686)

ATIF/REFERENCE: Bilgici, G. (2022). Fibonacci 3-Parameter Generalized Quaternions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 357-361.

Abstract

There are many studies on Fibonacci quaternions and their generalizations. Recently, Şentürk and Ünal (2022) introduced 3-parameter generalized quaternions. The goal of this study is to introduce Fibonacci and Lucas 3-parameter generalized quaternions and to investigate their properties. After obtaining Binet formulas for these quaternions, generalizations of some well-known identities are presented.

Keywords: Fibonacci quaternions, Lucas quaternions, 3-parameter generalized quaternions.

Genelleştirilmiş 3-Parametrelili Fibonacci Kuaterniyonları

Öz

Fibonacci kuaterniyonları ve bu kuaterniyonların genelleştirmeleri hakkında birçok çalışma göze çarpmaktadır. Geçtiğimiz günlerde Şentürk and Ünal (2022), 3-parametrelili genelleştirilmiş kuaterniyonları tanıtmışlardır. Bu çalışmada genelleştirilmiş 3-parametrelili Fibonacci ve Lucas kuaterniyonları tanıtılmış ve özellikleri araştırılmıştır. Bu kuaterniyonlar için Binet formülleri elde edildikten sonra iyi bilinen bazı özdeşliklerin genelleştirmeleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fibonacci kuaterniyonları, Lucas kuaterniyonları, Genelleştirilmiş 3-parametrelili kuaterniyonlar.

* Sorumlu Yazar: gbilgici@kastamonu.edu.tr

1. Introduction

Fibonacci and Lucas numbers may be the most popular sequences among integer sequences. For $n > 1$, Fibonacci numbers satisfy the second order recurrence relation

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$$

with the initial conditions $F_0 = 0$ and $F_1 = 1$. Lucas numbers also satisfy the same recurrence relation, namely, for $n > 1$

$$L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$$

but the initial conditions are $L_0 = 2$ and $L_1 = 1$. Although there are many interesting relation between these two sequences, the most important one is the following identity

$$L_n = F_{n-1} + F_{n+1}.$$

Generating functions for the Fibonacci sequence $\{F_n\}$ and Lucas sequence $\{L_n\}$ are

$$\sum_{n=0}^{\infty} F_n x^n = \frac{x}{1-x-x^2}$$

and

$$\sum_{n=0}^{\infty} L_n x^n = \frac{2-x}{1-x-x^2}$$

respectively. Binet’s formulas for these are

$$F_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \text{ and } L_n = \alpha^n + \beta^n$$

respectively, where $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ and $\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$ are roots of the equation $x^2 - x - 1 = 0$. The root α is the golden ratio and it is a well-known real number among metallic ratios. We can refer to (Koshy, 2001) for more information about Fibonacci and Lucas numbers.

Sir R. Hamilton introduced quaternions as an extension of complex numbers. A quaternion q is shown $q = a + bi + cj + dk$ where a, b, c, d are reals and i, j, k satisfy the following conditions

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1,$$

$$ij = -ji = k, jk = -kj = i, ki = -ik = j.$$

The set of all quaternions is

$$\mathcal{H} = \{a + bi + cj + dk : a, b, c, d \in \mathbb{R}\}.$$

Due to the lack of commutativity, Hamilton quaternions form a skew field. Following Hamilton, a number of different quaternion algebras such as split-quaternions, semi-quaternions, split-semi quaternions, $\frac{1}{4}$ -quaternions and commutative quaternions were studied.

Recently, Şentürk and Ünal (2022) introduced 3-parameter generalized quaternions. The set of 3-parameter generalized quaternions is

$$\mathbb{K} = \{a_0 + a_1i + a_2j + a_3k : a_0, a_1, a_2, a_3 \in \mathbb{R}\}$$

where the versors $1, i, j$ and k satisfy the following multiplication rules

Table 1. Multiplication rules of versors

	1	i	j	k
1	1	i	j	k
i	i	$-\lambda_1\lambda_2$	λ_1k	$-\lambda_2j$
j	j	$-\lambda_1k$	$-\lambda_1\lambda_3$	λ_3i
k	k	λ_2j	$-\lambda_3i$	$-\lambda_2\lambda_3$

It should be noted that λ_1, λ_2 and λ_3 are arbitrary real numbers.

Fibonacci quaternions were introduced by Horadam (1963). He also used two generalizations of Fibonacci numbers to generalize Fibonacci quaternions. Similar to Horadam’s study, Iyer (1969) defined Lucas quaternions. Halıcı (2012) gave Binet’s formulas for the Fibonacci and Lucas quaternions and this study was a milestone in this theory, as Binet’s formulas allowed to obtain identities between terms of Fibonacci and Lucas quaternion sequences. Following Halıcı, a number of study investigating Fibonacci and Lucas quaternions or their generalizations have been done. Fibonacci split quaternions (Akyiğit, Kösal & Tosun, 2013) and dual Fibonacci quaternions (Nurkan & Güven, 2015) are examples of using classical Fibonacci and Lucas numbers over a quaternion algebra. Another type of studies in literature used generalizations of Fibonacci and Lucas numbers over any quaternion algebra (Akyiğit, Kösal & Tosun, 2014; Aydın, 2021; Bilgici, Tokeşer & Ünal 2017; Flaut & Savin, 2015; Halıcı & Karataş, 2017; Polatlı, Kızılateş & Kesim, 2016; Tan, Yılmaz & Şahin, 2016; Yüce & Aydın, 2016).

2. Definitions, Generating Functions and Binet’s Formulas

Definitions of Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions are given in the following.

Definition 2.1. For any non-negative integer n , n th Fibonacci generalized 3-parameter quaternion is

$$\mathcal{F}_n = F_n + F_{n+1}i + F_{n+2}j + F_{n+3}k$$

and n th Lucas generalized 3-parameter quaternion is

$$\mathcal{L}_n = L_n + L_{n+1}i + L_{n+2}j + L_{n+3}k$$

where F_n and L_n are the classical Fibonacci and Lucas numbers.

Corollary 2.2. For any non-negative integer n , Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternion satisfy the following recurrence relations

$$\mathcal{F}_n = \mathcal{F}_{n-1} + \mathcal{F}_{n-2}$$

and

$$\mathcal{L}_n = \mathcal{L}_{n-1} + \mathcal{L}_{n-2}$$

respectively.

By using the identities $F_{-n} = (-1)^{n+1}F_n$ and $L_{-n} = (-1)^nL_n$ for the classical Fibonacci and Lucas numbers, we obtain the following relations

$$\mathcal{F}_{-n} = (-1)^{n+1}(F_n - F_{n+1}i + F_{n+2}j - F_{n+3}k)$$

and

$$\mathcal{L}_{-n} = (-1)^n(L_n - L_{n+1}i + L_{n+2}j - L_{n+3}k).$$

Binet's formulas for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions are in the next theorem.

Theorem 2.3. For any integer n , n th Fibonacci generalized 3-parameter quaternion is

$$\mathcal{F}_n = \frac{\tilde{\alpha}\alpha^n - \tilde{\beta}\beta^n}{\alpha - \beta}$$

and n th Lucas generalized 3-parameter quaternion is

$$\mathcal{L}_n = \tilde{\alpha}\alpha^n + \tilde{\beta}\beta^n$$

where $\tilde{\alpha} = 1 + \alpha i + \alpha^2 j + \alpha^3 k$ and $\tilde{\beta} = 1 + \beta i + \beta^2 j + \beta^3 k$.

Proof. From the Binet's formula for the Fibonacci numbers, we have

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_n &= F_n + F_{n+1}i + F_{n+2}j + F_{n+3}k \\ &= \frac{1}{\alpha - \beta} [(\alpha^n - \beta^n) + (\alpha^{n+1} - \beta^{n+1})i + (\alpha^{n+2} - \beta^{n+2})j \\ &\quad + (\alpha^{n+3} - \beta^{n+3})k] \\ &= \frac{1}{\alpha - \beta} [(1 + \alpha i + \alpha^2 j + \alpha^3 k)\alpha^n \\ &\quad - (1 + \beta i + \beta^2 j + \beta^3 k)\beta^n]. \end{aligned}$$

The last equation gives Binet's formula for the Fibonacci generalized 3-parameter quaternions. Binet's formula for the Lucas generalized 3-parameter quaternions can be obtained in a similar way. ■

We need the following two relations for later use.

Lemma 2.4. Let $\tilde{\alpha}$ and $\tilde{\beta}$ be as given in Theorem 2.3. Thus, we have

$$\tilde{\alpha}\tilde{\beta} = M + \sqrt{5}N$$

and

$$\tilde{\beta}\tilde{\alpha} = M - \sqrt{5}N$$

where

$$M = \mathcal{F}_1 + \lambda_1\lambda_2 - \lambda_1\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3 + j + k$$

and

$$N = -\lambda_3i - \lambda_2j + \lambda_1k.$$

Proof. From the definitions of $\tilde{\alpha}$ and $\tilde{\beta}$, proof is straightforward. ■

Corollary 2.5. Let $\tilde{\alpha}$ and $\tilde{\beta}$ be as given in Theorem 2.3, we have

$$\tilde{\alpha}\tilde{\beta} + \tilde{\beta}\tilde{\alpha} = M.$$

Generating functions for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions are in the next theorem.

Theorem 2.6. Generating functions for the sequences $\{\mathcal{F}_n\}_{n=0}^\infty$ and $\{\mathcal{L}_n\}_{n=0}^\infty$ are

$$\sum_{n=0}^\infty \mathcal{F}_n x^n = \frac{i + j + 2k + (1 + j + k)x}{1 - x - x^2}$$

and

$$\sum_{n=0}^\infty \mathcal{L}_n x^n = \frac{2 + i + 3j + 4k + (-1 + 2i + j + 3k)x}{1 - x - x^2}$$

respectively.

Proof. Let $\mathcal{F}(x)$ be the sequences $\sum_{n=0}^\infty \mathcal{F}_n x^n$. Thus, we have

$$\mathcal{F}(x) = \mathcal{F}_0 + \mathcal{F}_1 x + \sum_{n=2}^\infty \mathcal{F}_n x^n.$$

If we multiply the last equation by $-x$ and $-x^2$, we obtain

$$-x\mathcal{F}(x) = -\mathcal{F}_0 x - \sum_{n=2}^\infty \mathcal{F}_{n-1} x^n$$

and

$$-x^2\mathcal{F}(x) = -\sum_{n=2}^\infty \mathcal{F}_{n-2} x^n.$$

Summing the last three equations and Corollary 2.2 give

$$(1 - x - x^2)\mathcal{F}(x) = \mathcal{F}_0 + (\mathcal{F}_1 - \mathcal{F}_0)x.$$

Thus we obtain the first identity in theorem. The second identity can be obtained similarly. ■

3. Results

In this section, we give generalizations of some well-known identities. We start with Vajda's identities given in the following theorem.

Theorem 3.1. For any integers r, s and t , following equations hold

$$\mathcal{F}_{r+s}\mathcal{F}_{r+t} - \mathcal{F}_r\mathcal{F}_{r+s+t} = (-1)^{r+1}F_s(-M\mathcal{F}_t + N\mathcal{L}_t)$$

and

$$\mathcal{L}_{r+s}\mathcal{L}_{r+t} - \mathcal{L}_r\mathcal{L}_{r+s+t} = (-1)^r 5F_s(-M\mathcal{F}_t + N\mathcal{L}_t).$$

Proof.

Binet formula for the Fibonacci generalized 3-parameter quaternions gives

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{r+s}\mathcal{F}_{r+t} - \mathcal{F}_r\mathcal{F}_{r+s+t} &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [(\tilde{\alpha}\alpha^{r+s} - \tilde{\beta}\beta^{r+s})(\tilde{\alpha}\alpha^{r+t} - \tilde{\beta}\beta^{r+t}) \\ &\quad - (\tilde{\alpha}\alpha^r - \tilde{\beta}\beta^r)(\tilde{\alpha}\alpha^{r+s+t} - \tilde{\beta}\beta^{r+s+t})] \\ &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}(\alpha^r\beta^{r+s+t} - \alpha^{r+s}\beta^{r+t}) \\ &\quad + \tilde{\beta}\tilde{\alpha}(\alpha^{r+s+t}\beta^r - \alpha^{r+t}\beta^{r+s})] \\ &= \frac{(-1)^r}{(\alpha - \beta)^2} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}(\beta^{s+t} - \alpha^s\beta^t) \\ &\quad + \tilde{\beta}\tilde{\alpha}(\alpha^{s+t}\beta^r - \alpha^t\beta^s)] \quad (\text{since } \alpha\beta = -1) \\ &= \frac{(-1)^{r+1}}{(\alpha - \beta)^2} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\beta^t(\alpha^s - \beta^t) - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\alpha^t(\alpha^s - \beta^s)] \\ &= \frac{(-1)^{r+1}F_s}{\alpha - \beta} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\beta^t - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\alpha^t] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(-1)^{r+1}F_s}{\alpha - \beta} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\beta^t - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\alpha^t] \\
 &= \frac{(-1)^{r+1}F_s}{\alpha - \beta} [\beta^t(M + \sqrt{5}N) - \alpha^t(M - \sqrt{5}N)].
 \end{aligned}$$

Final equation with Binet formulas for the Fibonacci and Lucas numbers gives the first equation in the theorem. The second equation can be proved in a similar way. ■

If we take $t \rightarrow -s$ in Vajda’s identity, we obtain Catalan’s identities for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions given in the following corollary.

Corollary 3.2. For any integers r and s , following equations hold

$$\mathcal{F}_{r+s}\mathcal{F}_{r-s} - \mathcal{F}_r^2 = (-1)^{r+s+1}(M\mathcal{F}_s^2 + N\mathcal{F}_{2s})$$

and

$$\mathcal{L}_{r+s}\mathcal{L}_{r-s} - \mathcal{L}_r^2 = (-1)^{r+s}5(M\mathcal{F}_s^2 + N\mathcal{F}_{2s}).$$

If we take $s \rightarrow 1$ in Catalan’s identity, we have Cassini’s identities for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions given in the following corollary.

Corollary 3.3. For any integer r , following equations hold

$$\mathcal{F}_{r+1}\mathcal{F}_{r-1} - \mathcal{F}_r^2 = (-1)^r(M + N)$$

and

$$\mathcal{L}_{r+1}\mathcal{L}_{r-1} - \mathcal{L}_r^2 = (-1)^{r+1}5(M + N).$$

Another well-identity is d’Ocagne’s identity and it is in the next theorem.

Theorem 3.4. For any integers r and s , following equations hold

$$\mathcal{F}_r\mathcal{F}_{s+1} - \mathcal{F}_{r+1}\mathcal{F}_s = (-1)^s[M\mathcal{F}_{r-s} + N\mathcal{L}_{r-s}]$$

and

$$\mathcal{L}_r\mathcal{L}_{s+1} - \mathcal{L}_{r+1}\mathcal{L}_s = (-1)^{s+1}5[M\mathcal{F}_{r-s} + N\mathcal{L}_{r-s}].$$

Proof. From the Binet formula for the Fibonacci generalized 3-parameter quaternions, we have

$$\begin{aligned}
 &\mathcal{F}_r\mathcal{F}_{s+1} - \mathcal{F}_{r+1}\mathcal{F}_s \\
 &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [(\tilde{\alpha}\alpha^r - \tilde{\beta}\beta^r)(\tilde{\alpha}\alpha^{s+1} - \tilde{\beta}\beta^{s+1}) \\
 &\quad - (\tilde{\alpha}\alpha^{r+1} - \tilde{\beta}\beta^{r+1})(\tilde{\alpha}\alpha^s - \tilde{\beta}\beta^s)] \\
 &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [-\tilde{\alpha}\tilde{\beta}(\alpha^r\beta^{s+1} - \alpha^{r+1}\beta^s) \\
 &\quad - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}(\alpha^{s+1}\beta^r - \alpha^s\beta^{r+1})] \\
 &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\alpha^r\beta^s(\alpha - \beta) - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\alpha^s\beta^r(\alpha - \beta)] \\
 &= \frac{1}{\alpha - \beta} (\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\alpha^r\beta^s - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\alpha^s\beta^r) \\
 &= \frac{(-1)^s}{\alpha - \beta} (\tilde{\alpha}\tilde{\beta}\alpha^{r-s} - \tilde{\beta}\tilde{\alpha}\beta^{r-s}) \\
 &= \frac{(-1)^s}{\alpha - \beta} [(M + \sqrt{5}N)\alpha^{r-s} - (M - \sqrt{5}N)\beta^{r-s}].
 \end{aligned}$$

Binet formula for the Fibonacci and Lucas numbers gives the first identity in theorem. The second one can be proved similarly. ■

The other identities for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions are given in the next theorem. We will not prove these identities because their proofs based on Binet formulas for the Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions similar to Vajda’s and Catalan’s identities.

Theorem 3.5. For any integers r, s and t , we have

$$\mathcal{L}_r = \mathcal{F}_{r-1} + \mathcal{F}_{r+1},$$

$$\mathcal{L}_{r+s}\mathcal{F}_{r+t} - \mathcal{L}_{r+t}\mathcal{F}_{r+s} = 2(-1)^{r+s}M\mathcal{F}_{t-s},$$

$$\mathcal{F}_r\mathcal{L}_s - \mathcal{L}_s\mathcal{F}_r = 2(-1)^rN\mathcal{L}_{s-r},$$

$$\mathcal{F}_r\mathcal{L}_s - \mathcal{L}_r\mathcal{F}_s = 2(-1)^s(M\mathcal{F}_{r-s} + N\mathcal{L}_{r-s}),$$

$$\mathcal{F}_r\mathcal{F}_s - \mathcal{F}_s\mathcal{F}_r = 2(-1)^{s+1}N\mathcal{F}_{r-s},$$

$$\mathcal{L}_r\mathcal{L}_s - \mathcal{L}_s\mathcal{L}_r = 10(-1)^sN\mathcal{F}_{r-s},$$

$$\mathcal{F}_{r+s}\mathcal{F}_{r+s} - \mathcal{F}_{r-s}\mathcal{F}_{r-s} = \mathcal{F}_{2r}\mathcal{F}_{2s},$$

$$\mathcal{L}_{r+s}\mathcal{L}_{r+s} - \mathcal{L}_{r-s}\mathcal{L}_{r-s} = 5\mathcal{F}_{2r}\mathcal{F}_{2s},$$

$$\mathcal{F}_{r+s}\mathcal{L}_{r+s} - \mathcal{F}_{r-s}\mathcal{L}_{r-s} = \mathcal{F}_{2r+2s} - \mathcal{F}_{2r-2s},$$

$$\mathcal{L}_{r+s}\mathcal{L}_{r+s} - \mathcal{L}_{r-s}\mathcal{L}_{r-s} = \mathcal{L}_{2r+2s} - \mathcal{L}_{2r-2s},$$

$$5\mathcal{F}_r^2 - \mathcal{L}_r^2 = 4(-1)^{r+1}M,$$

$$\mathcal{F}_{r+s} + (-1)^s\mathcal{F}_{r-s} = \mathcal{F}_r\mathcal{L}_s,$$

$$\mathcal{L}_{r+s} + (-1)^s\mathcal{L}_{r-s} = \mathcal{L}_r\mathcal{L}_s,$$

$$\mathcal{F}_{2r} = \mathcal{F}_{r+1}\mathcal{F}_r + \mathcal{F}_r\mathcal{F}_{r-1}.$$

4. Conclusions

There is an increasing interest in quaternions whose coefficients are integer sequences, especially Fibonacci and Lucas sequences. Recently, Şentürk and Ünal (2022) introduced 3-parameter generalized quaternions. This study aims to investigate these quaternions whose coefficients are Fibonacci and Lucas numbers. In this context, generating functions and Binet formulas for Fibonacci and Lucas generalized 3-parameter quaternions are important for calculating their properties and obtaining some generalization of well-known identities.

References

- Akyiğit, M., Kösal, H. H., & Tosun, M. (2013). Split Fibonacci quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 23(3), 535-545.
- Akyiğit, M., Kösal, H. H., & Tosun, M. (2014). Fibonacci generalized quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 24(3), 631-641.
- Aydın, F. T. (2021). Pauli–Fibonacci quaternions. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 27(3), 184-193.
- Bilgici, G., Tokeşer, Ü. & Ünal, Z. (2017). k-Fibonacci and k-Lucas generalized quaternions. *Konuralp Journal of Mathematics*, 5(2), 102-113
- Flaut, C., & Savin, D. (2015). Quaternion algebras and generalized Fibonacci–Lucas quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 25(4), 853-862.
- Halici, S. (2012). On Fibonacci quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 22(2), 321-327.
- Halici, S., & Karataş, A. (2017). On a generalization for Fibonacci quaternions. *Chaos, Solitons & Fractals*, 98, 178-182.

- Horadam, A. F. (1963). Complex Fibonacci numbers and Fibonacci quaternions. *The American Mathematical Monthly*, 70(3), 289-291.
- Iyer, M. R. (1969). A note on Fibonacci quaternions. *Fibonacci Quart*, 7(3), 225-229.
- Koshy, T. (2001). *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, John Wiley and Sons, Canada.
- Nurkan, S. K., & Güven, İ. A. (2015). Dual Fibonacci quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 25(2), 403-414.
- Polatlı, E., Kızılates, C., & Kesim, S. (2016). On split k-Fibonacci and k-Lucas quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 26(1), 353-362.
- Ramírez, J. L. (2015). Some combinatorial properties of the k-Fibonacci and the k-Lucas quaternions. *Analele Stiintifice ale Universitatii Ovidius Constanta-Seria Matematica*, 23(2), 201-212.
- Şentürk, T. D., & Ünal, Z. (2022). 3-parameter generalized quaternions. *Computational Methods and Function Theory*, 1-34.
- Tan, E., Yilmaz, S., & Sahin, M. (2016). On a new generalization of Fibonacci quaternions. *Chaos, Solitons & Fractals*, 82, 1-4.
- Yüce, S., & Aydın, F. T. (2016). Generalized dual Fibonacci quaternions. *Applied Mathematics E-Notes*, 16(30), 276-289.



Kültür Varlıklarının Sanal Ortamda Yeniden İşlevlendirilmesi: Yerebatan Sarnıcı Örneği

Hasan Ersan Erbaş¹, Didem Tuncel^{2*}

¹ İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6867-2722), erbasersan@gmail.com

^{2*}Mimar Sinan Fine Arts University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5202-2736),
didem.tuncel@msgsu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 30 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1179021)

ATIF/REFERENCE: Erbaş, E. & Tuncel, D. (2022). Kültür Varlıklarının Sanal Ortamda Yeniden İşlevlendirilmesi: Yerebatan Sarnıcı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 362-372.

Öz

Sanal gerçeklik, halihazırda yaşantımızda bulunan fiziksel olgu veya durumların bilgisayar üzerinde üretilmiş olan ses, yazı, 3D görüntüler veya grafik verileriyle bir araya gelmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışmanın amacı, önemli somut kültürel varlıklarımızdan biri olan Yerebatan Sarnıcı'nın sanal gerçeklik temelinde sanal ortamda yeniden işlevlendirilerek sergi mekanı haline getirilmesiyle birlikte interaktif olarak ziyaret edilebilmesidir. Bu çalışmada Yerebatan Sarnıcı'nın tarihçesi ve mimari yapısı, veri işleme ve dijital tasarım süreçlerinden bahsedilmiştir. Veri işleme ve dijital tasarım süreçlerinde ilk olarak yersel taramadan elde edilen nokta bulutu verisi referans alınarak yapı 3D katı model haline getirilmiştir. Daha sonra oluşturulan mevcut model üzerinde, tasarım çalışması yapılarak kullanıcı ziyaretlerinde gösterilmek üzere mevcut yapı sanal sergi haline getirilmiştir. Yine bu süreçlerden biri olan optimizasyon aşaması, VR, Web, telefon uygulamaları vb. dijital ortamlarda 3D bir projeyi tam performans sunabilmek için gerekli teknik aşamaların en önemli kısımlarından biridir. Son aşama olan uygulama (oyun motoru) aşaması ise, 3D model ve tasarımı yapılmış projenin tüm görsel ayarları ve akıllandırma işlemlerinin yapılarak sonuç ürün haline getirildiği kısımdır. Çalışmanın sonucunda, Yerebatan Sarnıcı'nın sanal sergi alanı olarak yeniden işlevlendirilmesi, sarnıcın geniş kitlelere yayılması ve orijinal ruhunun yaşatılması açısından büyük önem taşımaktadır. Sanal gerçeklik temelinde geliştirilen kültürel miras yapıları, aynı zamanda dijital belgeleme olarak faydalı birer arşiv niteliği taşımaktadırlar. Bilimsel çalışmalar ve eğitimlerde sunum olarak kullanılmasının yanı sıra turizm sektörü ve kültür eğlence alanında da önemli faydalar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sanal Gerçeklik, Kültür Varlığı, Dijital Mimari, Oyun Motoru, Sanal Müze.

Refunctionalizing Cultural Heritage In Virtual Environment: The Example Of Basilica Cistern

Abstract

Virtual reality can be defined as the combination of physical phenomena or situations in our lives with sound, text, 3D images or graphic data produced on the computer. The aim of this study is to visit the Basilica Cistern, which is one of our important cultural values, interactively, after it has been re-functionalized in a virtual environment and turned into an exhibition. In this study, the history and architectural structure of the Basilica Cistern, data processing and digital design processes are explained. In the data processing and digital design processes, the structure was turned into a 3D solid model by taking the point cloud data obtained from the terrestrial scanning as a reference. Then, the building was turned into a virtual exhibition by making a design in accordance with the spirit of the

* Sorumlu Yazar

project and the place, to be shown in the user visits on the existing solid model. The optimization phase, which is also one of these processes, is one of the most important parts of the technical stages required to provide full performance of a 3D project in digital environments such as VR, Web and phone applications. The last stage, the application (game engine) stage, is the part where the 3D model and the designed project are made into a final product by making all the visual settings and rationalization processes. As a result of the study, the refuncting of the Basilica Cistern as a virtual exhibition is of great importance in terms of spreading the cistern to large masses and keeping its original spirit alive. Our cultural heritage structures, which have been developed based on virtual reality, will provide important benefits in the field of culture and entertainment, as well as the tourism sector, in line with the information obtained from scientific researches and studies.

Keywords: Virtual Reality, Cultural Property, Digital Architecture, Game Engine, Virtual Museum.

1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar gelen ve o zamanın yaşam stilini, etnik yapısını, sosyokültürel değerlerini yansıtan çok sayıda kültürel mirasımız bulunmaktadır. Kültürel miras alanlarının sergi mekanı olarak yeniden işlevlendirilmesi son derece zaman alan ve zahmetli bir işlemdir. Bu işlemin kültürel değerlerin korunması ve zarar görmemesi açısından dijital ortamda yapılması birçok olumsuzluğun yaşanmasının önüne geçecektir. Yerinde uygulama ile sergi salonuna dönüştürülen bir kültür varlığı yapısında, uygulama esnasında çeşitli nedenlerden ötürü oluşabilecek zedelenmelerin, hasarların telafisi çok zor olabilir. Bununla birlikte, dijital ikizi oluşturulmuş bir kültür varlığı yapısının üzerinde sanal ortamda projelendirme yapıp sergi salonuna dönüştürme işlemi daha zararsızdır. Bu uygulama binayı yapısal tehlikelerden koruyacak ve aynı zamanda ilgili kültür varlığı yapısında online olarak sanal sergi turu gerçekleştirmeyi sağlayacaktır.

Bu araştırma projesinin amacı, Bizans'tan günümüze kadar ulaşılmış, mimarlık tarihinin en önemli sarnıçlarından biri olan Yerebatan Sarnıcı'nın sanal ortamda yeniden işlevlendirilerek sergi haline getirilmesiyle birlikte interaktif olarak ziyareti için sanal bir tur ile mümkün kılmaktır. Ürün, sarnıcın ziyaretini kullanıcılar için aktif ve ilgi çekici bir deneyim haline getirmek, gerçek ziyaret sırasında fiziksel olarak mevcut olmayan tasarımı, veri ve açıklamalarla bütünleştirmek ve böylece kültür turizmini iletirmek, ayrıca yapıyı ve içerisinde kurgulanan sanal sergiyi daha geniş kitlelere ulaştırmak amacıyla oluşturulmuştur. Ayrıca ortaya çıkarılan ürünün farklı uygulama versiyonlarını da oluşturmak mümkündür. Kültür varlıkları özelinde anlatılmaya çalışılan etkileşimli sanal tur projesi sahadan veri toplama sürecinden başlayarak, üç boyutlu sanal platformda modelleme ve tasarım entegrasyonu sonucunda oyun motorunda uygulama haline getirilmiştir. Etkileşimli sonuç ürün haline getirme süreçleri bütün teknik kısımların irdelenip açıklanması hedeflenerek aktarılmaya çalışılmıştır. Sahada elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan Yerebatan Sarnıcı üç boyutlu mevcut modeli üzerinden yeniden işlevlendirme kavramının sanal olarak ele alınması ve bu doğrultuda tasarım kurgusu eşliğinde sarnıcın üç boyutlu modelinin sergi salonuna dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Yerebatan Sarnıcı İstanbul'un en değerli kültürel miras öğelerinden birisi olması dolayısı ile yapının lazer tarama ile üç boyutlu belgeleme çalışmaları yürütülmüş ve akabinde interaktif sanal ortamlara uyumluluğunun sağlanabilmesi için modelleme ve ürün geliştirme aşamasında yapılan optimizasyonlar detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı çok sayıda araştırma çalışması bulunan kültür varlıklarının mevcut hallerinin dijital olarak belgelenmesi üzerine tasarım ve yeniden işlevlendirme süreçlerinin de eklenerek yeni bir öneri getirilmesidir. Bu çalışmada arkeologların, restoratörlerin, akademisyenlerin, tasarımcıların,

sergi ve müzecilikte faaliyet gösteren çevrelerin, öğrencilerin ve kültürel etkinliklere meraklı bireylerin teknik, tasarım ve kültürel alanlarda vizyonlarını genişletmelerine aynı zamanda ufuklarını açmalarına fayda sağlaması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ana konusu üç boyutlu olarak belgelenen taşınmaz kültür varlığı yapılarının üç boyutlu arşivlendirme niteliğinin dışına çıkılarak sanal olarak sunulmasını sağlamak ve bu tür interaktif projelerin geliştirilmesi sırasındaki aşamaları aktarmaktır. Çalışmanın kapsamı, makalenin konusu olan Yerebatan Sarnıcının proje geliştirme sürecindeki detayların açıklayıcı bir dille anlatılmasıdır. Yerebatan Sarnıcı sanal sergi örneğinde mevcut modelciliğin veya otomatik yöntemlerle elde edilen model örneklerinin yanı sıra, daha ileriye gidilerek mevcut model ile tasarımın birleştirilmesi sağlanmış ve bu süreç bir sanal sergi kurgusu dahilinde yapılmıştır.

2. Mekannın Tarihçesi

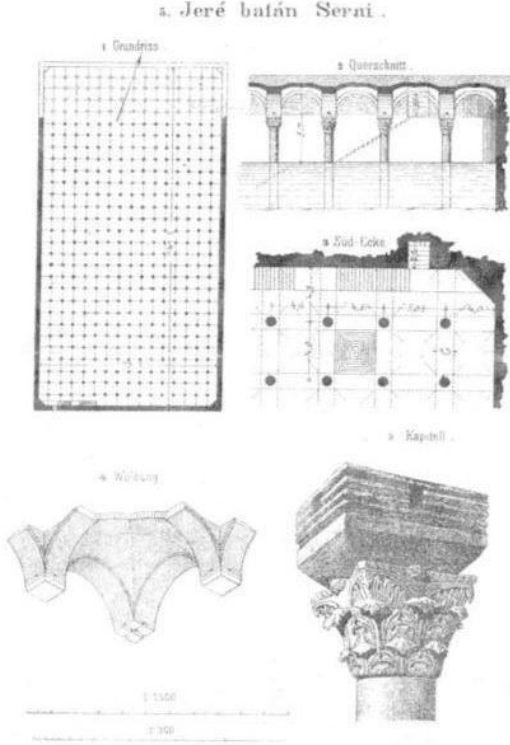
Yerebatan Sarnıcı Bizans İmparatoru I. Justinianus tarafından 6. Yüzyılda bölgenin ve üzerinde daha önce var olan Bazilika isimli yapının su ihtiyacını karşılamak için yaptırılmıştır. 15 asırdır varlığını idame ettiren sarnıcın yerinde daha önce Genç Roma çağında, ne zaman yapıldığı tam olarak bilinmeyen, ticari ve hukuki işlerde, bilim ve sanat faaliyetlerinde kullanılan büyük bir Bazilika isimli bir yapı olduğu görüşü sabittir. Bazilika olarak adlandırılan etrafi sütunlarla taşınan kapalı mekanlar ile çevrilenmiş bu dikdörtgen planlı, avlulu yapı 476 yılında çıkan bir yangında tamamen tahrip olmuş ve "İllus" adında biri tarafından yaklaşık iki yıl sonra yeniden onarılmıştır. (Yıldırım, F. 2021)



Şekil 1. XIX. yüzyılın ilk yarısında Yerebatan Sarayı'nın içini gösteren gravür (Figure 1. First half of 19th century engraving showing the Basilica Cistern interior) (URL-1)

Yerebatan Sarnıcı özgün strüktürel yapı karakterinden ödün vermeden özgün plan şeması ve mimari taşıyıcı elemanlarıyla 1500 yıldır ayakta kalarak fiziksel varlığını korunarak

sürdürmeye çalışmış ve sürdürmeye de devam etmektedir. Yerebatan sarnıcının planı düzgün dikdörtgendir. Yerebatan Sarnıcı 336 adet sütun ve 339 adet tonozu ile Bizans döneminden günümüze kadar süregelen kültürel miras bağlamında korunması zaruri 9200 m² taban alanı, yaklaşık 100 bin ton su tutma kapasitesi ile tarihi önem arz eden İstanbul'un en büyük kapalı sarnıcıdır. (Yıldırım, F. 2021)



Şekil 2.

Sarnıç Planı, Kesit, Tonoz ve Sütun detayı (Figure 2. Cistern Plan, Section, Vault and Column detail) (Yıldırım, 2021)

3. Kültür Varlıklarına Yenilikçi Bir Bakış

Son yıllarda hızla gelişen ve hala gelişmekte olan bilgisayar teknolojileri tarihi yapılar ve müzecilik anlayışında da devrim yaratabilecek ölçüde etkili olmuştur. Sanallik ve sanal gerçeklik kavramı günümüzde elektronik ortamla bağdaştırılan, daha çok internet ile alakalı bir kavram olarak karşımıza çıksa da işin özünde bu kavramın daha farklı açılardan tanımlamaları da bulunmaktadır. Birçok alanda olduğu gibi mimarlıkta da ütopya ve kurmaca mekânlar “sanal” olarak nitelendirilmektedir. (Uluoğlu, 2002)

Kültürel miras olarak değerlendirilen tarihi yapıların korunması, işlevlendirilmesi, sunulması ve gelecek nesillere aktarılması, birbirinden farklı yöntem ve teknikler içeren oldukça uzun ve meşakkatli bir süreçtir. Belgeleme, restorasyon, rekonstrüksiyon, restitüsyon ve sunum gibi ana bileşenleri kapsayan işlemleri ortaya çıkarma çalışmalarında öncelikli olarak sanal gerçeklik yöntemleri ve sistemleri kullanılmaktadır.

Kültürel değerlerin korunması ve topluma aktarılması bağlamında müzeler ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda içinde bulunduğumuz teknoloji ve bilgi çağının bize sunduğu olanaklarla birlikte artık müzeler de sanal ortamlarda yer almaya başlamıştır.

Sanal gerçeklik uygulamalarının materyali olan kültür varlığının türü, uygulamanın kullanım amacı ve kullanıcı profili, uygulamada kullanılan donanım, yazılım ve sistemler, kültürel

miras alanında yapılan sanal gerçeklik uygulamalarının çeşitlilik göstermesindeki başlıca etkenlerdir. Bu alanda yapılan çalışmaların asıl hedefi kültürel mirasın korunması, yaşatılması ve aktarılması olsa da izlenen yol ve yöntemler farklılık göstermektedir. Örneğin bir sanal gerçeklik uygulaması, konunun uzmanı olmayan kişiler için deneyim ortamı sunarken, diğer bir uygulama uzmanlar için bilimsel analiz ortamı sağlayabilmektedir.

Sanal gerçeklik birçok alanda etkili bir biçimde kullanıldığı gibi koruma ve işlevlendirme alanında da yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle heykel, mozaik, kabartma, fresk, boyama ve tablo gibi yıpranması zor olmayan kültür varlıklarının korunması ve yeniden işlevlendirilmesi, titizlik ve uzmanlık gerektiren meselelerdir. Yakın zamanda medya gündeminde de tartışmalara yol açan restorasyon ve işlevlendirme hataları ve restorasyon ve işlevlendirmenin mümkün olmadığı durumlar, restorasyon ve işlevlendirme için alternatif yöntemlerin araştırılmasını gerektirmektedir. Sanal gerçeklik ortamında restorasyon ve yeniden işlevlendirme, orijinal esere zarar vermeden, eserin tamamına ya da zarar görmüş kısmına uygulanabilmektedir. Sanal restorasyon ve yeniden işlevlendirilmenin, fiziksel restorasyona göre maliyeti daha düşüktür ve eserin zarar görmesi bakımından da risksizdir. Sanal işlevlendirme uygulamaları, zamanla yıkılmış veya zarar görmüş kültür varlıklarının, sanal gerçeklik ortamında yeniden inşa edilerek insanların deneyimlemelerini amaçlamaktadır. Yeniden işlevlendirilen kültür varlığı, küçük bir çanakta büyük bir antik kente varıncaya kadar çeşitlilik göstermektedir. Kültürel miras alanındaki ilk VR örnekleri de yeniden işlevlendirme uygulamalarıdır. Saran ve sarmayan sistemlerde yapılmış örnekleri bulunmakla beraber, genellikle uzaktan (ex situ) deneyimleme imkânı sunmaktadırlar. Sanal ortamda yeniden işlevlendirme uygulaması, kültürel mirasın tanıtılması ve koruma farkındalığının oluşturulmasında başvurulan etkili bir yöntemdir.

Günümüzde, kültürel değer olarak kabul gören yapıların yaygın olarak karşımıza çıkan bir kullanım şekli de sanal müzelerdir. Ziyaretçilerin kültürel değerleri daha iyi algılaması ve aidiyet hissiyatını daha iyi hissetmeleri açısından deneyimleyerek sunumun bir parçası olma durumu önemli bir etkiye sahiptir. İngiltere, İspanya, İtalya ve İsveç'te bulunan dört müzenin bu alanda ortak yürüttüğü bir çalışma olan ve Avrupa Birliği tarafından desteklenen The Museum of Pure Form ziyaretçilere etkileşimli bir deneyim sunma amacıyla geliştirilmiş bir çalışmadır. Bu sistem dokunsal giyilebilir iskelet sistemi ve VR gözlüğü kullanılarak ziyaretçilerin dokunulması yasak olan eserlere sanal olarak dokunmalarını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. (Resim 2.4). Ziyaretçiler burada bulunan objeleri üç boyutlu algılayarak, gerçeğe yakın bir dokunma hissi ile inceleyebilmektedirler. Bu teknoloji sayesinde mevcut sanat eseri, ziyaretçilerin görsel belleklerinin yanı sıra dokunsal belleklerinde de yer edinmektedir (Carrozzino & Bergamasco, 2010)

Müzelerde gelişen teknoloji ile insanlar pasif olmaktan çıkıp daha aktif bir hale gelmiştir. Bilgiyi ezberletme anlayışının yeni insan modeline karşı zor olması nedeniyle interaktif yöntemler bilgi aktarımında başarılı olarak görülmektedir. Yeni nesile hitap etmek, modern bir yaklaşım olan interaktivite ile daha mümkün hale gelmiştir. Bu teknolojinin bireyler üzerindeki asıl amacı insanı aktif bir konuma taşımaktır. Bu uygulamalar sayesinde müzelerdeki ilgi de artmaktadır. Türkiye'de bulunan müzelerin çoğunda çocuklar ve yetişkinler için interaktif uygulamalar

yapıldığında daha kalıcı ve sağlıklı bir kültürel miras bilincinin gelişeceği düşünülmektedir. Bu bağlamda günümüzde Panoramik müzeler, Sanal müzeler gibi çeşitli yöntemlerle uzaktan gezilebilirlik sağlanmaktadır. Bununla birlikte sanat eserleriyle ilgili bilgileri uzaktan öğrenebilir sistemler de geliştirilmiştir. Ayrıca, sanal teknolojinin yardımıyla geliştirilen VR destekli 3D sanal ortamlar, simülasyonlar, robotlar sürekli yenilenen ve değişen uygulamalarıyla teknolojinin kullanıldığı bu müzeler günümüzde ziyaretçilerin daha çok vakit geçirdiği sosyal mekanlar haline gelmiştir. Genel bir değerlendirme yapılırsa, teknolojinin her geçen gün ilerlemesi, bilgisayar kullanımı ve iletişim araçlarının günümüzde çok sık kullanımı müzelerde de büyük değişimlere sebep olmuştur.

2006 yılında İtalya Dışişleri Bakanlığı ve İtalya Ulusal Araştırma Konseyi'nin destekleriyle kurulan Irak Sanal Müzesi, Neolitik Dönem'den Erken İslam Dönemi'ne uzanan geniş bir kültür skalasına sahiptir. Eserler kronolojik sırasına göre sekiz ayrı sanal salonda sergilenmektedir. Müzenin Web tabanlı olması Dünyanın herhangi bir yerindeki kullanıcının kolaylıkla sergilenen eserleri inceleyebilmesine olanak sağlamaktadır.

Bununla birlikte sanal kullanımlar şüphesiz ki müzelerde rekabete yol açmıştır. Müzelerin teknolojiyi etkin bir şekilde kullanmaları sonucu yeni müze çeşitlilikleri ortaya çıkmıştır. Eko müzeler, Doğa müzeleri ve İnteraktif müzeler, vb. bunlardan bazılarıdır. Temel sergileme unsuru olan görsellik dışında diğer duylara yönelik teknolojileri de kullanan etkileşimli sergi uygulamalarının en belirgin örneklerinden biri de bilgi sorgulama (kiosk) cihazlarıdır. Dokunmatik bir ekrana sahip olan bu cihazlarda ziyaretçiler ekrandaki butonlara dokunarak istedikleri bilgilere ya da görsellere ulaşabilmektedirler. En büyük artıları bilgisayar bilgisi gerektirmeyen ve kullanımı pratik olan bir ara yüze, yani komutların basit simgeler, düğmeler ve pencerelerle gösterildiği bir ekrana sahip olmalarıdır. Dolayısıyla son derece kullanışlı olan bu tip sistemlere günümüz müzelerinde ve sergi alanlarında sıkça yer verilmektedir. Diğer bir yöntem işitme ve dokunma duylarına yönelik teknolojilerdir. Teknolojinin hedefinde aynı zamanda

4. Veri İşleme ve Dijital Tasarım Süreçleri

Yerebatan Sarnıcı sanal sergi uygulaması birden çok iş disiplininden faydalanılarak ortaya konmuştur. Bu uygulamada lazer tarama sonucu oluşturulan nokta bulutu üzerinden Yerebatan Sarnıcı üç boyutlu model haline getirilerek mevcut kültür varlığı belgeleme çalışması yapılmıştır. Arşiv niteliği taşıması açısından kültür varlıklarının mevcut modellerinin oluşturulması önemli bir konudur. Yerebatan Sarnıcı birebir üç boyutlu modeli oluşturulduktan sonra mekânda bir resim sergisi konsepti düşünülerek mevcut yapının üzerine, mekânın doğasını zedelemeyecek şekilde tasarım yapılarak sergi salonuna dönüşümü sağlanmıştır.

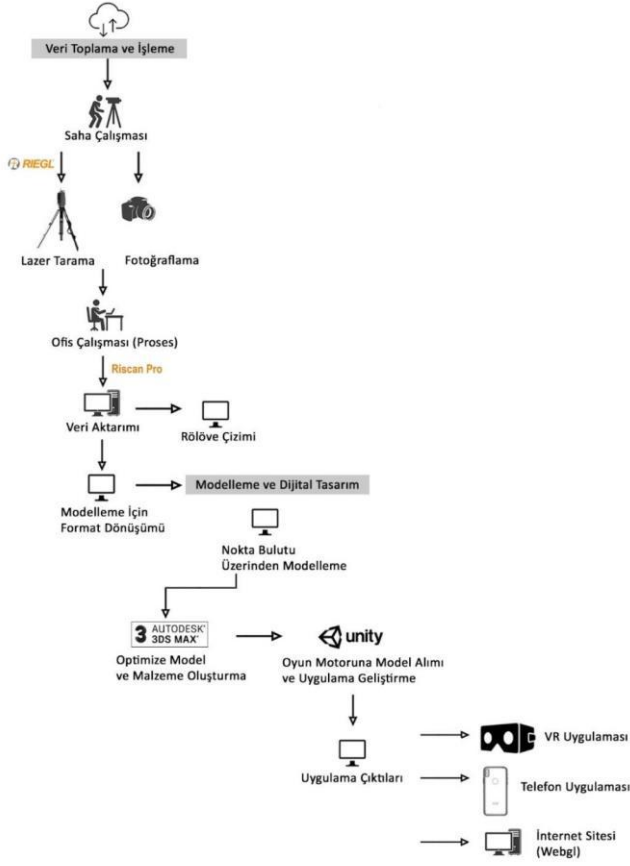
Tarihi eser niteliği taşıyan yapılarla ilgili geziler ve ziyaretler toplum tarafından geçmişten günümüze ilgiyle karşılanmaktadır. Oluşturulan üç boyutlu model sayesinde oyun motorunda sanal sergi uygulaması haline getirilen bu kültür ve sanat turunu, sanal olarak dünyanın her yerinden ziyaretçilerin online bir şekilde gezebilmeleri hedeflenmiştir.

Bu bölümde veri toplama işlemleri saha çalışmalarından başlayarak ofis ortamındaki veri işleme süreçlerinin tümünü kapsayacak şekilde, saha çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin üç boyutlu ortamlarda kullanılabilir hale getirilmesi için geçirdiği evreler ile birlikte anlatılmıştır.

görme ve duyma engelli insanların müzelerde güzel vakit geçirebilmelerini sağlamak vardır. Aynı şekilde çocuklar için de iyi bir deneyim kazandırmak için teknolojik uygulamalar kullanılmaktadır. Simülasyon cihazları, video Wall'lar, kiosklar gibi iletişim araçları doğru bilgiye kısa sürede ulaşmayı sağlamaktadır.

Türkiye'de bulunan arkeolojik sit alanları her yıl yurtiçi ve yurtdışından çok sayıda ziyaretçi almaktadır. Genellikle bu ziyaretçiler gezileri süresince öbekler halinde, doğrudan kesin olmayan ve çoğunlukla bilimsellikten uzak bilgiler sunan bir rehberin peşinden gitmektedirler. Bu geziler için artırılmış gerçeklik tabanlı (AR) akıllı cep telefonlarıyla kullanılabilen uygulamaların geliştirilip piyasaya sunulması ziyaretçilere daha doğru ve kesin bilgilerin sunulmasının yanı sıra gezi süresince kalabalık topluluklar halinde dolaşma zorunluluğunu da ortadan kaldıracaktır. Aynı zamanda bu yöntem somut olmayan kültürel mirasın gelecek nesile aktarımı için de bir fırsattır. (Çoruh & Tepecik, 2010)

Bilgisayar destekli çizim programları teknolojinin mimariye dahil edilmesinden sonraki bütün dönemlerde mimarinin vazgeçilmez bir elemanı haline gelmiştir. Dönemsel gelişmelere bağlı olarak mimari süreçlerin içerisinde var olmuş ve mimariye her zaman yeni bir nefes kazandırmıştır. Var olmayı düşlemek ise gelişen teknoloji sayesinde var olma niteliği kazanarak gerçeğe dönüşmüştür. Bir noktada mimari gelişmelere, hayal edilen yapıların oluşumu için gerekli olan nedir sorusuna cevap olarak yön verilmiş olunabileceğini de göz ardı etmemek gerekmektedir. Günden güne gelişen teknolojinin tasarımda kullanılmasının bir diğer örneği ise yapay zekâ teknolojileridir. Yapay zekânın son yıllarda insana özgü bilişsel işlev ve davranışları mimari alanda da sergilemeye başladığını görmekteyiz. Tasarım sürecinde mimarlar ve kullanıcı arasında bir köprü konumunda bulunan yapay zekâ uygulamaları, sanal elemanları gerçek hayata entegre etmektedir. Bu sayede kullanıcının istekleri doğrultusunda daha doğru ve gerçekçi tasarımlar oluşturulmaktadır.



Şekil 3. Süreç Algoritması-Yerebatan Sarnıcı iş akış şeması (Figure 3. Process Algorithm- Basilica Cistern workflow chart (Hasan Ersan Erbaş, İBB Bimtaş Arşivi)

Yukarıdaki görselde (Şekil 3.) iş akış şeması Yerebatan Sarnıcı sanal sergi uygulaması için gerçekleştirilen iş disiplinlerini ve süreçlerini ifade etmektedir. Öncelikli olarak sahadan veri toplama süreci başlatılmıştır. Yersel lazer tarama saha çalışma süreci toplamda 5 gün sürmüştür. Daha sonra elde edilen tarama verilerinin proses süreci gerçekleştirilip ortaya kullanılabilir üç boyutlu nokta bulutu verisi konulmuştur. Nokta bulutu verisi üzerinden modelleme süreci başlatılmıştır. İnteraktif ve online bir uygulama yapılacağı için düşük poligon modelleme ve malzeme optimizasyonu konularına oldukça önem gösterilmiştir. Üç boyutlu nokta bulutu üzerinden optimize olarak modellenen Yerebatan Sarnıcının modelleme süreci yaklaşık iki ay sürmüştür. Ürünü uygulamaya dönüştürme aşamasında oyun motoru olarak Unity kullanılmıştır. Bu aşamada kamera ve görsel ayarlar, gezinme ayarları gibi etkileşimli ayarlar gerekli kod ve arayüzlerle Unity oyun motoru içerisinde gerçekleştirilmiştir. Toplamda saha çalışmasından başlayarak VR ve telefon uygulama sonuç ürünü haline getirilene kadar üç aylık bir çalışma süresi geçirilmiştir.

4.1. Yersel Tarama ve Nokta Bulutu

Günümüz teknolojisinde yapıların rölelerini çıkarmak için tarama cihazlarından faydalanılmaktadır. Bu tarama cihazları bize yapının üç boyutlu nokta bulutunu koordinatlı ve gerçek ölçeğinde tüm detaylarıyla görebileceğimiz ve üzerinde çalışabileceğimiz nokta bulutu verisi üretmektedir. Piyasada bu alanda faaliyet gösteren Riegl, Cyclone, Faro gibi firmalar amaçlara yönelik birçok tarama cihazı üretmektedir. Yerebatan

sarnıcı çalışmasında Riegl VZ-400 tarama cihazı kullanılmıştır. Proses çalışması da Riegl firmasının kendi yazılımı olan Riscan üzerinden yapılmıştır. Proses süreci de koordinatlandırma, oturumların birleştirilmesi, gereksiz verilerin temizlenmesi gibi aşamalardan geçmektedir.



Şekil 4. Yersel lazer tarama sonucu elde edilen dış mekân nokta bulutu verisi (Figure 4. Exterior point cloud data result from tellurian laser scan) (İBB/Bimtaş Arşivi)



Şekil 5. Yersel lazer tarama sonucu elde edilen iç mekân nokta bulutu verisi (Figure 5. Interior point cloud data result from tellurian laser scan) (İBB/Bimtaş Arşivi)



Şekil 6. Proses işlemi sonucu elde edilen nokta bulutu verisinin Autodesk Recap programında görünümü (Figure 6. The view of the point cloud data obtained as a result of the process in the Autodesk Recap program (İBB/Bimtaş Arşivi)

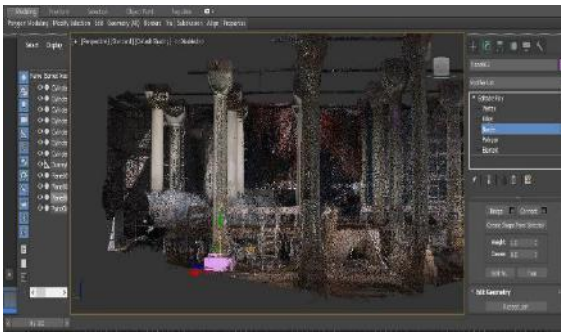
Nokta bulutu verisi proses aşamasından sonra CAD tabanlı birçok çizim programında (autocad, archicad, revit vs.) açılıp üzerinden röleve çizimleri yapılabilir. Ayrıca gerek tarama cihazı firmalarının kendi programları, gerekse farklı yazılımlar aracılığıyla nokta bulutu verisi kullanılarak yüksek çözünürlüklü ortofoto (image) üretilebilir. Üretilen ortofoto da ölçekli çizim için referans olarak kullanılır. Yerebatan sarnıcı sanal sergi uygulamasında nokta bulutu verisi direkt referans olarak kullanılmıştır.

4.2. Modelleme

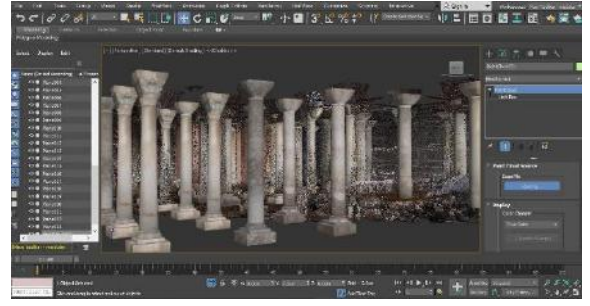
Üç boyutlu modelleme konusu günümüzde oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Farklı sektör ve disiplinlerde kendine yer bulan ve vazgeçilmez bir hal alan modelleme konusu, kullanıldığı alana göre farklı teknikler ve anlayışların gelişmesine ortam hazırlamıştır. Mimari alanda üç boyutlu bir modelleme yapmak için mimari birtakım kuralların ve ara yüzlerin geçerli olduğu yazılımlar mevcutken, mühendislik alanında yürütülen bir çalışma için kullanılan modelleme yazılımları daha farklı yazılımsal temellere dayanmaktadır. Sektörlerin ihtiyacına göre şekillenen yazılım ara yüzleri nokta atışı fonksiyonlar sayesinde ihtiyaçlara cevap vermektedir.

Konunun önemini biraz daha irdelenecek olursak, farklı sektörlerdeki modelleme tekniklerinin bambaşka bir altyapıya sahip olması bir kenara, mimari bir alandaki modelleme yöntemleri bile kendi içinde ayrışmalar gösterebilir. Sonuç odaklı bir anlatım yapacak olursak, istenen mimari bir görsel ise modelleme ve görselleştirme ona göre kaygılar güdülerek yapılır. Fakat istenen mimari bir modelin interaktif bir sunumu (sanal gerçeklik) ise çok daha farklı disiplinlerden geçerek modellenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte üç boyutlu yazılımlardan çıktı almak için oluşturulan bir modelin, modelleme yazılımında iş akış süreci çok daha farklı olacaktır. Görselleştirme amaçlı oluşturulmuş bir modellemenin yüzey pürüzlerinin ve nesne kalitesinin yüksek seviyede görünmesi için yüksek poligon olarak modellenmesi gerekir ya da bir takım otomatik fonksiyonlar kullanılarak model pürüzsüz bir görünüm haline getirilir. İnteraktif bir uygulamaya dönüştürülecek bir modelin oluşturulma süreci için farklı kaygılar söz konusudur. Oyun motoruna gönderilen üç boyutlu modelin yüzey poligonlarının yeterince seyrek olması ürünün istenilen ortamlarda rahat çalışabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu da Yerebatan sarnıcı projesinde ihtiyaç duyulan modelleme yöntemidir.

Sahadan yersel tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verilerinin proses işleminden sonra yapıya ait elde edilen nokta bulutu verisi E57 ya da PTS formatına dönüştürülerek 3 boyutlu modelleme programında referans olarak kullanılmak üzere Autodesk Recap programına gönderilir. 3D Max programı nokta bulutunu Recap programı aracılığıyla görüntüleyebilmektedir. Bu yüzden modellemeye başlamak için mevcut veri Recap programında açılır ve ardından 3D Max programına import edilir. (Şekil 7.)



Şekil 7. 3D Max Programına İmport edilen ve katı model oluşturmak için referans olarak kullanılan nokta bulutu verisi (Figure 7. Point cloud data imported into 3D Max Program and used as a reference for solid model building) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)



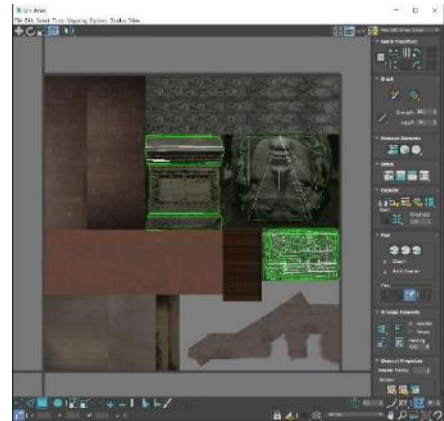
Şekil 8. Nokta Bulutu Üzerinden Oluşturulan Modelin Gelişim Süreci (Figure 8. The development process of the model made from the point cloud (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Nokta bulutu verisini 3D Max programında altlık olarak kullanarak mevcut yapının birebir ölçekli bir şekilde 3 boyutlu katı modeli oluşturulur. Mevcut model 3 boyutlu olarak modellenirken klasik mimari görsel çıktısı almanın yanı sıra oyun motoruna entegre edileceği için low poly olarak modellenir ve web ortamı ile muhtelif platformlarda rahat çalıştırılabilecek şekilde üretilir.



Şekil 9. Low Poly model örneği (Figure 9. Low Poly model example) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

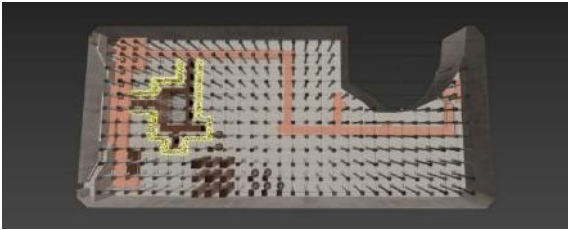
İnternet tabanlı bir sanal tur ve benzeri uygulamalar için bu optimizasyonların ürün tasarımı aşamasında doğru yapılması gerekmektedir. Katı modelin düşük poligon çalışılmasından sonra model üzerine giydirilecek malzeme ve kaplamaların da optimize edilmesi gerekmektedir. Kaplama optimizasyonu için Unwrap map tekniği ve kaplama haritası oluşturulur. (Şekil 10.) Bu sayede model aşamasında olduğu gibi kaplama aşamasında da optimizasyon sağlanmış ve mevcut model ürünümüz ilgili ortamlara uygun hale gelmiş olur.



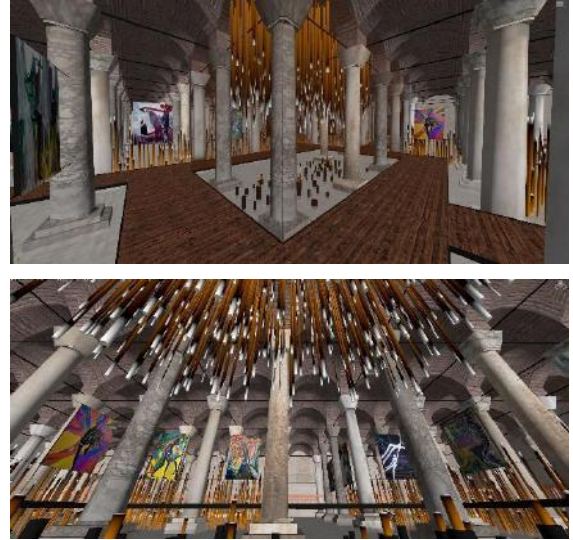
Şekil 10. Unwrap map kaplama şeması (Figure 10. Unwrap map overlat diagram) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

4.3. Tasarım

Mevcut modeli oluşturulan Yerebatan Sarnıcının sergi salonuna dönüştürülmesi planlanarak bir tasarım konsepti dahilinde sarnıcın asli dokusunu deforme etmeden üzerine eklemeler yapılarak ortaya sanal ortamda yeniden işlevlendirilmiş bir eser koyulmuştur. Yeniden işlevlendirmenin dijital ortamda yapılması gerek tasarım ve işlev alternatifini üretmekte sınırsız olma durumunu, gerekse gerçek hayatta böyle bir eseri yeniden işlevlendirmenin çok fazla prosedür ve mekânın zedelenmesi gibi tehlikelerden uzaklaştırmayı sağlamıştır. Sarnıcın mevcut modeli elde edildikten sonra mekânın kendine has ruhu göz önüne alınarak bir sergi salonuna dönüştürülmesi için bir tasarım çizgisi oluşturulmaya çalışılmıştır. İç mekân tasarım konsepti ‘insanın şehir hayatındaki tükenmişliği esas alınarak formlar olarak mekana yansımaları amaçlanmıştır. Sergi salonunun ortasında oluşturulan ve tavandan aşağı sarkan uzun çitelerin yanarak tükenme hissiyatı vermesi düşünülmüştür. Yerebatan Sarnıcı oldukça büyük bir iç mekâna sahiptir ve tasarlanacak sergi salonu genel alanın içerisinde bir bölümü kapsamaktadır. Toplam alanı 9200m² olan Yerebatan sarnıcının 600m²’lik kısmında sanal sergi alanı olarak tasarlanmıştır. Bu alanın belirlenmesinde mekânın ana girişine yakın olması etkili olmuştur. Sergi alanının büyüklüğü butik sergiler düşünülerek 600m² ile sınırlandırılmıştır. Nokta bulutu verisi üzerinden mevcut modeli oluşturulan yapının yeniden işlevlendirileceği alana göre mevcut modelin üzerine tasarımın yapılarak ortaya 3 boyutlu olarak mevcut ve tasarımın birleştirildiği yeni bir mekân oluşturulmuştur. Tasarım modelleme süreci de mevcut modelleme süreci gibi optimizasyon kaygısı güdülerek yapılmıştır. Mevcut modelle tasarım modelinin tek bir teknik altyapıya sahip olması sağlanmıştır. Ele alınan yapı kültür varlığı olduğu için tasarım sürecinde mevcudun tamamen korunarak üzerine eklemeler yapılması sağlanmıştır. (Şekil 11.)



Şekil 11. Sarı Konturla Gösterilen Alan Yerebatan Sarnıcı İçerisinde Tasarımı Yapılıp Sanal Sergiye Dönüştürülen Alan, (Figure 11. The Area Shown with Yellow Contour is the Area Inside the Basilica Cistern, designed and converted to a Virtual Exhibition) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)



Şekil 12. Yerebatan Sarnıcı 3D Model ve Tasarım (Figure 12. Basilica Cistern 3D Model and Design) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Yeniden işlevlendirme ve tasarım süreçlerinin dijital olarak yapılmasının artılarından bir örnekle bahsedilecek olursa, Yerebatan sarnıcının mevcut halinde yapılamayacak ama sanal ortamda kolaylıkla yapılabilen ters ve yan Medusa sütun başlarının taşınarak sergi salonu olarak işlevlendirilen alanın orta aksına oturtulması sağlanmıştır. Yerebatan Sarnıcının ruhuyla özdeşleşen Medusa efsanesinin, sütun başı tasviriyile vücuduna getirilmiş formunu tasarım projesinin orta noktasında tasarımın anlam ve önemi olarak kullanmak, yapılan sanal sergide mekânın fon olarak kullanılmasından ziyade, sergi ile sarnıcın bir bütün hale gelmesini sağlamıştır. Aşağıdaki görselde sol tarafta Yerebatan Sarnıcı içerisinde kurgulanan sanal serginin oluşturulduğu alanın bölücü tasarım formlarıyla diğer alanlardan ayrıştırılarak sergi salonunun özelleştirilmesi görünüyor. Görselde sağ tarafta ise sergi alanını oluşturan koridorların ortasında oluşan sütunlarda Medusa başlarının yerleştirilerek tasarıma dahil edilmesi görülmektedir. (Şekil 13.)



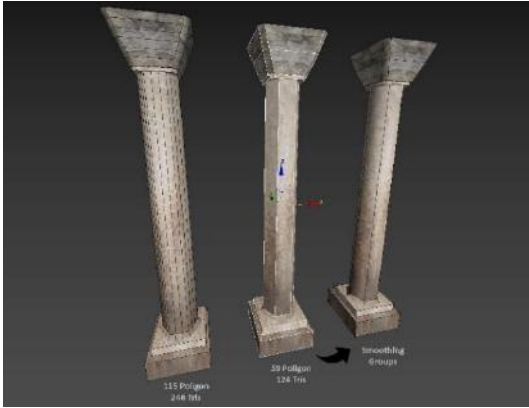
Şekil 13. Sergi Salonu Plan Görünümü ve Medusa Başları, (Figure 13. Exhibition Space plan and Medussa heads) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

4.4. Optimizasyon

Son yıllarda sanal platformlar için online ortamlarda hız ve akıcılık en önemli unsurdur, oyun dünyasında da tasarlanan bir ürünün kullanıcı tarafından deneyimlenirken hız kaybı yaşanmaması için modelleme aşamasında düzenli ve birtakım kaygıları göz önüne alarak üretim yapılması gereklidir. Model

optimizasyonu ve oluşturulan ürünün poligon seyrekliği elde edilecek eserin işlevsel olmasına, sanal ve online ortama adapte edilebilmesine ve bu adaptasyondan sonra da hız kaybı yaşanmamasına ve sürükleyici bir ürün ortaya çıkmasına temel oluşturur.

Yerebatan Sarnıcı özelinde anlatılan projede, 3 boyutlu mevcut modeli oluşturulan ve üzerine mekân tasarımı yapılan ürünün sanal sergi olarak interaktif bir uygulamaya dönüştürülebilmesi ve web ortamında yani internet sitesi, telefon uygulaması, android, ios gibi platformlarda yayınlamak ve geniş kitlelere ulaşabilmek için, bu tasarım ürününün belli başlı optimizasyon ve işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Mimari görselleştirme mantığında ürün oluşturmaktan çok daha farklı disiplinler gerekmektedir. Bu optimizasyonların ilk aşaması ürünün düşük poligon modellenerek interaktif ortamlara uygun olmasıdır. Low Poly (Düşük Poligon) modelleme mantığı, bu alanlarda tasarlanıp vücuda getirilmesi ve kullanıcıyla buluşturulması planlanan ürünlerin proje aşamasında olmazsa olmaz ürün geliştirme tekniğidir. Gereksiz poligonların modelde yer bulmaması, sade ve kendini anlatabilen bir model ortaya koymak için belli bazı teknikler bulunmaktadır. Segment sayısını yüksek tutarak elde edilen pürüzsüz bir yüzeyin, aynı kalitede bir görüntüyü düşük poligon bir modele 3D Max programındaki smoothing groups komutuyla pürüzsüz bir görünüm sağlanabilmektedir. (Şekil 14.)



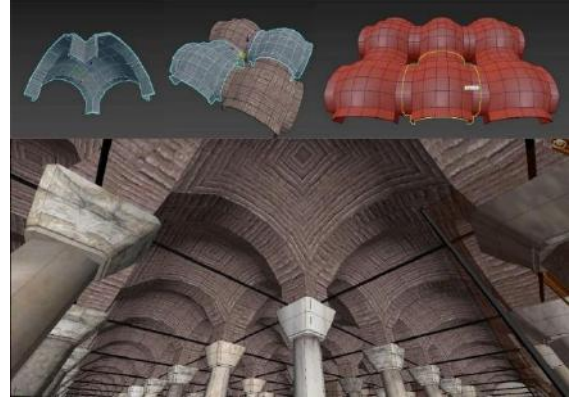
Şekil 14. Model Optimizasyonu Smoothing Groups poligon yapısı (Figure 14. Model Optimization Smoothing Groups polygon structure) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Modelleme yaparken mekândaki malzeme ve doku farklarını ayrı elementler olarak modelleyerek oyun motoruna alınacak sonuç ürünün düzenli ve problemsiz bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Oyun motorları model (unity) yapısı yanlıştır ve yüksek poligon içeren ürünlerde, hatalara ve istenilen sonuçlara ulaşamamaya sebebiyet vermektedir.



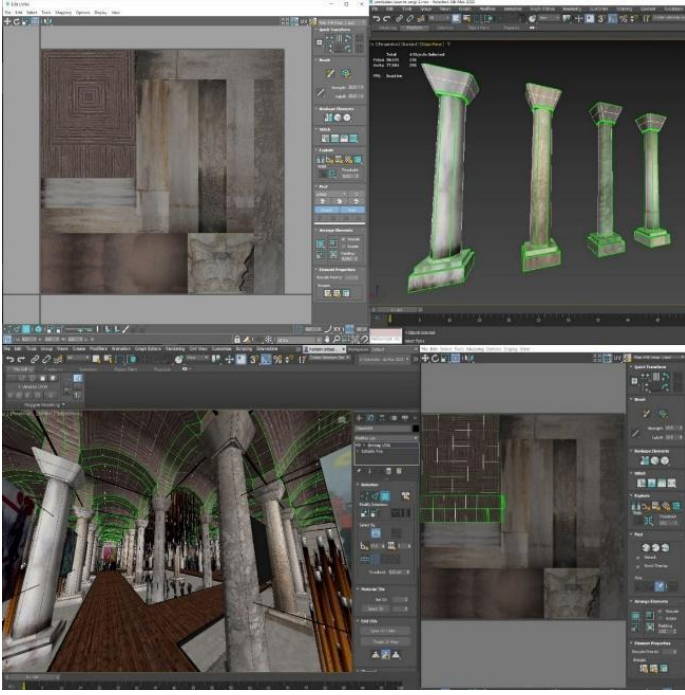
Şekil 15. Model Optimizasyonu Genel Mekân Görünümü (Figure 15. Model Optimization General Overview of Space) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Optimizasyon konusunun önemli unsurlarından birisi de modüler modelleme sistemleridir. Bu mantıkta modellenecek olan mekânın önce tamamen modellenip daha sonradan kaplamalarının atanması işlemi yerine model gruplarının oluşturulurken kaplamalarının atanarak kopyalanmak suretiyle genele yayılması ve bütüncül modelin oluşturulması çok daha mantıklı olacaktır. Bu sisteme modüler sistem denebilir, modüler sistemle oluşturulan projelerde ufak model gruplarıyla çalışılarak bu modeli oluşturmak modelleme aşamasında genel projenin kontrolünü daha iyi sağlamaya ve tüme varım yöntemiyle bitmiş model gruplarının genele yayılarak yapıyı meydana getirmeyi sağlar. (Şekil 16.)



Şekil 16. Modüler sistem ile modellenmiş tavan modeli, (Figure 16. Ceiling model in a modular system) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Optimizasyon kavramı sadece model yaparken düşünülen bir kavram değildir. O modele giydirilen malzemenin çeşitliliği, görsel boyutu ve sayısı gibi durumlarda optimizasyonu doğrudan etkileyen bileşenlerdir. Örneğin farklı malzeme görsellerini tek tek 3D Max programında ilgili yüzeylere bağlayarak projenin dosya boyutunu arttırmamak gereklidir. Kaplama yöntemi ve iş akış şeması 3D Max Unwrap map tekniği ile model yüzeylerinin haritalanarak bir araya getirilmesi ve birden çok kaplama görselinin tek bir kanvasta ilgili yüzeylere yerleştirilmesiyle oluşturulur. Bu sayede modele bağlı görseller ayrı resim dosyası olmaktan çıkacağı ve tek bir resimde toplanacağı için oyun motoruna entegre edilecek sonuç ürünün dosya boyutu da düşük olacaktır. Bu da bize oyun motorunda rahat çalışabilme imkânı sağlayacaktır.



Şekil 17. Kaplama optimizasyonu unwrap map görünümü (Figure 17. Coating optimization unwrap map view) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Yukarıdaki görselde (Şekil 17.) sütun ve tavan malzemelerinin düzenlenip tek bir kanvasa toplanması ve dolayısıyla tek bir görsel dosyasından ilgili modellere kaplamaların bağlanması amaçlanmıştır. Görselde yeşil çizgilerle ifade edilen alanlar model yüzeylerinin malzeme görselindeki koordinatını ifade etmektedir. Birden çok sütun ve tavan malzemesi içeren görsel dosyası sayesinde Unwrap map aracılığı ile model yüzeylerinin koordinatlandırılmasına ve dolayısıyla model malzeme ilişkisinin optimize bir şekilde tamamlanmasına olanak sağlamıştır. Unwrap map tekniği modelleme mantığını doğrudan etkileyen, projenin başında modelleme yaparken yukarıda da anlatıldığı gibi düzenli ve yapıdaki malzeme gruplarına göre ayrımların yapılarak çalışılması gereken bir konudur.

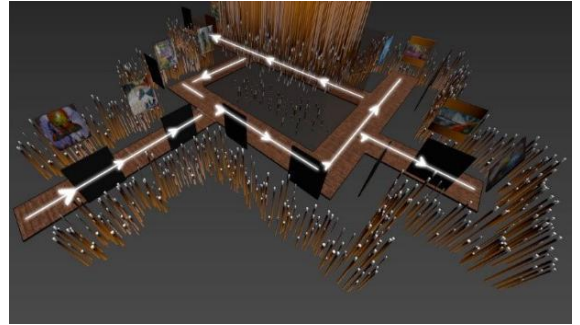
4.5. Oyun Motoru (Uygulama)

Oyun motorları bize projenin başında kurguladığımız fikirleri gerçekleştirip, sonuç ürün elde etmek için bütün bileşenleri hazırlayıp ortaya bir uygulama koyma olanağı sağlar. Ortam ambiyansı ayarlarıyla istenilen mekân algısının tasarlanması, mekân malzemeleriyle ilgili gerçeklik kalite ayarlarını, ışıklandırma biçimlerini, bilgi amaçlı akıllandırmaları yapabilmek olanağı sağlar. Mimari tabanlı bu tür dijital içerikli işlerde malzeme çok önemli bir husustur. Malzemenin ortaya çıkan sonuç üründe kendini doğru ve eksiksiz anlatabilmesi projede istenilen sonuca ulaşmada en öncelikli konulardan biridir. Malzemenin şeffaflık, pürüzlülük ve yansıma gibi özelliklerini belirlemek mekân içinde vurgulanacak alan ve geometrilerin malzeme ayarlarıyla detaylı bir şekilde uğraşarak o kısmı özelleştirmek interaktif sunumun kendini anlatabilmesi açısından çok önemlidir.

Oyun motorlarında ihtiyaç duyulan görselleştirme ve optimizasyon ayarlarından sonra, ihtiyaç duyulan modelin içerisinde hareket etmek, fiziksel hesaplar yaptırmak ve interaktif olayları (bilgi pencereleri vb.) gerçekleştirebilmek için C# yazılım geliştirme dilinde gerekli kodlamalar yapılmaktadır.

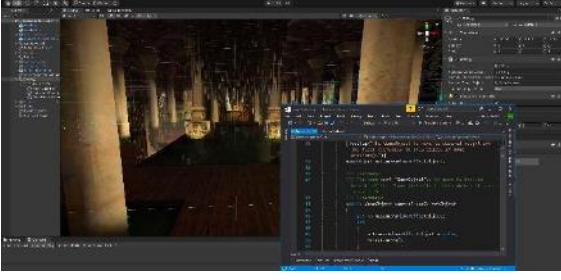
Bu kodlar ve gerekli kütüphaneler kullanılarak uygulamanın hangi ortamda nasıl çalışması gerektiği ortaya konulmaktadır. Örneğin Sanal Gerçeklik (Virtual Reality), Arttırılmış Gerçeklik (Augmented Reality), Mobil Uygulama ve Web Sitesi gibi ortamlarda çalıştırılması ayrı ayrı kodlanmaktadır.

Oluşturulan sanal sergide mekân içinde kullanıcının gezintisini daha verimli hale getirmek için birtakım sınırlamalar koyarak ilgili alanlara yöneltmek, gezinti esnasında sergilenen ürünlerin üzerine tıklanarak bilgilendirme panolarının açılması ve kullanıcının mekânda yapacağı gezinti türünü belirlemek gerekir. Bu gezinti türleri projenin içeriğine göre değişebilir. Örneğin açık ve büyük bir alanda kullanıcıyı sınırlamadan kontroller yardımıyla istenilen yere hızla gitmek havalanmak ve uçmak gibi bir içerik oluşturulabileceği gibi iç mekânda ve Yerebatan Sarnıcı sanal sergi uygulamasında birtakım sınırlamalar getirerek kullanıcıyı bir hat üzerinde yerden yürüterek sergi alanlarında gezdirmek konseptte daha uygun olacaktır.



Şekil 18. Uygulamada Gezinme Güzergahı, (Figure 18. Walking route in the application) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Unity oyun motorunda Yerebatan Sarnıcı sanal sergi üç boyutlu modeli üzerinde ışık ayarları ve kamera ayarları yapıldıktan sonra, kod kısmında projenin sunumunun yapılacağı platformlara göre birtakım geliştirmeler yapılır. Navigasyon yani gezinme konusu sunum platformuna göre farklı ayarların yapılması gereken bir konudur. Kamerayı sanal gerçeklik, web uygulaması veya mobil uygulama platformlarına göre hareket ettiren, gözlerle etrafa bakmasını sağlayan kodlar yazılan bir c# Script dosyası oluşturulur ve ardından kamera özelliklerine bu Script dosyası eklenir. Sanal gerçeklik uygulamasında yazılan Script ile oyun motoru aksiyon bağlantısı sanal gerçeklik gözlüklerinin kumandalarıyla, telefon uygulamalarında ise telefon ekranlarına konumlandırılan joystick ve parmak hareketleri yardımıyla ve web ortamında ise klavyede üzerinden w, a, s, d veya yön okları kullanılarak yapılmaktadır. Etkileşimli bir sanal sergi uygulaması deneyimi sunması planlanan Yerebatan Sarnıcı üç boyutlu modelinde gezinti güzergahları ayarlandıktan sonra sergilenen eserlerin bilgilendirme amaçlı şeffaf panolarının uygulamaya dahil edilmesi ve ziyaretçilerin sergiyi gezerken eserlerle ilgili bilgilere erişimlerinin sağlanması amaçlanmıştır.

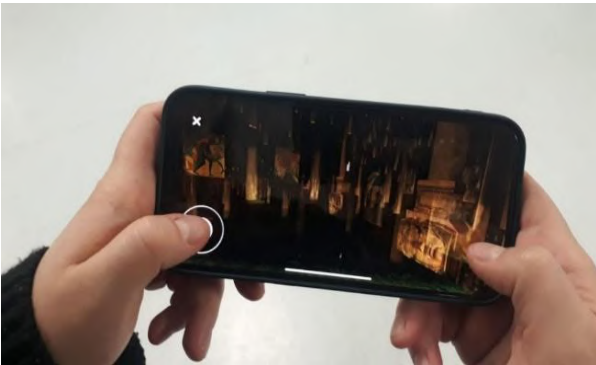


Şekil 19. Oyun motoru (Unity) görsel ayarlar ve akıllandırma (Figure 19. Game engine visual settings) (Hasan Ersan Erbaş, İBB/Bimtaş Arşivi)

Ortam ışıkları, kamera kadraji navigasyon ve gezinme, kodlama ve akıllandırma ayarları proje kurgusuna ve sunumun yapılacağı ortama göre yapıldıktan sonra VR (sanal gerçeklik) uygulaması, webgl (internet sitesi) ve online ortamlar olan Android ve IOS platformları için çıktılar alınarak bu ortamlara projenin aktarılması ve yayınlanması işlemi sağlanır. VR uygulaması ile Yerebatan sarnıcı sanal sergisinde üç boyutlu olarak gerçeğe yakın bir deneyim elde etmek mümkündür. Kullanıcıyı hem sanal sergi uygulaması ile değerli eserlerin gerçeğe yakın bir şekilde görülmesini sağlamış bunu yaparken de İstanbul için çok büyük öneme sahip tarihi bir değer olan Yerebatan Sarnıcında sanal olarak gezinti yapmasını sağlamıştır. Ayrıca VR uygulaması gibi yerinde gösterimin yanı sıra daha online platformlar olan telefon uygulamaları (android/ios) ve masaüstü internet sitesinde webgl mantığında yayınlanarak kullanıcıların beğenisine sunulmuştur. Bu platformlar yerinde gösterimden farklı olarak internet kaynaklı online ortamlar olduğu için dosya boyutu konusunda çok daha hassas davranılmıştır. Daha önce anlatılan optimizasyonlar sağlanıp bu platformlara ürün entegre edilmiştir.



Şekil 20. Vr Sanal Tur, (Figure 20. VR Virtual Tour) (İBB/Bimtaş Arşivi)



Şekil 21. Telefon Uygulaması, (Figure 21. Mobile phone application) (İBB/Bimtaş Arşivi)



Şekil 22. Unity Sonuç Ürün Görseli (Figure 22. Unity Final Product Image) (İBB/Bimtaş Arşivi)

5. Sonuç

Yeniden işlevlendirmenin gerçek yapı üzerinde birebir yapılmasından ziyade sanal olarak yapıp kullanıcıya sunulmasının en önemli yararlarından birisi yine yapıya bu işlemler sırasında zarar verme ihtimalini yok edip olası olumsuz sonuçların önüne geçilmesini sağlamaktır. Ayrıca sanal ortama aktarılan üç boyutlu ürün sayesinde, sadece eserin olduğu yere gelip ziyaret edilmesi haricinde sanal ortamda eseri görmek isteyen bütün ziyaretçiler tarafından bölge, şehir, ülke sınırı olmadan bu ziyareti gerçekleştirebilmeleridir.

Yerebatan Sarnıcı'nın sanal sergi olarak yeniden işlevlendirilmesi sarnıcın geniş kitlelere yayılması ve orijinal ruhunun yaşatılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda geçmiş yıllarda karmaşık yapıda tasarımlarla oluşturulan sanal gerçeklik uygulamaları, mobil teknolojinin gelişmesi ile birlikte günümüzde de kolayca ulaşılabildiğimiz akıllı cihazlara uygun şekilde tasarlanıp kullanılabilir hale getirilmiştir. Sanal gerçeklik ortamları gerçeğe çok yakın deneyimler yaşatmakta ve aynı zamanda kullanıcılarda gerçekçi mekân algısı oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, Yerebatan Sarnıcı sanal sergi örneği üzerinden anlatılan yeniden işlevlendirme sürecinde mekânın doğal dokusu korunarak bir bölümünün sergi salonuna dönüştürülmesi süreci aktarılmıştır. Turizm sektörü için büyük öneme sahip olan Yerebatan Sarnıcı'nın sanala aktarılması ve geniş kitlelere ulaştırılması amaçlanan projenin mevcut eser ve sergi salonu olarak işlevlendirilmiş hali bir bütün olarak sunulması ziyaretçilere kültür turu yaptırılması amaçlanmıştır. Pandemi sonrası dünyada sanal ve online ortamın vazgeçilmez bir hal alacağı öngörüsüne dayanarak, İstanbul gibi kültür başkenti olan bir şehrin önemli yapılarını sanal ortama aktararak sunum haline getirilmesi fikrine Yerebatan Sarnıcı sanal sergisi örneği ile ışık tutulmuştur.

Gelecekte Yerebatan Sarnıcı projesi ve bu tarzdaki projelerin ne yöne gidebileceği, üzerine ne gibi fikirler geliştirilebileceği üzerine konuşmak ve işlevsellik bakımından kullanıcıların daha pratik bir şekilde faydalanabileceği bir ürünü hayal etmek gerekmektedir. Yeni uygulama arayüzü tasarımları yapılarak, arka planda arşivlenen renk, form, biçim bileşenlerinin oluşturulduğu bir uygulama tasarlanabilir. Tasarlanan uygulama dışarıdan görsellerin kullanıcı tarafından yüklenebileceği bir sistem ile sanal sergi salonunda ilgili kitlelerin kendi sergilerini oluşturabilmeleri ve oluşturdukları sergilerin mekân tasarımlarını da arayüzün sunduğu ölçekte kendi istedikleri gibi şekillendirebildikleri bir uygulama olabilir. Sanal etkileşim anlayışında çığır açabilecek

bu tür fikirler kullanıcı odaklı uygulama geliştirme biçimlerini temel alan ve bu doğrultuda tasarımcılara tasarlama imkanı sağlayan bir uygulama arayüzü veya sanatçılara kendi eserlerini uygulama içerisinde yapabilme olanağı tanıyan bir sanal uygulama fikri oldukça dikkat çekici olacaktır. Buna ek olarak VR gözlük teknolojisi ile kullanıcı kitlesine sanal gerçeklik deneyimi yaşatan Yerebatan Sarnıcı sanal sergisi yakın bir gelecekte gözlük sistemine gerek duymadan, karma gerçeklik denilen gerçek dünya üzerinde sanal bir gösterim modeline evrilerek farklı bir dünyanın ve yepyeni fikirlerin kapıları açılabilir.

6. Teşekkür

İBB/ BİMTAŞ'a projenin görsellerinin kullanımı için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Agnello, F., Avella, F., & Agnello, S. (2019). Virtual reality for historical architecture. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Carrozzino, M., & Bergamasco, M. (2010). Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. *Journal of Cultural Heritage*, 11(4), 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>
- Çoruh, L., & Tepecik, A. (2010). Sanat Tarihi Dersinde Bir Öğrenme Modeli Olarak Sanal Gerçeklik Uygulamalarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Uluslararası Eğitim Teknolojileri Konferansı*, 1297–1031.
- Fritz, F., Susperregui, A., Linaza, M. T. (2005). Enhancing Cultural Tourism Experiences with Augmented Reality Technologies. *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*.
- Uluoğlu, B. (2002). *Çağdaş Mimarlık Sorunları Dizisi: Mimarlık ve Sanallık*. Boyut Yayınları.
- Özgüneş, R. E. & Bozok, D. (2017). Turizm Sektörünün Sanal Rakibi (Mi?): Arttırılmış Gerçeklik. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2 (2), 146-160.
- Url-1 <https://www.ankaragezginleri.com/yerebatan-sarnici-gecmisin-yer-altindaki-yuzu>, erişim tarihi 22.05.2022.
- Uslu, A. & Uysal, M. (2020). Kültürel Mirasın Etkileşimli Keşfi İçin Mobil Arttırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Teknolojilerinin Kullanılması: Sfenks Heykeli Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (6), 1024-1031.
- Uzun, Y. & Gözel, O. (2022). Arttırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Kültürel Miras Alanlarına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 280-284.
- Yıldırım, F. (2021). *Yerebatan Sarnıcı Restorasyon Aşamaları ve Koruma Süreci (Yüksek Lisans Tezi)*. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul.



Forced Frequency Response Analysis of a Gudgeon Pin

Ekrem Gülsevinçler^{1*}

^{1*} Sinop University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Nuclear Energy Engineering, Sinop, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4787-6275),
egulsevincler@sinop.edu.tr

(First received 27 September 2022 and in final form 8 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1179755)

ATIF/REFERENCE: Gulsevincler, E. (2022). Forced Frequency Response Analysis of a Gudgeon Pin. *European Journal of Science and Technology*, (41), 373-383.

Abstract

In this study, forced frequency response analysis was applied on the gudgeon pin. Ansys Mechanical 19.2 program was used to analyze the vibration on the gudgeon pin. Once completed in the finite element analysis, a note from the modal results, the model's natural frequencies range from 38721 to 79346 Hertz for the first 12 modes. According to the modal analysis results, the gudgeon pin will not be subjected to resonance during working. Therefore, a frequency scan including modal analysis is required to detect resonant frequencies that may coincide with the natural frequencies of the first 12 modes obtained in modal analysis. Consequently, harmonic analysis has been solved using the mode superposition method with 50 intervals with 1000 Hz steps in the range of 30000-80000 Hz. To dampen the resonant frequencies, harmonic analyzes were repeated using six different constant damping ratios, and the results were compared.

Keywords: Gudgeon Pin, Forced Frequency Response Analysis, Harmonic Analysis, Resonance

Piston Pimi Zorlanmış Frekans Yanıt Analizi

Öz

Bu çalışmada, piston pimi üzerinde zorlanmış frekans yanıt analizi uygulanmıştır. Piston pimindeki titreşimi analiz etmek için Ansys Mechanical 19.2 programı kullanılmıştır. Modal analiz sonuçlarına dayalı olan sonlu eleman analizi tamamlandığında, modelin doğal frekansları ilk 12 mod için 38721 ile 79346 Hertz arasında değişmektedir. Modal analiz sonuçlarına göre, piston pimi çalışma sırasında rezonansa maruz kalmayacaktır. Bu nedenle, modal analizde elde edilen ilk 12 modun doğal frekanslarıyla çakışabilecek rezonans frekanslarını tespit etmek için modal analizi içeren bir frekans taraması gereklidir. Sonuç olarak, 30000-80000 Hz aralığında 1000 Hz'lik adımlarla 50 aralıklı mod süperpozisyon yöntemi kullanılarak harmonik analizi çözdürülmüştür. Rezonans frekanslarını azaltmak için altı farklı sabit sönüm oranı kullanılarak harmonik analizler tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Piston Pimi, Zorlanmış Frekans Yanıt Analizi, Harmonik Analiz, Rezonans

* Corresponding Author: egulsevincler@sinop.edu.tr

1. Introduction

Forced frequency response analysis an essential branch of linear dynamics. As we mentioned before, linear dynamics solves the equations of motion as a frequency-domain problem instead of a time-domain problem. In our lives, many structures experience vibration or cyclic loading. Such loading conditions can usually be represented by sinusoidal loading. For example, when sitting in the car and start the engine, one can feel certain vibration levels more or less. The source of such vibration is a physics movement of the piston (Geng & Chen, 2005; Liu & Randall, 2005; Moosavian et al., 2016, 2017; Reghu et al., 2018; Wu et al., 2019) and crankshafts (Fung & Chen, 1998; Karkoub, 2000; Veciana Fontanet et al., 2021) of the vehicle's motor. Anyone see that the forcing load repeats in a sinusoidal repetition for each cylinder. The engine motor has multiple cylinders, so multiple excitations per revolution, such as cyclic movement, might be magnified depending on how well the engine vibration (Diéguez et al., 2018; Geng et al., 2003; Geng & Chen, 2005; Gosala et al., 2021; Moosavian et al., 2016, 2017; Naseri et al., 2020) isolation system or even the entire car structure is built.

One of the main goals of harmonic analysis is to avoid resonance for given excitations. Whether it is a partial resonance (Binoy et al., 2013) or a global resonance (Liao, 2014; Yao & Li, 2019), the result could be devastating to the structure. Most engineering structures will be vibration tested in the industry to verify the dynamic response expected to experience dynamic loading. Besides avoiding harmonic resonance analysis, we can also tell us the magnitude of the vibration to prevent fatigue failure. The harmonic analysis results can help an engineer understand the significance of different model designs effectively. Additionally, harmonic analysis can be used alongside physical testing, such as a shaker table with sine sweep ("Closed-Loop Random Vibration Control of a Shaker Table with a Microcomputer: M. L. Wang, Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 13(4), 1994, Pp 259–266," 1995; Kihm & Delaux, 2013; Wang, 1994) to correlate the natural frequencies and damping models.

Frequency response analysis can be used to plot the level of vibration (displacements or accelerations) as a function of frequency. Another type of use is the fatigue account input. When combined with a PSD (Power Spectral Density) (Gharaibeh & Pitarresi, 2019; Jannoun et al., 2017; Muhammad et al., 2020; Trapp & Wolfsteiner, 2021), the structure's lifetime can be determined.

1.1. Governing Equations

The harmonic function is comprised of three main variables: Frequency, amplitude, and phase angle. For a given time t , the corresponding force can be computed.

$$F_i = F_i \sin(\omega_i t + \theta_i) \quad (1)$$

Where, F_i is amplitude, ω_i is imposed circular frequency, θ_i is phase angle and t is time. The imposed circular frequency, ω_i is a simple expression and typically has units of radians/sec.

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

Where f is imposed frequency:

$$f = \frac{1}{T_f} \quad (3)$$

Where T_f is period. A harmonic force (f) is applied to the mass (m) and measuring the resulting displacement (u) and phase angle (θ) as sweep the excitation frequency from zero to three times the natural frequency. Governing equation of harmonic motion:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = f \sin \omega t \quad (4)$$

Where u is the displacement of mass:

$$u = \frac{f/k}{\sqrt{(1-(\omega/\omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}} \quad (5)$$

Where ζ is damping ratio:

$$\zeta = \frac{c}{C_c} \quad (6)$$

Where C_c is critical damping:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (7)$$

If each term is divided by m in governing equation of harmonic motion:

$$\ddot{u} + \frac{c}{m}\dot{u} + \frac{k}{m}u = \frac{f}{m}\sin \omega t \quad (8)$$

When $2\zeta\omega_n$ is written instead of $\frac{c}{m}$ and ω_n^2 instead of $\frac{k}{m}$, the formula becomes as follows:

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = \frac{f}{m}\sin \omega t \quad (9)$$

Here, ω_n is the natural frequency and ω is the external/forcing/driving frequency. If the applied frequency is equal to the natural frequency, then a resonance will occur. So theoretically, if there is no damping, then infinite amplitude will occur, but damping a frequency increases a lot, even though damping it is only a finite value. If it matches, then the resonance will occur where a large amplitude. The formula becomes the following when Y is written instead of $\frac{m}{f}$.

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = \frac{1}{Y}\sin \omega t \quad (10)$$

When multiplying both sides of the equation by S :

$$S\ddot{u} + 2\zeta\omega_n S\dot{u} + \omega_n^2 S u = \sin \omega t \quad (11)$$

The total response of the harmonic system is the sum of the homogeneous solution u_{HS} and the particular solution u_{PS} .

$$u(t) = u_{HS} + u_{PS} \quad (12)$$

Where homogeneous solution, u_h would be equal to "0".

$$u_{HS} = \ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = 0 \quad (13)$$

If $0 < \zeta < 1$:

$$u_{HS} = e^{-\zeta\omega_n t} \left[(u \cos \omega t) + \left(\frac{\dot{u} + \zeta\omega_n u}{\omega} \right) \sin \omega t \right] \quad (14.1)$$

If $\zeta = 1$:

$$u_{HS} = e^{-\zeta\omega_n t} [u(1 + \omega_n t) + \dot{u}t] \quad (14.2)$$

If $\zeta > 1$:

$$u_{HS} = e^{-\zeta\omega_n t} \left[u \cosh(\omega^* t) + \frac{\dot{u} + \zeta\omega_n u}{\omega^*} \sinh(\omega^* t) \right] \quad (14.3)$$

The particular solution equation is given below:

$$u_{PS} = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (15.1)$$

$$\dot{u}_{PS} = A \omega \cos \omega t - B \omega \sin \omega t \quad (15.2)$$

$$\ddot{u}_{PS} = -A\omega^2 \sin \omega t - B\omega^2 \cos \omega t \quad (15.3)$$

If the terms in Equation (15) are applied to Equation (11):

$$S(-A\omega^2 \sin \omega t - B\omega^2 \cos \omega t) + 2\zeta\omega_n S(A\omega \cos \omega t - B\omega \sin \omega t) + \omega_n^2 S(A \sin \omega t + B \cos \omega t) = \sin \omega t + 0 \cos \omega t \quad (16)$$

A and B terms are obtained from the equation as follows:

$$A = \frac{\omega_n^2 - \omega^2}{s[(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\zeta\omega_n\omega)^2]} \quad (17)$$

$$B = \frac{2\zeta\omega_n\omega}{s[(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\zeta\omega_n\omega)^2]} \quad (18)$$

The A term which obtained from Equation (17) and the B term, which obtained from Equation (18), are put in Equation (15.1), u_{PS} can be written as follows.

$$u_{PS} = \frac{\omega_n^2 - \omega^2}{s[(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\zeta\omega_n\omega)^2]} \sin \omega t + \frac{2\zeta\omega_n\omega}{s[(\omega_n^2 - \omega^2) + (2\zeta\omega_n\omega)^2]} \cos \omega t \quad (19)$$

The ratio of forcing frequency to natural frequency r :

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad (20)$$

When Equation (20) is substituted on Equation (19), the equation becomes:

$$u_{PS} = \frac{(1-r^2)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \sin \omega t + \frac{(-2r\zeta)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \cos \omega t \quad (21)$$

If Equation (12), Equation (14), and Equation (21) are taken together, the total response of the harmonic system is expressed as follows:

If $0 < \zeta < 1$:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left[(u \cos \omega t) + \left(\frac{\dot{u} + \zeta\omega_n u}{\omega} \right) \sin \omega t \right] + \frac{(1-r^2)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \sin \omega t + \frac{(-2r\zeta)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \cos \omega t \quad (22.1)$$

If $\zeta = 1$:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} [u(1 + \omega_n t) + \dot{u}t] + \frac{(1-r^2)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \sin \omega t + \frac{(-2r\zeta)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \cos \omega t \quad (22.2)$$

If $\zeta > 1$:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left[u \cosh(\omega^* t) + \frac{\dot{u} + \zeta\omega_n u}{\omega^*} \sinh(\omega^* t) \right] + \frac{(1-r^2)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \sin \omega t + \frac{(-2r\zeta)f/k}{[(1-r^2)^2 + (2r\zeta)^2]} \cos \omega t \quad (22.3)$$

2. Material and Method

2.1. Gudgeon Pin

The gudgeon pin articulates the piston and the piston rod. It transfers the combustion end pressure acting on the piston to the connecting rod. Piston pins are usually made hollow to keep them light. However, forces are occurring due to combustion; It forces the pin to bend, oval deformation, and shear in significant cross-sections (Strozzi et al., 2018).

Chrome-nickel alloy cementation steels and nitride steels are used for the pin to work under challenging conditions (gudgeon pins can withstand high pressure and impacts caused by combustion). The gudgeon pin included in this paper researched was made of AISI 8550 quality nitration steel. It is

pre-hardened (27-33 HRC) steel containing aluminum and has higher nitration ability due to its aluminum content. AISI 8550 quality nitration steel can be used in screws and barrels of plastic extrusion machines, shafts of all kinds, machine parts, gear manufacturing, and plastic injection molds. The mechanical properties of AISI 8550 nitration steel are given in Table 1. In addition, the technical drawing and FEA analysis boundary conditions of the gudgeon pin are given in Fig. 1.

Table 1. Mechanical properties of AISI 8550 nitration steel

Density ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	7.7-8.03
Poisson's Ratio	0.28
Elastic Modulus (GPa)	205
Tensile Strength (Mpa)	1050
Yield Strength (Mpa)	640
Elongation (%)	11
Hardness (HV)	950

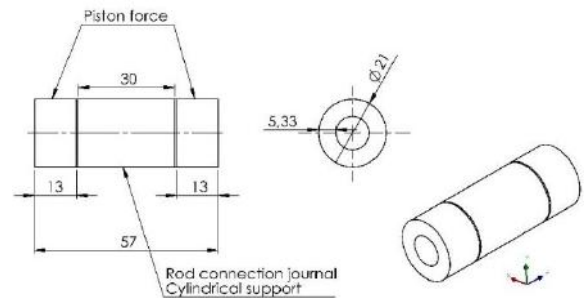


Fig. 1. The technical drawing and FEA analysis boundary conditions of the gudgeon pin

Gudgeon pins are damaged due to fatigue due to harmonic and random vibrations during long cycles (Xu & Yu, 2010; Yu et al., 2007). Therefore, in addition to the modal analysis of the model, a frequency sweep with harmonic analysis should be performed, and resonant frequencies should be determined to prevent this damage or extend the fatigue life.

2.2. Gudgeon Pin Phase Angle

Two or four-cylinder, two or four-stroke internal combustion engines are considered; The piston in a cylinder will be exposed to a force in the (-) y-direction at phase angle 0° due to the combustion effect. On the other hand, while the piston reaches the upper dead point on the cylinder, it will be exposed to a force in the (+) y-direction at phase angle 180° (Fig. 2) (Haftirman, 2016). The gudgeon pin, connected to the piston, will be exposed to a force in the (+) y and (-) y-directions at 0° and 180° phase angles.

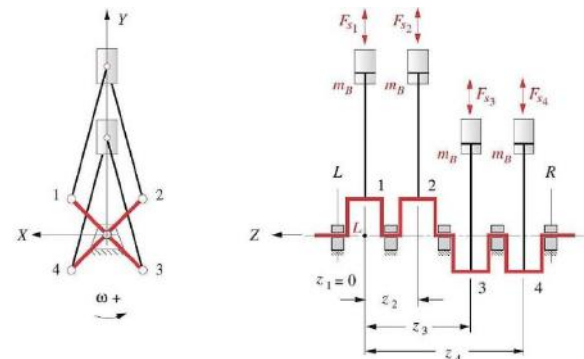


Fig. 2. Gudgeon pin phase angle for the crank position (Haftirman, 2016)

2.3. Finite Element Analysis of The Gudgeon Pin

Finite element analysis (FEA) is used to analyze the vibration on the piston pin, and Ansys Mechanical 19.2 program was used as a finite element analysis program. The natural frequencies of the piston pin should be considered to prevent the damage that may be caused by the vibration inside the engine on the piston pin. Therefore, a harmonic analysis frequency scan should be performed in the minimum and maximum natural frequency range, and resonant frequencies that may occur should be determined.

There is a need for a modal analysis for harmonic analysis and static structural analysis for pre-stress as an input of modal analysis. The mesh required for these analyzes was knitted in Ansys Mechanical 19.2 program in a program-controlled manner. Quadratic element type is used as mesh element type. The number of mesh elements is 107,744 and the number of nodes is 474,852 (Fig. 3).

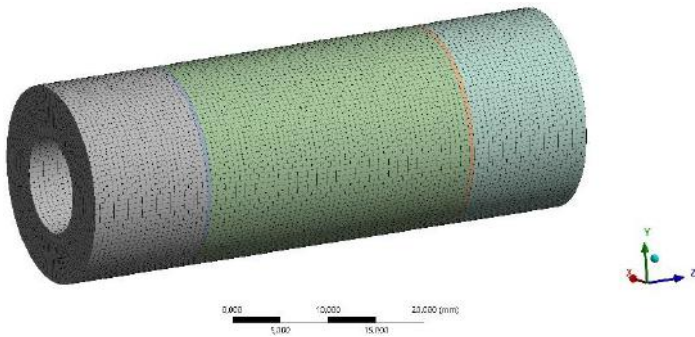


Fig. 3. Mesh topology of the gudgeon pin

In the static structural analysis, which is the first step of finite element analysis, cylindrical support at the connecting rod journal and applied force of 3275N and -y-direction in the piston connection journal is defined. In the second step, modal analysis, the stress obtained in the static structural analysis was determined as pre-stress, and the first 12 modes were analyzed. In the third step, harmonic analysis, two different forces are defined in two different phase angles in equal and opposite directions. The forces defined in the harmonic analysis are given in Table 2.

Table 2. Harmonic analysis applied force details

Force	Magnitude (N)	Direction	Phase Angle (°)
Force 1	3275N	-Y	0
Force 2	3275N	Y	180

The force on the gudgeon pin is equal to the force on the piston. The force on the piston depends on the cylinder bore diameter and cylinder pressure. For example, the force applied to the piston will be 3275N under a cylinder with a diameter of 4.46 inches at 325 kPa internal pressure.

In order to dampen the resonant frequencies, harmonic analyzes were repeated using six different constant damping ratios, and the results were compared.

$$\zeta_0 = 0 \tag{23.1}$$

$$\zeta_1 = 0.01 \tag{23.2}$$

$$\zeta_2 = 0.02 \tag{23.3}$$

$$\zeta_3 = 0.05 \tag{23.4}$$

$$\zeta_4 = 0.1 \tag{23.5}$$

$$\zeta_5 = 0.2 \tag{23.6}$$

In the harmonic analysis, a frequency scan was made in the natural frequency range obtained in the modal analysis, and the resonant frequencies were determined. Detailed information on harmonic analysis is examined in detail in the results and discussion section.

3. Results and Discussion

3.1. Static Structural Analysis Result

Gudgeon pin is subjected to shear forces between connecting rod and piston. Under the 3275N applied force, the model's Equivalent (Von-Mises) minimum stress value is 2,9934e-004 MPa, maximum stress value resulting from the static structural analysis 81,21 MPa, and average stress value is 4,6258 MPa (Fig. 4). The maximum total deformation value was calculated as 1.4599e-003 mm (Fig. 5).

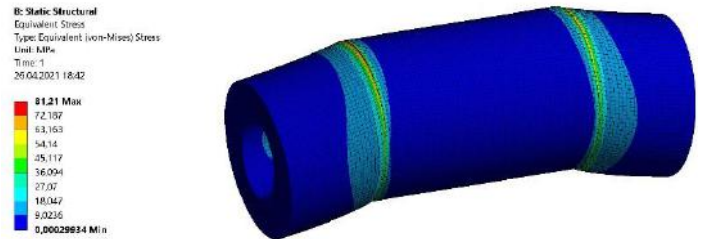


Fig. 4. Equivalent stress result

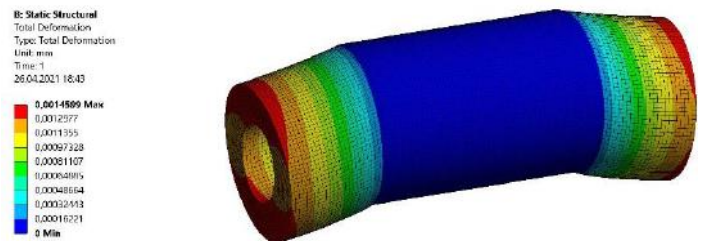
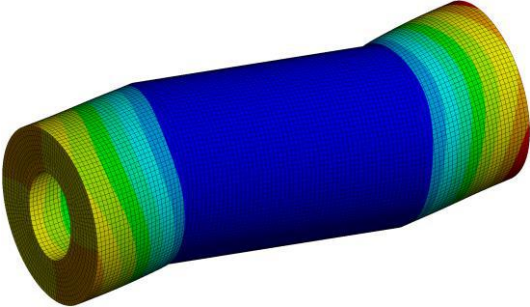
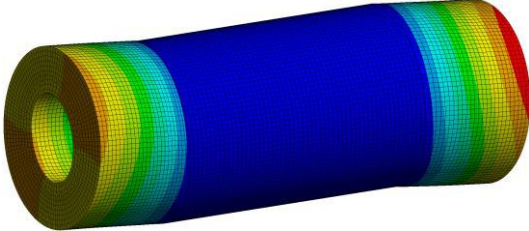
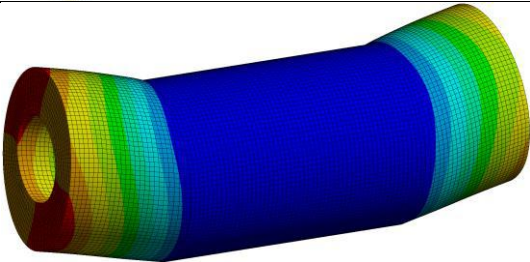
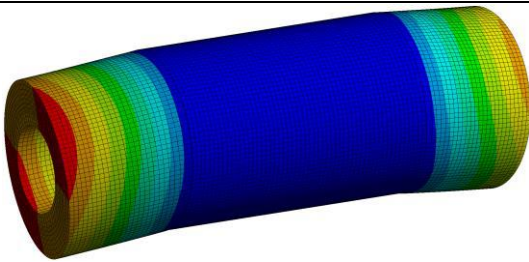
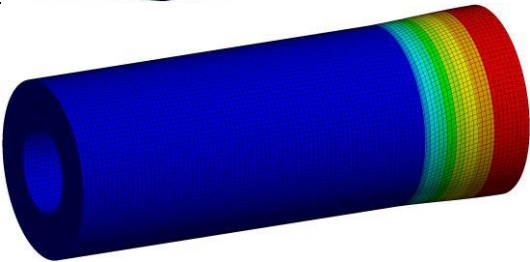
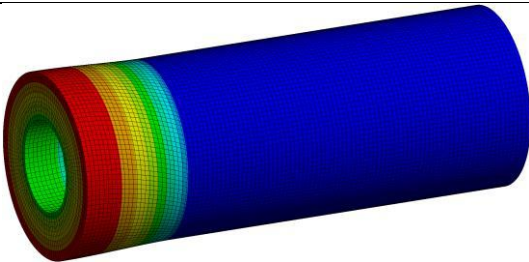
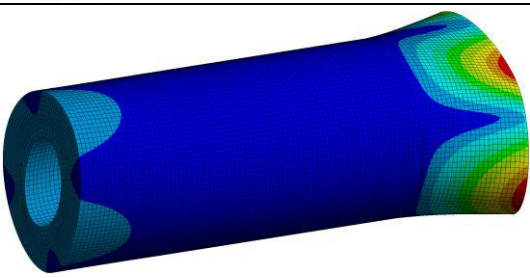
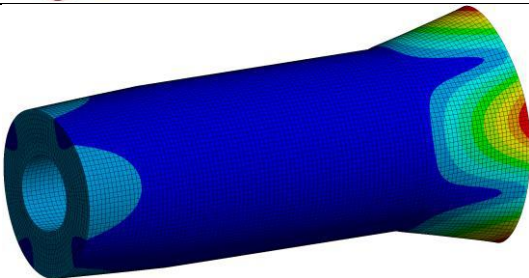
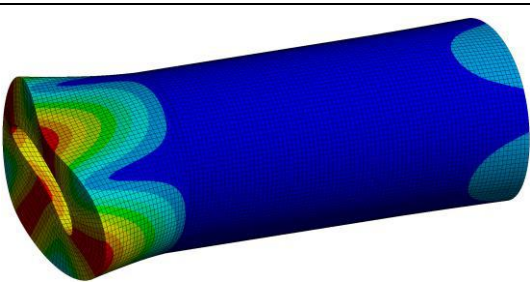
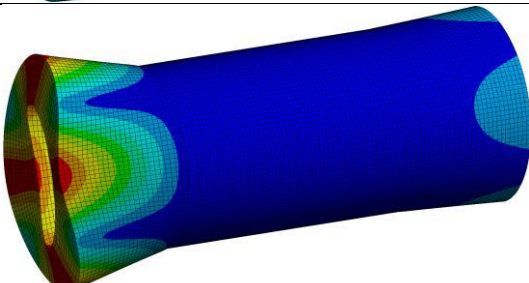
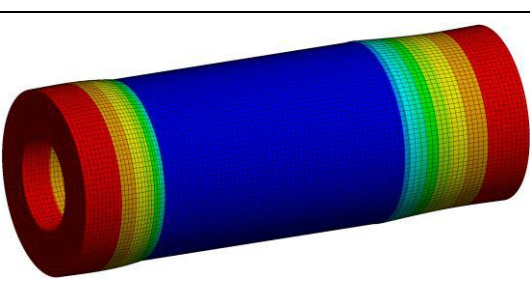
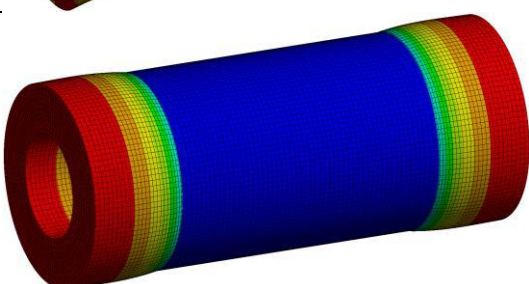


Fig. 5. Total deformation result

3.2. Modal Analysis Result

The modal analysis uses the static structural pre-stress (3275N). Once completed, a note from the modal results, the model's natural frequencies range from 38721 to 79346 Hertz for the first 12 modes. Table 3 shows the first 12 natural frequencies and main vibration directions as obtained from the modal analysis. In the first 12 modes, it was observed that every two modes have the same mode shape mirrored view.

Table 3. Modal analysis results for first 12 modes

Mode	Natural frequency (Hz)	Mode shape	Mode	Natural frequency (Hz)	Mode shape
Mode 1	38721		Mode 2	38721	
Mode 3	38724		Mode 4	38724	
Mode 5	53839		Mode 6	53840	
Mode 7	57846		Mode 8	57846	
Mode 9	57846		Mode 10	57846	
Mode 11	79142		Mode 12	79346	

3.3. Harmonic Analysis Result

According to the modal analysis results, the gudgeon pin will not be subjected to resonance during working. Therefore, a frequency scan including modal analysis is required to detect resonant frequencies that may coincide with the natural frequencies of the first 12 modes obtained in modal analysis.

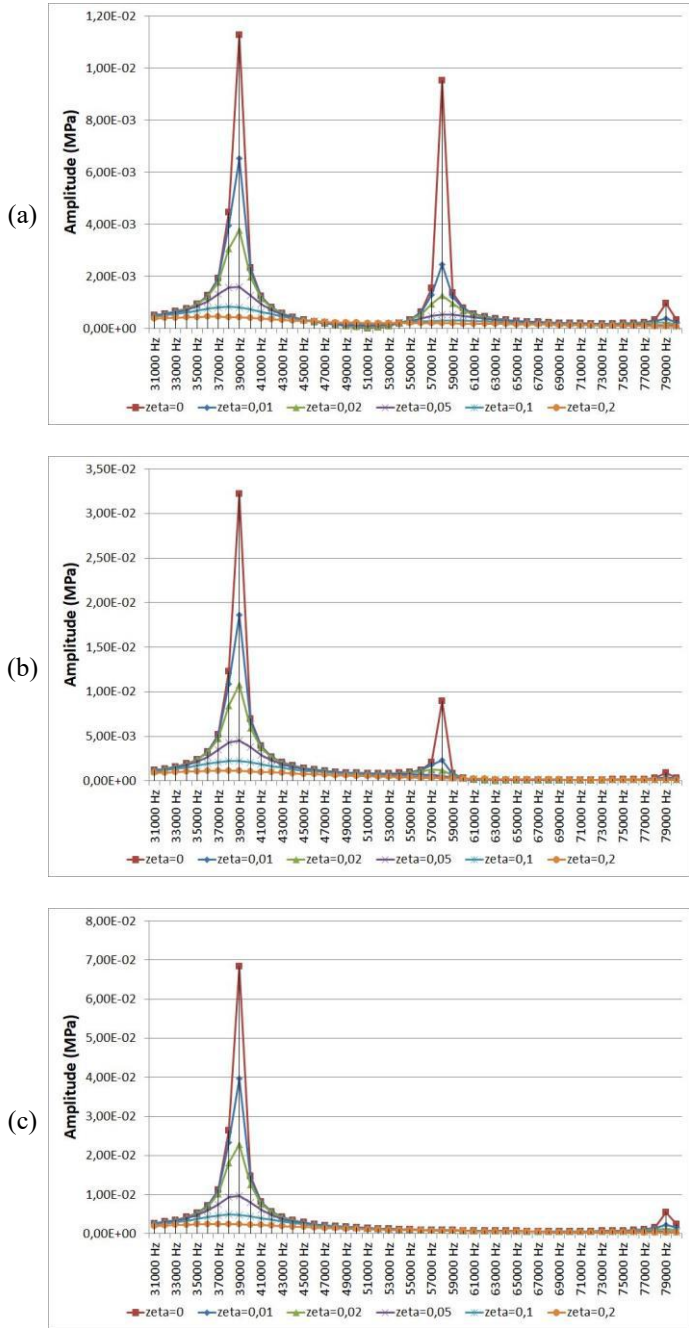


Fig. 6. Frequency response normal stress amplitude a) x-axis b) y-axis c) z-axis

For this reason, harmonic analysis has been solved by using the mode superposition method with 50 intervals with 1000 Hz steps in the range of 30000-80000 Hz.

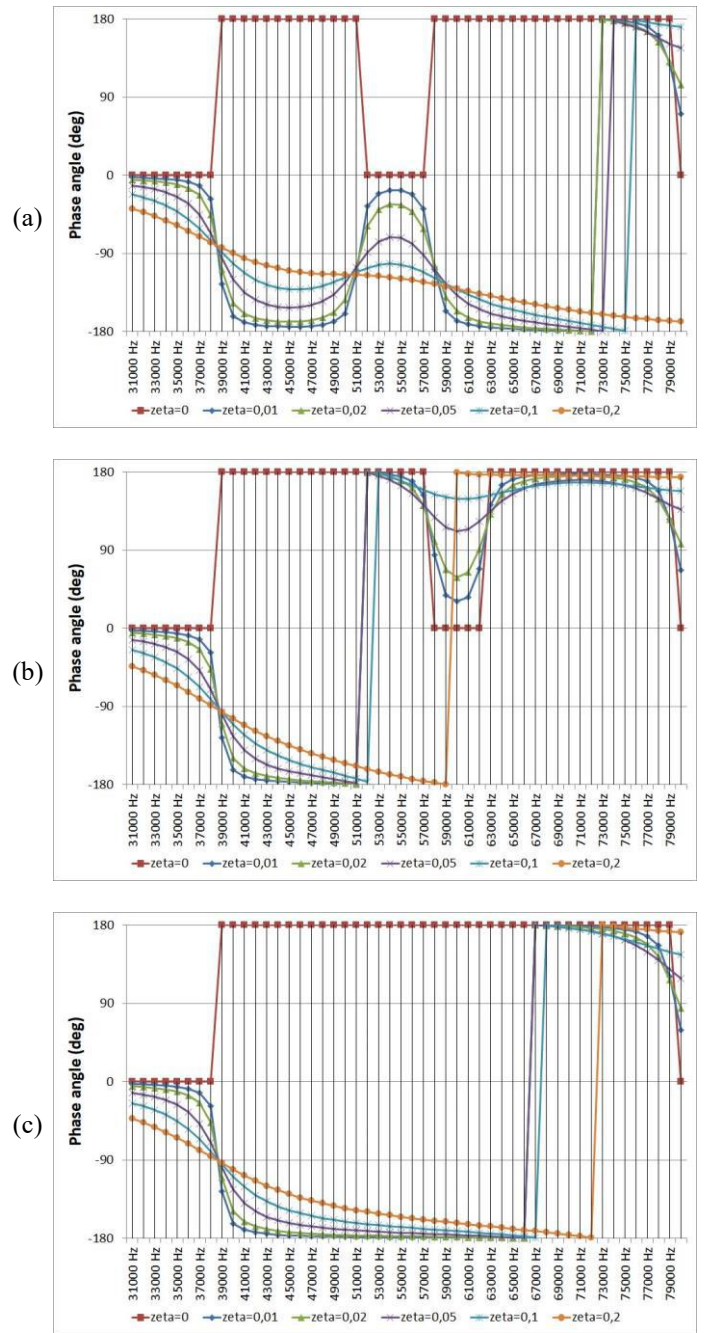


Fig. 7. Frequency response normal stress phase angle a) x-axis b) y-axis c) z-axis

According to the frequency response normal stress x-axis amplitude results (Fig. 6a), three different resonant frequency values were 39000 Hz, 58000 Hz, and 79000 Hz. Frequency response occurred in normal stress x-axis at maximum amplitude 39000 Hz frequency and 180° phase angle (Fig. 7a). The 79000 Hz value has a lower resonant frequency than the others and does not significantly amplitude. As a result of the frequency response, normal stress y-axis amplitude (Fig. 6b) has the same resonant frequencies as in the x-axis. However, the resonant amplitude values of 58000Hz and 79000 Hz are significantly lower relative to the x-axis. It is also seen from the graph that the amplitude value at 39000 Hz has a value approximately three times the value on the x-axis. The y-axis frequency response occurred in the normal stress y-axis at maximum amplitude 39000 Hz frequency and 180° phase angle (Fig. 7b). Only two resonant frequencies are resulting from the frequency response

normal stress z-axis amplitude (Fig. 6c). The resonant frequency amplitude value at 39000 Hz is approximate twice the amplitude value on the y-axis. Although there is a minor resonant value at 79000 Hz, it does not have a significant amplitude value. As on the x and y-axis, frequency response occurred in normal stress y-axis at maximum amplitude 39000 Hz frequency and 180° phase angle (Fig. 7c)

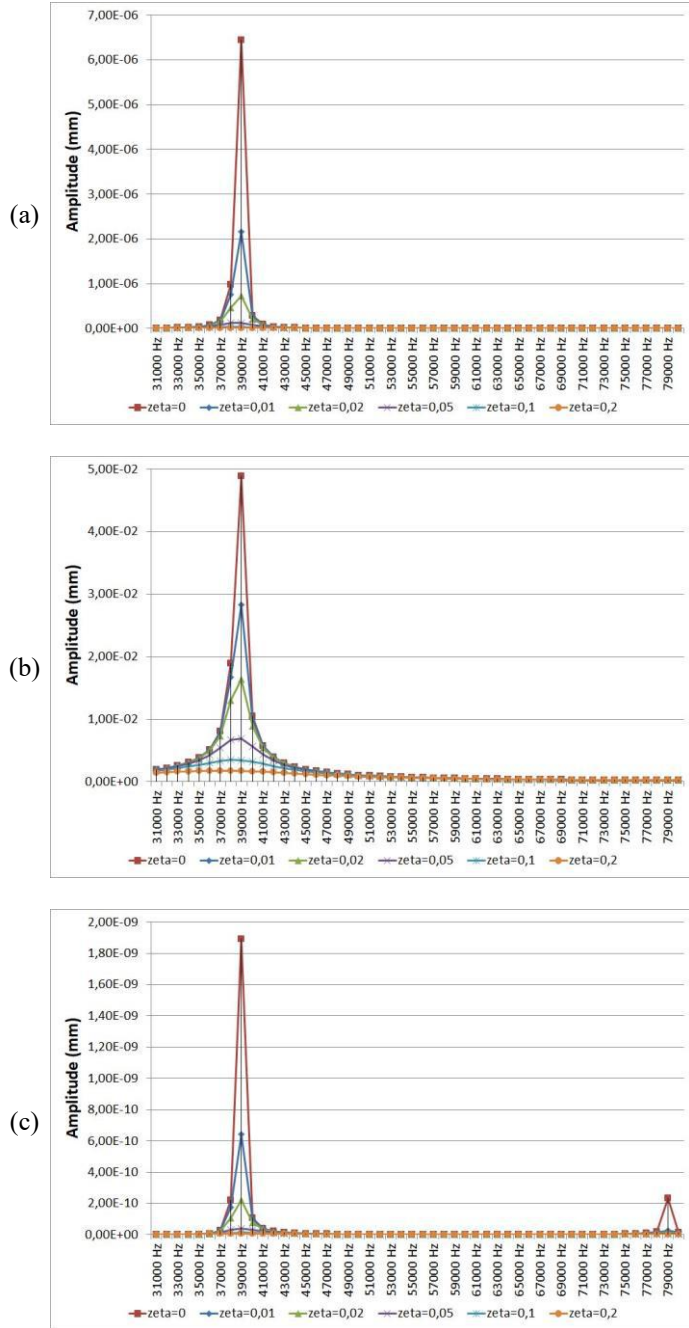


Fig. 8. Frequency response directional deformation amplitude a) x-axis b) y-axis c) z-axis

Frequency response directional deformation in all three axes was realized at a maximum amplitude of 39000 Hz. The maximum amplitude value on the x-axis is 6.4426e-006 mm (Fig. 8a) at the phase angle is 180° (Fig. 9a), the maximum amplitude value on the y-axis is 4.886e-002 mm (Fig. 8b) at the phase angle is -9.2564e-014° (Fig. 9b), the maximum amplitude value on the z-axis is 1.8931e-009 mm (Fig. 8c) at the phase angle is -9.2649e-014° (Fig. 9c). A little resonant frequency

value of 79000Hz was detected in the frequency response directional deformation graph on the z-axis, but it does not have a significant amplitude value.

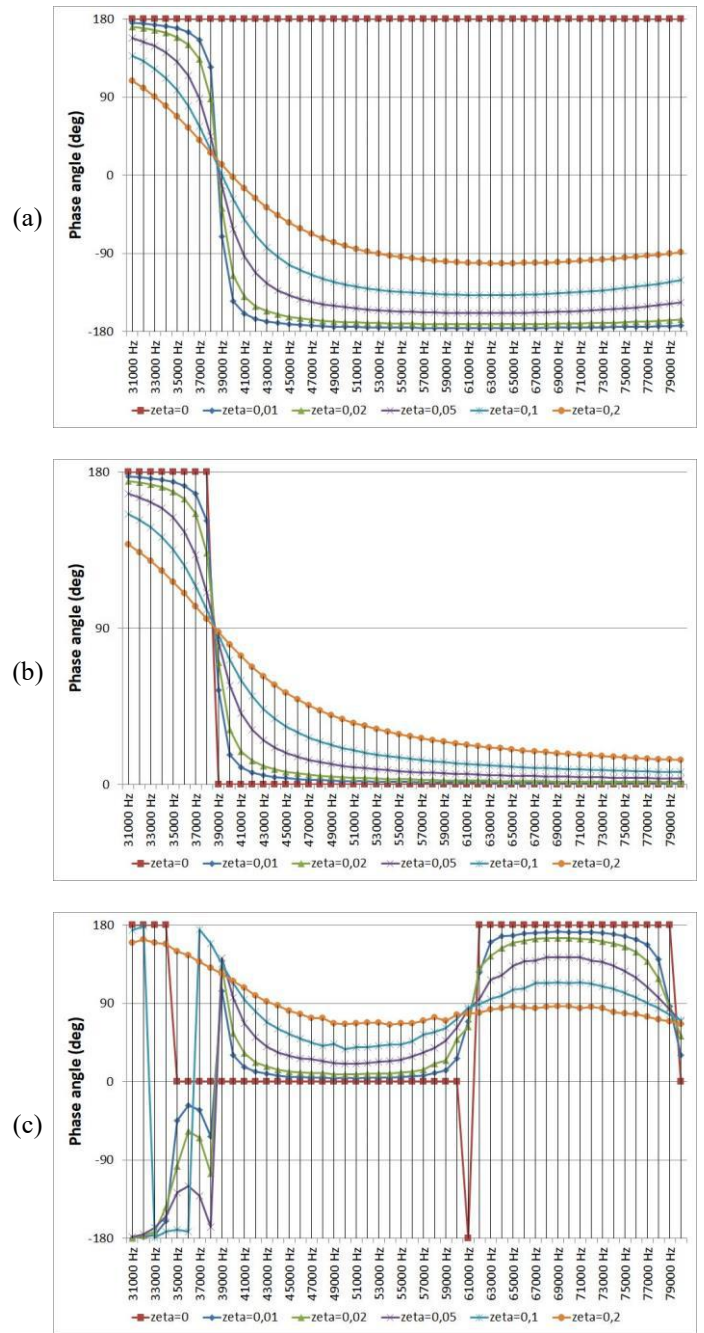


Fig. 9. Frequency response directional deformation phase angle a) x-axis b) y-axis c) z-axis

In the frequency response normal elastic strain x-axis amplitude graph, three different resonant frequency values were determined as 39000 Hz, 58000 Hz, and 79000 Hz (Fig. 10a). The resonant frequency with the highest amplitude value occurred at 39000 Hz and -9.2564e-014° phase angle (Fig. 11a). The resonant frequency of 58000 Hz is approximately two-thirds of the amplitude value occurring at 39000 Hz. The amplitude of the resonant frequency value occurring at 79000 Hz has no significant value. In the frequency response normal elastic strain y-axis amplitude plot (Fig. 10b), the highest resonant frequency occurred at 58000 Hz and -9.2564e-014° phase angle (Fig. 11b). The resonant frequency of 39000 Hz is approximately four-fifths

of the amplitude value occurring at 58000 Hz. The amplitude of the resonant frequency value occurring at 79000 Hz does not significantly value the x-axis. In the frequency response normal elastic strain z-axis amplitude plot (Fig. 10c), the highest resonant frequency occurred at 39000 Hz and 180° phase angle (Fig. 11c). A resonant frequency of 58000 Hz was not detected in the z-axis, but a low amplitude resonant frequency was detected at 79000 Hz as in the x and y axes.

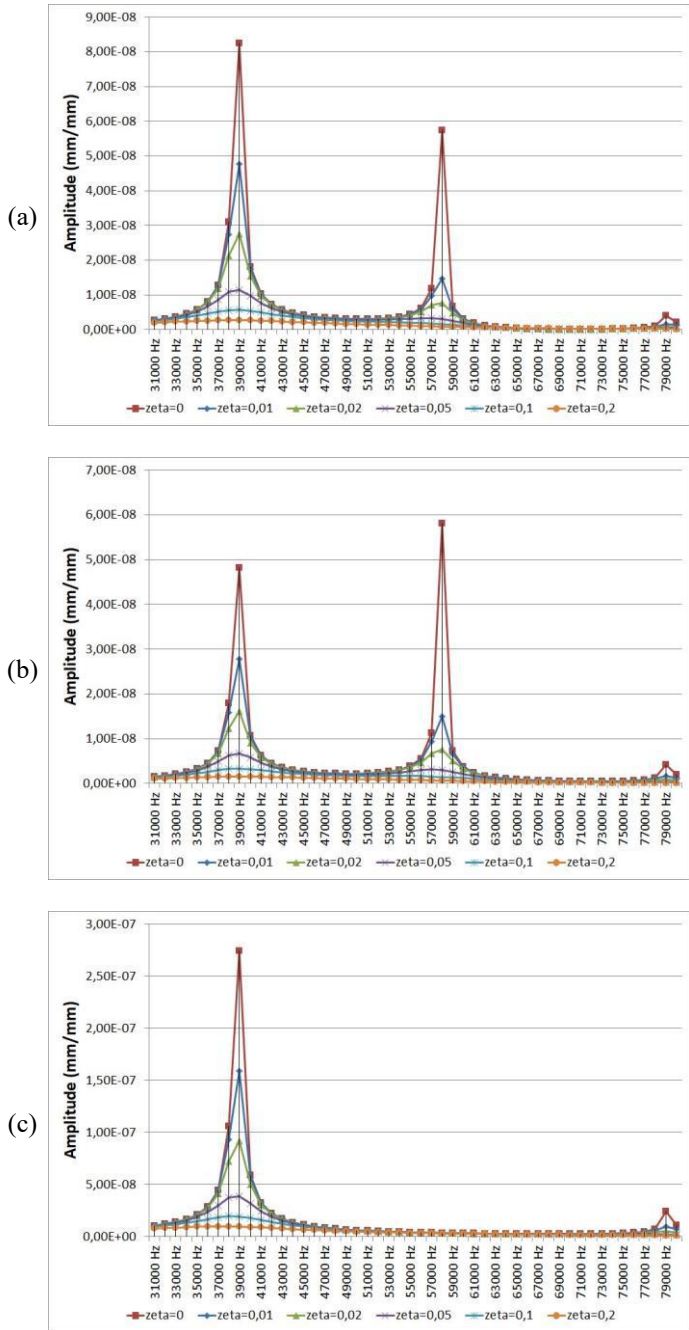


Fig. 10 Frequency response normal elastic strain amplitude a) x-axis b) y-axis c) z-axis

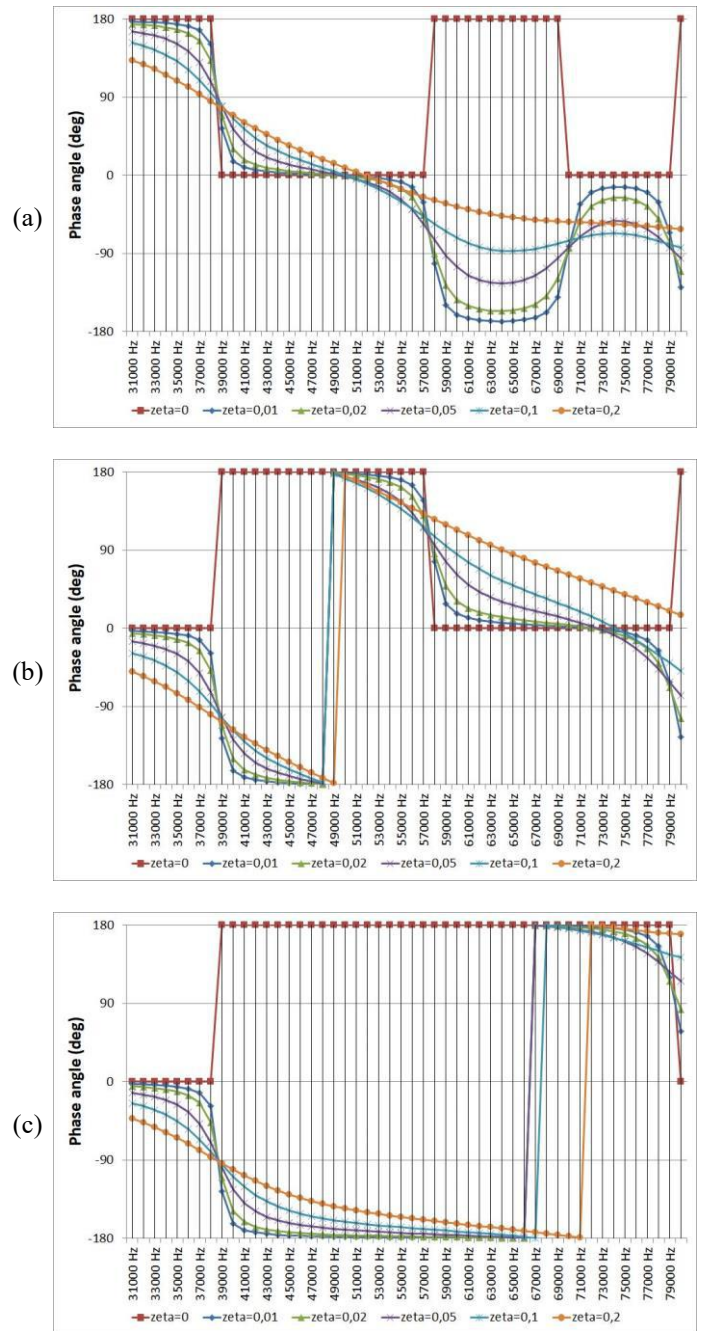


Fig. 11 Frequency response normal elastic strain phase angle a) x-axis b) y-axis c) z-axis

When the normal stress values are compared concerning the constant damping ratio ζ (Table 4), it is seen that it is 42% damping at the resonant frequency amplitude at ζ_1 , 66.5% at ζ_2 , 85.9% at ζ_3 , 92.8% at ζ_4 and 96.3% at ζ_5 .

When the directional deformation values are compared concerning the constant damping ratio ζ (Table 5), it is seen that it is 58.1% damping at the resonant frequency amplitude at ζ_1 , 81.2% at ζ_2 , 93.9% at ζ_3 , 97.2% at ζ_4 and 98.7% at ζ_5 .

When the normal stress values are compared concerning the constant damping ratio ζ (Table 6), it is seen that it is 45.3% damping at the resonant frequency amplitude at ζ_1 , 68.4% at ζ_2 , 86.8% at ζ_3 , 93.4% at ζ_4 and 96.8% at ζ_5 .

Table 4. Frequency response normal stress maximum amplitudes and phase angles

zeta	Value type	Normal stress x-axis	Normal stress y-axis	Normal stress z-axis
0		39000	39000	39000
0,01	Maximum resonant frequency (Hz)	39000	39000	39000
0,02		39000	39000	39000
0,05		39000	39000	39000
0,1		38000	38000	38000
0,2		37000	38000	37000
0			1,13E-02	3,22E-02
0,01	Maximum amplitude	6,54E-03	1,87E-02	3,97E-02
0,02		3,78E-03	1,08E-02	2,29E-02
0,05		1,60E-03	4,52E-03	9,63E-03
0,1		8,49E-04	2,27E-03	4,89E-03
0,2		4,60E-04	1,13E-03	2,47E-03
0			180	180
0,01	Phase angle (°)	-124,83	-125,68	-125,49
0,02		-108,39	-110,09	-109,72
0,05		-95,188	-99,372	-9,84E+01
0,1		-74,632	-81,532	-8,00E+01
0,2		-70,389	-88,576	-7,83E+01
0			0,00%	0,00%
0,01	Damped maximum amplitude concerning zeta = 0	-42,02%	-42,05%	-42,04%
0,02		-66,45%	-66,51%	-66,50%
0,05		-85,80%	-85,95%	-85,92%
0,1		-92,47%	-92,96%	-92,86%
0,2		-95,92%	-96,50%	-96,38%

Table 6. Frequency response normal elastic strain maximum amplitudes and phase angles

zeta	Value type	Normal stress x-axis	Normal stress y-axis	Normal stress z-axis
0		39000	58000	39000
0,01	Maximum resonant frequency (Hz)	39000	39000	39000
0,02		39000	39000	39000
0,05		39000	39000	39000
0,1		39000	39000	38000
0,2		38000	39000	37000
0			8,24E-08	5,80E-08
0,01	Maximum amplitude	4,78E-08	2,79E-08	1,59E-07
0,02		2,76E-08	1,61E-08	9,20E-08
0,05		1,16E-08	6,73E-09	3,86E-08
0,1		5,74E-09	3,32E-09	1,96E-08
0,2		2,75E-09	1,55E-09	9,91E-09
0			-9,26E-14	-9,26E-14
0,01	Phase angle (°)	53,963	-126,32	-125,5
0,02		69,195	-111,36	-109,73
0,05		78,855	-102,54	-98,485
0,1		79,991	-102,74	-80,034
0,2		85,476	-107,89	-78,459
0			0,00%	0,00%
0,01	Damped maximum amplitude concerning zeta = 0	-42,05%	-51,93%	-42,04%
0,02		-66,52%	-72,24%	-66,50%
0,05		-85,99%	-88,40%	-85,92%
0,1		-93,04%	-94,27%	-92,86%
0,2		-96,67%	-97,33%	-96,39%

Table 5. Frequency response directional deformation maximum amplitudes and phase angles

zeta	Value type	Normal stress x-axis	Normal stress y-axis	Normal stress z-axis
0		39000	39000	39000
0,01	Maximum resonant frequency (Hz)	39000	39000	39000
0,02		39000	39000	39000
0,05		39000	39000	39000
0,1		38000	38000	39000
0,2		37000	37000	38000
0			6,44E-06	4,89E-02
0,01	Maximum amplitude	2,16E-06	2,83E-02	6,44E-10
0,02		7,24E-07	1,64E-02	2,19E-10
0,05		1,28E-07	6,88E-03	4,18E-11
0,1		3,38E-08	3,50E-03	1,29E-11
0,2		9,10E-09	1,79E-03	5,03E-12
0			180	-9,26E-14
0,01	Phase angle (°)	-70,012	54,578	104,38
0,02		-37,495	70,424	131,82
0,05		-12,059	81,904	142,12
0,1		29,292	100,68	135,29
0,2		40,675	102,83	130,91
0			0,00%	0,00%
0,01	Damped maximum amplitude concerning zeta = 0	-66,41%	-42,04%	-65,98%
0,02		-88,77%	-66,49%	-88,42%
0,05		-98,01%	-85,92%	-97,79%
0,1		-99,47%	-92,83%	-99,32%
0,2		-99,86%	-96,35%	-99,73%

4. Conclusions and Recommendations

According to the frequency response data obtained as a result of finite element analysis, a total of three different resonant frequency values were determined, with the largest being 39000 Hz, 58000 and 79000. In the gudgeon pin model used in the internal combustion engine, these frequencies are found at the following rpm engine speed values:

$$39000 \text{ Hz} = 650 \text{ RPM} \tag{24.1}$$

$$58000 \text{ Hz} = 967 \text{ RPM} \tag{24.2}$$

$$79000 \text{ Hz} = 1317 \text{ RPM} \tag{24.3}$$

Idle speed in internal combustion engines is generally set in the range of 600-1000 RPM. If the motor idle speed is set as one of the values of Equation (24.1), (24.2), and (24.3), the stress, strain, and deformation values on the gudgeon pin will be higher than expected due to the resonance that may occur, and the gudgeon pin will be damaged. The resonant frequency can be damped with a damper to prevent or reduce the effects of resonance. In the frequency response graphs in Fig. 6-11, the curves of the damped resonant frequencies at six different zeta (ζ) values are also shown. When the zeta value is 0.2, all resonant frequencies are almost entirely damped.

References

Arioli, G., & Gazzola, F. (2015). A new mathematical explanation of what triggered the catastrophic torsional mode of the Tacoma Narrows Bridge. *Applied Mathematical Modelling*, 39(2), 901–912.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.06.022>
- Binoy, J., Marchewka, M. K., & Jayakumar, V. S. (2013). The 'partial resonance' of the ring in the NLO crystal melaminium formate: Study using vibrational spectra, DFT, HOMO–LUMO and MESP mapping. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *104*, 97–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.11.046>
- Closed-loop random vibration control of a shaker table with a microcomputer: M. L. Wang, *Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, *13*(4), 1994, pp 259–266. (1995). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, *32*(1), A24. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0148-9062\(95\)90179-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0148-9062(95)90179-5)
- Diéguez, P. M., Urroz, J. C., Sáinz, D., Machin, J., Arana, M., & Gandía, L. M. (2018). Characterization of combustion anomalies in a hydrogen-fueled 1.4 L commercial spark-ignition engine by means of in-cylinder pressure, block-engine vibration, and acoustic measurements. *Energy Conversion and Management*, *172*, 67–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.115>
- Fung, R.-F., & Chen, K.-W. (1998). Dynamic Analysis And Vibration Control of A Flexible Slider–Crank Mechanism Using Pin Synchronous Servo Motor Drive. *Journal of Sound and Vibration*, *214*(4), 605–637. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.1556>
- Geng, Z., & Chen, J. (2005). Investigation into piston-slap-induced vibration for engine condition simulation and monitoring. *Journal of Sound and Vibration*, *282*(3), 735–751. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.03.057>
- Geng, Z., Chen, J., & Barry Hull, J. (2003). Analysis of engine vibration and design of an applicable diagnosing approach. *International Journal of Mechanical Sciences*, *45*(8), 1391–1410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmesci.2003.09.012>
- Gharaibeh, M. A., & Pitarresi, J. M. (2019). Random vibration fatigue life analysis of electronic packages by analytical solutions and Taguchi method. *Microelectronics Reliability*, *102*, 113475. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.113475>
- Gosala, D. B., Raghukumar, H., Allen, C. M., Shaver, G. M., McCarthy, J. E., & Lutz, T. P. (2021). Model-based design of dynamic firing patterns for supervisory control of diesel engine vibration. *Control Engineering Practice*, *107*, 104681. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104681>
- Haftirman, A. K. R. (2016). *Mechanical System Design Lecture Note (Lecture 13) Multicylinder Engines*.
- Jannoun, M., Aoues, Y., Pagnacco, E., Pougnet, P., & El-Hami, A. (2017). Probabilistic fatigue damage estimation of embedded electronic solder joints under random vibration. *Microelectronics Reliability*, *78*, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.08.005>
- Karkoub, M. A. (2000). Control of the elastodynamic vibrations of a flexible slider–crank mechanism using μ -synthesis. *Mechatronics*, *10*(6), 649–668. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(99\)00083-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0957-4158(99)00083-5)
- Kihm, F., & Delaux, D. (2013). Vibration Fatigue and Simulation of Damage on Shaker Table Tests: The Influence of Clipping the Random Drive Signal. *Procedia Engineering*, *66*, 549–564. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.107>
- Liao, H. (2014). Global resonance optimization analysis of nonlinear mechanical systems: Application to the uncertainty quantification problems in rotor dynamics. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, *19*(9), 3323–3345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.02.026>
- Liu, X., & Randall, R. B. (2005). Blind source separation of internal combustion engine piston slap from other measured vibration signals. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *19*(6), 1196–1208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.08.004>
- Malík, J. (2013). Sudden lateral asymmetry and torsional oscillations in the original Tacoma suspension bridge. *Journal of Sound and Vibration*, *332*(15), 3772–3789. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.02.011>
- Matsumoto, M., Shirato, H., Yagi, T., Shijo, R., Eguchi, A., & Tamaki, H. (2003). Effects of aerodynamic interferences between heaving and torsional vibration of bridge decks: the case of Tacoma Narrows Bridge. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *91*(12), 1547–1557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2003.09.010>
- Moosavian, A., Najafi, G., Ghobadian, B., & Mirsalim, M. (2017). The effect of piston scratching fault on the vibration behavior of an IC engine. *Applied Acoustics*, *126*, 91–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.05.017>
- Moosavian, A., Najafi, G., Ghobadian, B., Mirsalim, M., Jafari, S. M., & Sharghi, P. (2016). Piston scuffing fault and its identification in an IC engine by vibration analysis. *Applied Acoustics*, *102*, 40–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.09.002>
- Muhammad, N., Fang, Z., & Shoaib, M. (2020). Remaining useful life (RUL) estimation of electronic solder joints in rugged environment under random vibration. *Microelectronics Reliability*, *107*, 113614. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2020.113614>
- Naseri, R., Talebi, H. A., Ohadi, A., & Fakhari, V. (2020). A robust active control scheme for automotive engine vibration based on disturbance observer. *ISA Transactions*, *100*, 13–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.11.005>

- Plaut, R. H. (2008). Snap loads and torsional oscillations of the original Tacoma Narrows Bridge. *Journal of Sound and Vibration*, 309(3), 613–636. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.07.057>
- Reghu, V. R., Shankar, V., & Ramaswamy, P. (2018). Challenges in Plasma Spraying of 8%Y2O3-ZrO2 Thermal Barrier Coatings on Al Alloy Automotive Piston and Influence of Vibration and Thermal Fatigue on Coating Characteristics. *Materials Today: Proceedings*, 5(11, Part 3), 23927–23936. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.185>
- Strozzi, A., Baldini, A., Giacomini, M., Bertocchi, E., & Mantovani, S. (2018). A repertoire of failures in gudgeon pins for internal combustion engines, and a critical assessment of the design formulae. *Engineering Failure Analysis*, 87, 22–48. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.02.004>
- Trapp, A., & Wolfsteiner, P. (2021). Frequency-domain characterization of varying random vibration loading by a non-stationarity matrix. *International Journal of Fatigue*, 146, 106115. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106115>
- Veciana Fontanet, J. M., Jordi Nebot, L., & Lores Garcia, E. (2021). Residual vibration reduction in back-and-forth moving systems driven by slider-crank mechanisms working through a dead point configuration. *Mechanism and Machine Theory*, 158, 104239. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104239>
- Wang, M. L. (1994). Closed-loop random vibration control of a shaker table with a microcomputer. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13(4), 259–266. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0267-7261\(94\)90030-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0267-7261(94)90030-2)
- Wu, L., Bi, Y., Shen, L., Lei, J., Zhang, L., & Zhou, F. (2019). Study on the effect of piston skirt profile on the vibration behavior of non-road high pressure common rail diesel engine. *Applied Acoustics*, 148, 457–466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.01.007>
- Wyatt, T. A. (1992). Bridge Aerodynamics 50 Years After Tacoma Narrows - Part I: The Tacoma Narrows failure and after. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 40(3), 317–326. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(18\)80001-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-6105(18)80001-0)
- Xu, X. L., & Yu, Z. W. (2010). Failure investigation of a diesel engine piston pin. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 10(3), 245–248. <https://doi.org/10.1007/s11668-010-9343-x>
- Yao, G., & Li, F. (2019). Nonlinear global resonance analysis of an embedded plate interacting with outside subsonic airflow. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 68, 286–301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2018.08.010>
- Yu, Z., Xu, X., & Ding, H. (2007). Failure analysis of a diesel engine piston-pin. *Engineering Failure Analysis*, 14(1), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.12.004>



Türkiye'ye Yönelik Dış Turizm Talebi Açısından Ülkelerin Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılması

Ece Aydoğdu Ulukan^{1*}, Serhat Peker²

^{1*} İzmir Bakırçay Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2867-5221), ece.aydogdu1@gmail.com

² İzmir Bakırçay Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6876-3982), serhat.peker@bakircay.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 11 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1183700)

ATIF/REFERENCE: Aydoğdu Ulukan, E., & Peker, S. (2022). Türkiye'ye Yönelik Dış Turizm Talebi Açısından Ülkelerin Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 384-392.

Öz

Turizm ülkelerin ekonomik gelişimi için en önemli unsurlardan biridir. Ülkelere gelen yabancı turistlerin verilerinin analiz edilmesi bu gelişime katkı sağlaması açısından büyük önem taşısa da uluslararası turizme yönelik Türkiye'de yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı ülkelerden Türkiye'ye olan dış turizm talebini kümeleme analizi kullanarak incelemek ve Türkiye'ye turist gönderen bu ülkeleri sınıflandırmaktır. Bu bağlamda, ülkelerin gelir düzeyleri, ülkelerden çıkan turist sayıları, çıkan turist sayılarında Türkiye'nin payı ve turistlerin Türkiye'de konaklama süresi gibi faktörler dikkate alınmış ve iki aşamalı kümeleme yöntemi kullanılarak ülkeler gruplandırılmıştır. Elde edilen ülke grupları, kullanılan değişkenler ışığında karakterize edilmiştir. Bu çalışma sonucunda oluşturulan ülke profillerinin, politika yapıcılarının etkin stratejiler geliştirmesinde yardımcı olacağına inanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri madenciliği, kümeleme analizi, veri yönetimi, iş zekâsı ve analitiği, uluslararası turizm talebi.

Classifying Countries in Terms of Inbound Tourism Demand Using Cluster Analysis: The Case of Turkey

Abstract

Tourism is one of the most important elements for the economic development of countries. Although the analysis of the data of foreign tourists coming to the countries is one of the great importance in terms of contributing to this development, there are not enough studies in Turkey for international tourism. The aim of this study is to examine the foreign tourism demand coming to Turkey from different countries by using cluster analysis and to classify these countries that send tourists to Turkey. In this context, factors such as the income levels of the countries, the number of tourists leaving the countries, Turkey's share in the number of tourists and the length of stay of the tourists in Turkey are considered, and the countries are clustered using the two-stage clustering method. The resulting country groups were characterized in the light of the features used. It is believed that the generated country profiles will help policy makers to develop effective strategies.

Keywords: Data mining, cluster analysis, data management, business intelligence and analytics, international tourism demand.

* Sorumlu Yazar: ece.aydogdu1@gmail.com

1. Giriş

Turizm, ülkelerin gelişimi için önemli bir etkiye sahip olmasıyla birlikte uluslararası ticareti de düzenleyen ve ülkelere ekonomik gelir artışı sağlayan sektörlerden biridir (Kandemir, 2018). Turizm sektörü, ülkelere olan gelir katkısı, sağladığı döviz girdisi ve iş imkanlarıyla ülke ekonomisini büyük ölçüde etkilemektedir (Özbek, 1991). Uluslararası turizmden, seyahat ve yolcu taşımacılığı alanında elde edilen ihracat kazançları, dünya çapında hem gelişmekte olan hem de gelişmiş birçok ekonomi için önemli bir dış gelir kaynağı oluşturmaktadır. Bu kazançlar ülke içerisinde iş imkânı yaratmaya, girişimciliği teşvik etmeye ve yerel ekonomileri de geliştirmeye yardımcı olur. Uluslararası turizm aynı zamanda, dış ticaret açığını azaltıp, diğer mal ve hizmetlerden elde edilen daha zayıf ihracat gelirlerini telafi ederek ülkelerin ödeme dengesini iyileştirmeye katkı sağlar. Bu sebeplerle turizm, toplumlar arası kültürel etkileşimin artması, ekonomik dengenin sağlanması ve iş olanakları yaratması sebebiyle ülkeler için oldukça önemli bir kavramdır (Garda & Temizel, 2016). Aynı zamanda bu katkıları nedeniyle bir hizmet sektörü olan turizmin, dünya çapında hızlı bir gelişim gösterdiği de fark edilmiştir (Bahar, 2006). Turizm sektörünün gelişimi, istihdam olanakları sağlaması açısından, yüksek işsizlik sorunları yaşayan ülkeler için önemlidir (Aydın et al., 2015). Türkiye’de dış turizm ülkeye gelir sağlayan, döviz girdisine en büyük katkıda bulunan alanlardandır (Karaoğlu, 2019). Buna paralel olarak, ulusal ve uluslararası yapılmış olan çalışmalardan turizmin ekonomik büyümeye etkisinin olumlu olduğu görülmektedir (Bahar, 2006).

Ulaşım imkanlarının gelişmesi ve teknolojik ilerlemelerle birlikte Türkiye için de turizm sektörü önemli bir noktaya ulaşmış, dış turist talebi ekonomiyi etkileyen faktörlerin başlarında yer almıştır (Zortuk & Bayrak, 2013). Gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere birçok ülke için dış turizm talebinin ekonomiye katkısının önemi giderek artmış ve bu ülkelerde turizm hızlı bir yükselişe geçmiştir (Özcan, 2021). UNWTO 2020 (“Int. Tour. Highlights, 2020 Ed.,” 2021) raporuna göre, yakıt ve kimyasaldan sonra turizm, dünyanın üçüncü en büyük ihracat kategorisi olmakla birlikte uluslararası turizmden yapılan toplam ihracat 2019’da 1,7 trilyon ABD dolarına ulaşmıştır. Türkiye’de ise 2019 yılında 26 milyar ABD doları ile dünyanın en büyük 5. seyahat fazlası (uluslararası turizm gelirleri (gelen) ile uluslararası turizm harcamaları (giden) arasındaki fark) kaydeden ülkesi olmuştur (“Int. Tour. Highlights, 2020 Ed.,” 2021). Yine 2019 yılında Türkiye, 50 milyondan fazla varış ile dünyanın ilk 10 destinasyonu arasında yer almakla birlikte, bu istatistiklerde dünyada en güçlü artışı (+%12) gösteren ülke olmuştur (“Int. Tour. Highlights, 2020 Ed.,” 2021). Bu gelişmeler sayesinde turizm, bilimsel çalışmalarında ilgisini üzerinde toplamış ve literatürde daha fazla yer almaya başlamıştır (Ersungur et al., 2017).

Talep tahmini birçok sektörde olduğu gibi turizm sektöründe de önemlidir (Sevimli Deniz, 2019). Günümüzde turizmin hızlı gelişimiyle birlikte verinin depolanması ve ihtiyaç anında ulaşılması gibi durumlarda enformasyon sistemlerine olan ihtiyacı arttırmıştır (Akgün & Çizel, 2016). Bu sistemler sayesinde ekonomide stratejik planlar hazırlanması mümkün kılınabilirken aynı zamanda yatırımcılardan elde edilen kaynaklardaki israfları da en aza indirmek mümkün olabilmektedir (Çuhadar, 2015). Herhangi bir bölgedeki turist hareketleri incelenerek reklam kampanyaları hazırlanabilir,

sonraki sezonda turist sayısını yükseltmek için planlamalar yapılabilmektedir (Akgün & Çizel, 2016). Bununla birlikte turistlerin nereden geldikleri, geldikleri bölgelerdeki harcama bilgileri gibi verilerle pazarlama stratejileri de belirlenebilmektedir (Magnini et al., 2003).

Dijitalleşmeyle birlikte turizm endüstrisinde de çevrimiçi ve çevrimdışı kanallar aracılığıyla veri toplamak daha kolay ve mümkün hale gelmiştir. Bu da veriye dayalı iş analitiği modellerinin kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, veri hacmi arttıkça ve veri özellikleri daha karmaşık hale geldikçe, veri madenciliği ve yapay zekâ uygulamalarının önemi de artmıştır. Veri madenciliği, büyük veri setlerinde örtük olan ilginç, değerli bilgi ve kalıplarından anlamlı sonuçlar çıkarabilmek için bir takım matematiksel ve istatistikî yöntemlerin kullanılmasını kapsamaktadır (Akgün & Çizel, 2016), (Bardak & Sözen, 2018). Veri bilimiyle elde edilen bu anlamlı sonuçlar ile firmalar farklı pazarlarda büyük başarılar elde edebilirler (Bardak & Sözen, 2018). Veri madenciliği ve yapay zeka uygulamaları, turizm alanında yeni olmalarına rağmen önemli bir etken haline geleceği tahmin edilmektedir (Doborjeh et al., 2022).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’ye yönelik dış turizm talebini, en yaygın veri madenciliği tekniklerinden biri olan kümeleme analizi kullanarak incelemek ve Türkiye’ye turist gönderen ülkeleri, bu açıdan karakterize edip sınıflandırmaktır. Bu anlamda, ülkelerin gelir düzeyleri, ülkelerden çıkan turist sayıları, çıkan turist sayılarında Türkiye’nin payı ve turistlerin Türkiye’de konaklama süresi gibi faktörler dikkate alınmıştır. Bu değişkenlere ilişkin, 2019 ve 2020 yıllarına ait veriler toplanmıştır. Toplanan veriler ışığında, ülkeler iki aşamalı kümeleme yöntemi ile her iki yıl için ayrı ayrı sınıflandırılmış ve oluşan kümeler, kullanılan değişkenler özelinde incelenmiştir. Çalışmamızın geri kalanı, dört bölüm halinde düzenlenmiştir. İkinci bölümde konu ile ilgili literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde ise kullanılan materyaller ve yöntem açıklanmıştır. Uygulama ve çalışmanın bulguları hakkında bilgilere dördüncü bölümde yer verilirken, çalışmanın sonuçlarına gelecekteki çalışmalara önerilerle birlikte beşinci bölümde yer verilmiştir.

2. Turizmde Veri Madenciliği ve Yapay Zeka Uygulamaları

Birçok sektör gibi turizm sektörü de talep tahmini çalışmalarını güvenilir veriler ışığında yapmaya ihtiyaç duymaktadır (Çuhadar, 2015). Turizm politikaları belirleme ve turizm planlarının yapılmasında etkisi büyük olan talep tahmini belirleme konusu çok sayıda araştırmanın ilgi odağı olmuştur (Kaya & Canlı, 2013). Huang ve Hao (2021), çalışmalarında Hong Kong turist gelişlerini tahmin etmede talep tahmini doğruluğunu geliştirmek için iki aşamalı yöntem önermişlerdir. Yöntemin ilk aşamasında arama sorgularındaki anahtar kelimelerle çift artırmalı bir algoritmadan faydalanılmış, ikinci aşamada ise olası doğrusal olmayan ilişkiyi tespit etmek ve derin öğrenme kombinasyonu yoluyla tahmin performansını iyileştirmek için Destek Vektör Regresyon (SVR) tabanlı Derin İnanç Ağı (DBN) yaklaşımı kullanılmıştır. Zhang ve diğerleri (2021), çalışmada modelleme doğruluğunu daha da geliştirmeyi ve yapay zeka tabanlı turizm talep tahmin yöntemlerini geliştirmeyi amaçlamıştır.

Akın (2015), çalışmada yapısal zaman serisi modellemesini kullanarak verilen zaman serisinin bileşenlerini

belirlemiş, belirlenen bu bileşenleri kullanarak bir dizi karar ağacı oluşturmuş ve model seçimi için bir kural seti elde etmiştir. Bir başka çalışmada ise Höpken ve diğerleri (2021), turist varış tahmini için gezginlerin web arama trafiğini harici girdi özelliği olarak dahil ederek otoregresif tahmin modellerini geliştirmek için bir yaklaşım sunmuştur. Ayrıca bu çalışmada, ilgili arama terimlerini belirlemek ve bunları bir otoregresif tahmin yaklaşımının ek girdisi olarak kullanılan bir bileşik web arama indeksinde toplamak için yeni bir yöntem önerilmiştir.

Dursun ve Caber (2016), kümeleme algoritmaları ve RFM modeli ile karlı otel müşterilerinin profilini çıkarmaya

odaklanmıştır. RFM modelinde, müşterilerin doğasını keşfetmek için yenilik, frekans ve parasal göstergeler kullanılmıştır. Turist profillerinin incelendiği farklı bir çalışmada Yıldırım ve İnce (2022), Türkiye'deki turist profilini veri madenciliği yöntemleriyle analiz etmeyi amaçlamıştır. Bu veriler üzerinde k-ortalama kümeleme algoritması kullanılarak profillerin anahtar parametreleri elde edilmiş ve kişiler özelliklerine göre gruplara ayrılmıştır. Yukarıda bahsi geçen be son yıllarda yapılan diğer benzer çalışmalar da Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür özeti
(Table 1. Literature review)

Makale	Yıl	Amaç	Kullanılan Yöntemler
(Akın, 2015)	2015	Farklı ülkelerden gelen turist verileri üzerindeki performansları karşılaştırarak model seçimi için bir kural oluşturmak	Yapısal zaman serisi modelleme, Ortalama Kare Hatası (MSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE), SARIMA, Sinir Ağı Modelleme, Destek Vektör Makineleri (SVM)
(Dursun & Caber, 2016)	2016	Müşteri davranışlarını inceleyerek pazarlama stratejilerini geliştirmek için müşteri segmentasyonu yapmak	K-ortalama algoritması ve kendini düzenleyen haritalar (SOM)
(Shapoval et al., 2018)	2018	Turistlerin davranışlarını analiz ederek pazarlama stratejilerine destek olmak	Karar Ağaçları
(Law et al., 2019)	2019	Aylık Makao turist varış hacimlerini tahmin etmek	Derin Öğrenme, Destek Vektör Regresyonu, Yapay Sinir Ağı Modelleri
(Kulshrestha et al., 2020)	2020	Turizm talep tahmini yapmak	Uzun-Kısa Süreli Bellek (BILSTM)
(Akgün et al., 2021)	2021	İlgili seyahat acentesi müşterilerinin profili hakkında bilgi edinmek	Karar ağaçları sınıflandırma algoritması
(Nguyen et al., 2021)	2021	Aylık uluslararası turist sayısını tahmin etmek	Yapay Sinir Ağı
(Huang & Hao, 2021)	2021	İlgili makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak turizm talep tahmin başarısını arttırmak	Derin İnanç Ağı (DBN), Destek Vektör Regresyonu (SVR)
(Zhang et al., 2021)	2021	Yapay zekâ tabanlı turizm talep tahmin yöntemleri geliştirmek	Derin Öğrenme, STL, DADLM
(Höpken et al., 2021)	2021	Oto agresif tahmin modellerini geliştirmek	Oto agresif Hareketli Ortalamalar Modeli (ARIMA), Yapay Sinir Ağı
(Yıldırım, 2022)	2022	Türkiye'deki turist profilini veri madenciliği yöntemleriyle analiz etmek	K-ortalama algoritması

Son yıllarda veri madenciliği ve yapay zeka uygulamaları turizm sektöründe sık kullanılsa da, bu araçların ve teknolojilerin kullanıldığı farklı turizm dinamiklerine yönelik çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır (Ünlüöner & Şen Küpeli, 2021). Ayrıca literatürdeki çalışmalarda Türkiye açısından dış turizm sektörü yeterince ilgi görememiş ve bu alan üzerine çok sayıda çalışma yapılmamıştır. Çalışmamız dış turizm alanında verimi arttırmak ve bu alandaki çalışmalara destek olmayı hedeflemektedir.

3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, veri toplama ve veri analiz teknikleri gibi çeşitli konular tartışılmaktadır. İlk alt bölümde, araştırmanın verilerinin hangi kaynaklardan elde edildiği açıklanmış, ilgili internet siteleri paylaşılmıştır. Daha sonra değişken tanımları tablo halinde verilmiştir. İkinci alt bölümde ise veri setine uygulanan ön işlemler anlatılmış ve oluşturulan modellerin tanımlayıcı istatistik verilerini içeren bilgiler tablo halinde sunulmuştur. Son olarak üçüncü alt bölümde ise kullanılan analiz yöntemi açıklanmıştır.

3.1. Niteliklerin Tasviri ve Verinin Toplanması

Bu çalışmada dış turizm talebi açısından ülkeler sınıflandırılırken dört temel nitelik dikkate alınmıştır. Tablo 2’de çalışan bütün nitelikler ve tanımlar sunulmuştur.

Tablo 2. Değişken tanımları
(Table 2. Variable Definitions)

Değişken Adı	Tanım
Kişi başına düşen GSYİH	Yıl bazında ülkelerin ekonomik gelir düzeylerini temsil eder (dolar)
Çıkan Turist Sayısı	Yıl içinde toplam ülkeden çıkan kişi sayısı
Türkiye’nin Payı	Ülkeden çıkan turistlerin yüzde kaçının Türkiye’yi tercih ettiği bilgisi
Türkiye’de Konaklama süresi	Türkiye’de ortalama konaklama süresi (gün)

Bu özelliklerden ilki olan ülkelerin yıllık ortalama dolar bazında gelirleri, yabancı ülkeler hakkında güvenilir ekonomik verilere ihtiyaç duyan araştırmacılara, iş adamlarına, akademisyenlere ve yatırımcılara hizmet veren theglobaleconomy.com (GDP per Capita, Current Dollars by Country, around the World | TheGlobalEconomy.Com, n.d.) internet sitesinden çekilmiştir. Ülkelerin ekonomik gelir düzeylerine ek olarak, turist çıkış sayılarına Dünya Bankası’ndan (International Tourism, Number of Departures | Data, n.d.) ve bu turistlerin Türkiye’de konaklama sürelerine T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı (İşletme (Bakanlık) Belgeli Tesis Konaklama İstatistikleri, n.d.) veri tabanlarından ulaşılmıştır. Ülkelerden çıkan ve Türkiye’ye gelen turist sayıları ile Türkiye’nin bu pastadaki payı elde edilmiştir. Son olarak ülkelerin kıta verilerine ise statisticstimes.com (List of Countries by Continent - StatisticsTimes.Com, n.d.) internet sitesinden ulaşılmıştır.

3.2. Veri Setinin Hazırlanması ve Tanımlayıcı İstatistikler

Veri setinin hazırlanması, veri toplama işlemlerinin tamamlanması sonrasında yapılan ilk aşamadır. Bu çalışmada veri hazırlama aşamasında veri setinde boş alanlar temizlenmiş, tutarsız veriler veri setinden çıkarılmıştır. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı (İşletme (Bakanlık) Belgeli Tesis Konaklama İstatistikleri, n.d.) veri tabanından ulaşılan konaklama bilgileri veri setinde toplam 90 adet ülkeye ait veri bulunmaktadır. Bu 90 ülke baz alındığında theglobaleconomy.com (GDP per Capita, Current Dollars by Country, around the World | TheGlobalEconomy.Com, n.d.) internet sitesinden alınan kişi başına düşen GSYİH verilerinde ise 6 ülkenin veri seti bulunmamaktadır. Bu ülkeler; Venezuela, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Yemen, Güney Kıbrıs Rum Kesimi, Kosova ve Türkmenistan olup çalışma veri setine dahil edilmemiştir. Ek olarak, Moldova ülkesinin verilerinde de tutarsızlık olduğundan dolayı çalışma veri setinden çıkartılmıştır. Türkiye’ye gelen turist sayıları, bu çalışma kapsamında analiz edildiğinden, Türkiye ülke olarak veri setine dahil edilmemiş ve veri setinde toplamda 82 ülke kalmıştır. Bu 82 ülke içerisinde, Dünya Bankası (International Tourism, Number of Departures | Data, n.d.) veri tabanından elde edilen, ülkelerden çıkan turist sayılarını içeren verilerde 2019 yılında 17 adet ve 2020 yılında 32 adet ülkenin verisi eksik olduğundan, bu ülkeler de veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak 2019 ve 2020 yılları için sırasıyla 65 ve 50 adet ülke analizlere dahil edilmiş, elde edilen tüm bu veriler bir Excel dosyasına alınmıştır. Ülkelerden çıkan ve Türkiye’ye gelen turist sayılarından, Türkiye’nin sahip olduğu pay elde edilmiştir. Tablo 3 veri setinde çalışmaya dahil edilen, 2019 yılı için niteliklere ilişkin tanımlayıcı istatistikleri, Tablo 4 ise veri setinde çalışmaya dahil edilen, 2020 yılı için niteliklere ilişkin tanımlayıcı istatistikleri sunmaktadır.

Tablo 3. 2019 yılı verilerine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri
(Table 3. The descriptive statistics for 2019 dataset)

	Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.
Kişi başına düşen GSYİH	117.197,48	1.308,14	28.716,45	25.482,34
Çıkan Turist Sayısı	170.930.000,00	311.000,00	21.529.015,38	33.054.100,90
Türkiye’nin Payı	30,88	0,08	2,76	4,72
Türkiye’de Konaklama süresi	4,86	1,47	3,12	0,94

Tablo 4. 2020 yılı verilerine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri
(Table 4. The descriptive statistics for 2020 dataset)

	Maks	Min	Ort	Std. Sap.
Kişi başına düşen GSYİH	113.218,71	3.114,62	28.783,58	25.236,56
Çıkan Turist Sayısı	60.550.000,00	130.000,00	6.400.200,00	10.755.135,98
Türkiye’nin Payı	24,59	0,03	2,56	4,46
Türkiye’de Konaklama süresi	3,65	1,60	2,70	0,51

3.3. Kümeleme Analizi

Bu çalışmada ülkeleri gruplara ayırmak için iki aşamalı bir küme analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde ilk aşamada, uygun k küme sayısını saptamak için Ward yöntemi, ikinci aşamada verileri belirlenen sayıda (k) gruba ayırmak için K-ortalama kümeleme algoritması kullanılmaktadır. Ward yönetiminde veri matrisinin satırları arasındaki mesafeler öklid yöntemi ile hesaplanmıştır. Ward yönteminden dendrogram elde edilmiş ve bunun üzerinden küme sayısı belirlenmiştir. Uygun küme sayısı K-ortalama yönteminde k değeri olarak belirlenmiştir.

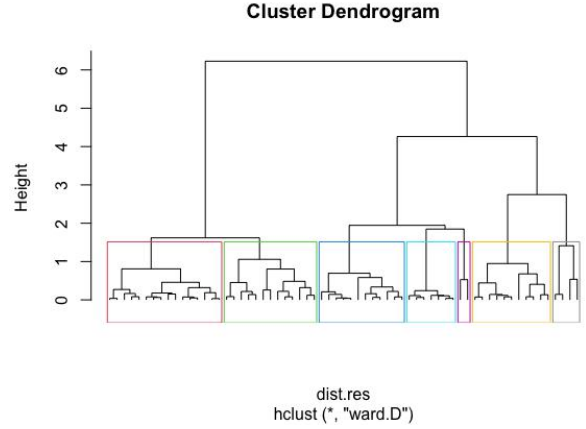
Kümeleme analizinden önce, standardizasyon işlemi yapılmıştır. Standardizasyon, her özelliğin ortalama değerini kaldırarak verileri merkezileştirmek ve ardından (sabit olmayan) özellikleri standart sapmalarına bölerek ölçeklendirmek için kullanılır. Verileri standartlaştırdıktan sonra ortalama sıfır olacak ve standart sapma bir e eşit olacaktır.

4. Uygulama ve Bulgular

Bu bölümde, kullanılan yöntemlerin uygulaması ve analizlerden elde edilen bulgular 2019 ve 2020 yılları için ayrı ayrı verilmiştir.

4.1. 2019 Yılı Analizi

2019 yılı verileri üzerinde Ward hiyerarşik kümeleme yönteminin çalıştırılmasıyla elde edilen dendrogram Şekil 1'de verilmiştir. Dendrogramda görüldüğü gibi optimum küme sayısı yedi olarak belirlenmiştir.

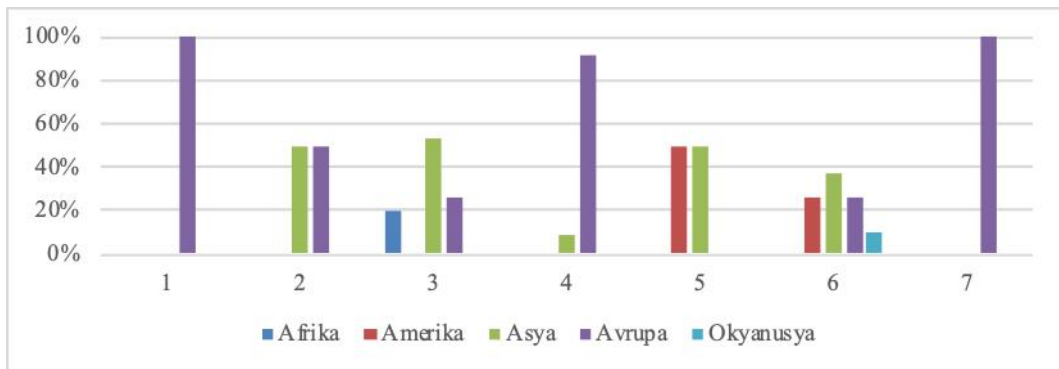


Şekil 1. 2019 yılı verileri için üretilen dendrogram (Figure 1. Dendrogram produced based on 2019 dataset)

Ward yöntemi ile tespit edilen optimal $k=7$ değeriyle, K-ortalama yöntemi çalıştırılmış ve elde edilen analiz sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir. Şekil 2'de ise elde edilen bu kümelerdeki ülkelerin kıtalara göre dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 5. 2019 yılı verileri için K-means kümeleme analizi sonuçları (Table 5. Clustering results by K-means method for 2019 dataset)

Küme	Adet	Kişi Başına Düşen GSYİH (\$)	Çıkan Turist Sayısı	Türkiye'nin Payı (%)	Türkiye'de Konaklama süresi (gün)
1	10	49.337,82	33.780.100,00	2,63	3,86
2	2	4.269,26	924.000,00	26,14	3,60
3	15	9.843,23	6.316.400,00	2,32	2,94
4	12	14.811,45	17.888.083,33	3,70	4,21
5	2	36.484,88	162.781.000,00	0,50	1,92
6	19	27.731,81	20.188.210,53	0,80	2,09
7	5	87.878,50	8.239.200,00	1,10	3,81
Avg		28.716,45	21.529.015,00	2,76	3,12



Şekil 2. 2019 Yılı analizi kümelerinin kıtalara göre dağılımı (Figure 2. Clusters of analysis based on 2019 dataset by continents)

Tablo 5'te verilen 2019 yılı genel durumuna göre gelir düzeyinin en yüksek olduğu iki küme sırasıyla, Küme 7 ve Küme 1'dir. Her iki küme de de gelir düzeyleri gibi Türkiye'de konaklama süreleri yüksektir. Küme 7'nin turist potansiyeli ve pazar payı düşükken, Küme 1'de ise sadece pazar payı düşüktür. Küme 1'de Danimarka, İsveç, Almanya gibi gelir düzeyi yüksek Avrupa ülkeleri yer alırken, Küme 7'de İrlanda, İsviçre, İzlanda, Lüksemburg ve Norveç ülkeleri bulunmaktadır. Şekil 2'de en yüksek gelir düzeyine sahip bu kümelerin tamamının Avrupa kıtasında olduğu görülmektedir.

Tablo 5'te yer alan analizde turist potansiyeli olarak en yüksek iki küme ise Küme 5 ve Küme 1'dir. Küme 5'in gelir düzeyi yüksek olmasına rağmen pazar payı ve konaklama süresi düşüktür. Küme 5'te Amerika Birleşik Devletleri ve Çin Halk Cumhuriyeti ülkeleri yer alırken, Şekil 2'de görüleceği üzere %50 Asya ve %50 Amerika kıtaları ülkelerinden oluştuğu görülmektedir. Bu analizlerden yola çıkarak gelir düzeyi en yüksek olan Küme 7 olmasına rağmen turist potansiyeli açısından düşük kalmıştır. Buna rağmen Küme 5 ve Küme 1 hem gelir düzeyi olarak hem de turist potansiyeli yüksek olan ülkelerden oluşmaktadır.

Tablo 5'te verilen bilgilere göre en yüksek pazar payına sahip kümeler sırasıyla Küme 2 ve Küme 4 olmasına rağmen Küme 2'nin 26,14 pazar payı değeri ile ortalamadan çok yüksek bir değere sahip olduğu görülür. Küme 4 ve Küme 2 diğer özellikler yönünden de benzerlik gösterir. Her iki kümenin de gelir düzeyi ve turist potansiyeli düşük olmasına rağmen, pazar payı ve konaklama süresi yüksektir. Küme 4'te Çekya, Litvanya, Slovakya, Belarus gibi ülkeler yer alırken Küme 2'de Moldova ve Ürdün ülkeleri yer almaktadır. Şekil 2'den görüleceği üzere Küme 4'te yer alan ülkelerin %8,33'ü Asya, %91,67'si ise Avrupa kıtasındadır. Bu oran Küme 2'de ise %50 Asya ve %50 Avrupa kıtalarından oluşmaktadır.

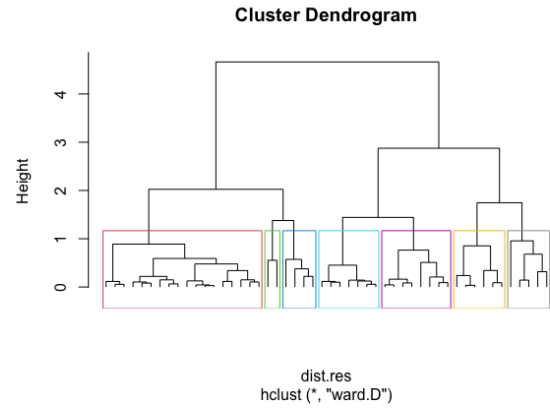
Turistlerin Türkiye'deki konaklama süreleri incelendiğinde Tablo 5'ten de görüleceği üzere en yüksek konaklama süresine sırasıyla Küme 4 ve Küme 1 sahiptir. Küme 1'de diğer özelliklere oranla sadece pazar payı düşüktür. Küme 4'te ise gelir düzeyi ve turist potansiyeli düşük, pazar payı ve konaklama süreleri ise yüksektir. Tablo 5'teki 2019 Yılı analiz sonuçlarına göre oluşturulan kümelerin profilleri özet olarak Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. 2019 Yılı veri setine dayalı küme karakteristikleri
(Table 6. Cluster characteristics based on 2019 dataset)

Küme	Ekonomik Gelir Düzeyi	Turist Potansiyeli	Pazar Payı	Konaklama süresi
1	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
2	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
3	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
4	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
5	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
6	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
7	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek

4.2. 2020 Yılı Analizi

2020 yılı verileri üzerinde Ward hiyerarşik kümeleme yönteminin çalıştırılmasıyla elde edilen dendrogram Şekil 3'te verilmiştir. Dendrogram incelendiğinde 2019 yılı verileri gibi 2020 yılı verileri içinde optimum küme sayısı yedi olarak belirlenmiştir.

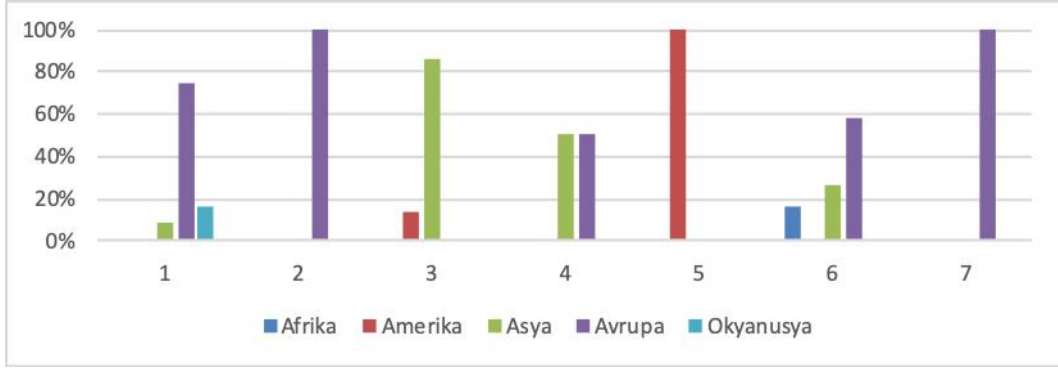


Şekil 3. 2020 yılı verileri için üretilen dendrogram
(Figure 3. Dendrogram produced based on 2020 dataset)

Ward yöntemi ile tespit edilen k=7 değeriyle, K-ortalamlar yöntemi analiz sonuçları Tablo 7'de gösterildiği gibidir. Şekil 4'te ise kümelerde yer alan ülkelerin kıta dağılımlarına yer verilmiştir.

Tablo 7. 2020 yılı verileri için K-means kümeleme analizi sonuçları
(Table 7. Clustering results by K-means method for 2020 dataset)

Küme	Adet	Kişi Başına Düşen GSYİH (\$)	Çıkan Turist Sayısı	Türkiye'nin Payı (%)	Türkiye'de Konaklama süresi (gün)
1	12	44.282,76	6.817.083,33	0,63	2,64
2	4	17.874,41	9.644.500,00	4,73	3,60
3	7	23.220,64	5.000.428,57	0,98	1,77
4	2	7.951,57	6.383.500,00	21,18	3,07
5	2	37.614,99	48.303.000,00	0,15	2,26
6	19	12.828,30	2.612.894,74	2,46	2,85
7	4	84.718,22	1.401.500,00	1,37	2,89
Avg		28.783,58	6.400.200,00	2,56	2,70



Şekil 4. 2020 Yılı analizi kümelerinin kıtalara göre dağılımı
(Figure 4. Clusters of analysis based on 2020 dataset by continents)

Tablo 7’de verilen 2020 yılı genel durumu analizine göre gelir düzeyinin en yüksek olduğu iki küme sırasıyla, Küme 7 ve Küme 1’dir. Küme 7’nin turist potansiyeli ve pazar payı düşük olmasına rağmen konaklama süresi yüksektir. Küme 1’de ise turist potansiyeli yüksek, pazar payı ve konaklama süresi düşüktür. Küme 1’de Avustralya, Avusturya, Yeni Zelanda gibi ülkeler yer alırken, Küme 7’de İrlanda, İzlanda, Lüksemburg ve Norveç ülkeleri bulunmaktadır. Şekil 4’te Küme 1’in %8,33’ünü Asya, %75’ini Avrupa, %16,67’sini Okyanusya ülkelerinden, Küme 7’nin ise sadece Avrupa ülkelerinden oluştuğu görülmektedir.

Tablo 7’de yer alan analizde turist potansiyeli olarak en yüksek iki küme ise Küme 5 ve Küme 2’dir. Küme 2’nin gelir düzeyi düşük iken turist potansiyeli, pazar payı ve konaklama süresinin yüksek olduğu görülür. Küme 5’in ise gelir düzeyi ve turist potansiyeli yüksek olmasına rağmen pazar payı ve konaklama süresi düşüktür. Küme 5’te Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika ülkeleri yer alırken, Küme 2’de Belarus, İngiltere, Letonya ve Ukrayna ülkeleri olduğu görülmektedir. Şekil 4’ten görüleceği üzere Küme 5’te yer alan tüm ülkelerin Amerika, Küme 2’nin sadece Avrupa ülkelerinden oluştuğu görülmektedir.

Tablo 7 pazar payı yönünden incelendiğinde en yüksek iki kümenin Küme 4 ve Küme 2 olduğu görülmektedir. Küme 4’ün pazar payı değeri 21,18 ile ortalamadan çok üzerindedir. Küme 4’ün gelir düzeyinin ve turist potansiyelinin düşük, konaklama süresinin yüksek olduğu görülür. Küme 2’de ise gelir düzeyi düşük, turist potansiyeli ve konaklama süresi yüksek olan Avrupa ülkeleri yer almaktadır. Küme 4’te Rusya ve Ürdün ülkeleri bulunurken, Küme 2’nin aksine %50’sinin Avrupa, %50’sinin Asya ülkelerinden oluşmaktadır.

Turistlerin Türkiye’deki konaklama süreleri incelendiğinde Tablo 7’den de görüleceği üzere en yüksek konaklama süresine sırasıyla Küme 2 ve Küme 4 sahiptir. Bu iki kümenin pazar payı ve konaklama süreleri en yüksek değere sahipken, ekonomik gelir düzeylerinin de ortalamanın altında olması dikkat çekicidir. Tablo 7’deki 2020 yılı analiz sonuçlarına göre oluşturulan kümelerin profilleri özet olarak Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. 2020 Yılı veri setine dayalı küme karakteristikleri
(Table 8. Cluster characteristics based on 2020 dataset)

Küme	Ekonomik Gelir Düzeyi	Turist Potansiyeli	Pazar Payı	Konaklama süresi
1	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
2	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
3	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
4	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
5	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
6	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek
7	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek

5. Sonuç

Bu çalışmada, ülkelerin Türkiye’ye olan dış turizm talebi kümeleme analizi kullanılarak incelenmiştir. Kümeleme analizinde, ülkelerin kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla, ülkelere çıkan turist sayısı, bu sayılarda Türkiye’nin payı ve turistlerin Türkiye’de konaklama süresi özellikleri dikkate alınmıştır. Veriler, 2019 ve 2020 yılları için ayrı ayrı temin edilmiş ve iki ayrı kümeleme gerçekleştirilmiştir. İki aşamalı kümeleme yöntemi kullanılmış, bu yöntemde önce Ward algoritması ile optimum küme sayısı belirlenmiş, sonrasında ise bu değer girdi olarak kullanılarak K-ortalamlar tekniğiyle ülkeler gruplara ayrılmıştır. Elde edilen kümelerin profili çıkarılmış ve kümelerdeki ülkeler kıtalar açısından da analiz edilmiştir.

Değerlendirmeler sonucunda, her iki yıl analizlerine göre ülkeler 7 gruba ayrılmıştır. Sonuçlar detaylı incelendiğinde, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin Halk Cumhuriyeti 2019 yılında Küme 5’i oluştururken, 2020 yılında Çin Halk Cumhuriyeti’nin kümedeki yerini Meksika alarak Küme 2’yi oluşturmuştur. 2019 yılında Küme 7’de İrlanda, İsviçre, İzlanda, Lüksemburg ve Norveç ülkeleri yer alırken benzer özelliklere sahip 2020 yılında Küme 7’yi oluşturan ülkelerin arasında 2020 yılı verilerinde yer almamasından dolayı İsviçre’nin olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular ve küme profilleri ile belirli hedef ülkelere gelen turist sayısını arttırmak ve turistlerin konaklama sürelerini uzatabilmek için çeşitli pazarlama çalışmaları yapılabilir. Turizm tesisleri reklam çalışmalarını uygulamadan önce bu çalışma içerisinden elde ettiği bilgiler doğrultusunda doğru stratejiler belirleyebilir. Hali hazırda veri madenciliği ve yapay zekâ uygulamalarının turizm

sektöründe aktif olarak kullanılmasına karşın uluslararası turizmde bu uygulamalar literatürde yeterince yer bulamamıştır. Literatürde yeteri kadar çalışma bulunmadığından çalışmamız uluslararası turizm sektöründe planlama ve pazarlama konularında fayda sağlayacaktır.

Geçmişte Giray (2013), 2011 yılına ilişkin uluslararası turizm verilerini baz alıp benzer bir şekilde bulanık kümeleme ve klasik kümeleme (k ortalamalar) analizleri kullanarak ülkeleri sınıflandırmıştır. Bu çalışmada ülkelerin turizm harcamaları, turizm gelirleri ve geliş sayıları dikkate alınmış olup bu niteliklere ve kullanılan verilere göre Türkiye'nin hangi segmentte hangi ülkelerle birlikte yer aldığı saptanmıştır. Bu çalışmadan farklı olarak bizim çalışmamız daha güncel veriler ışığında Türkiye'ye olan dış turizm talebini incelemiştir. Ülkelerin kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla, ülkelerden çıkan turist sayısı, bu sayılarda Türkiye'nin payı ve turistlerin Türkiye'de konaklama süresi gibi daha kapsamlı özellikler dikkate alınarak diğer ülkeler Türkiye talebi açısından gruplara ayrılmıştır. Bu bakımdan elde edilen bulgular ışığında, ülke gruplarına yönelik turizm sektöründe strateji ve hedefler daha net ve ayrıntılı bir şekilde oluşturulabilecektir.

Bu çalışmanın mevcut literatüre katkıları ve faydaları olmasına karşın bir dizi kısıtları da mevcuttur. Çalışmada kullanılan veri, beş özellik içermekte olup sadece iki yıla (2019-2020) ilişkindir. Gelecekteki çalışmalarda bu çalışmada kullanılan özelliklerin yanı sıra turistlerin ırk, cinsiyet, yaş gibi kişisel özelliklerini dikkate alabilir ve farklı ve daha geniş bir zaman dilimi için ilgili analizleri genişleterek bu çalışmanın bulgularını geçerleyebilirler. Bir diğer kısıt bilgi kaybından dolayı çalışmaya dahil edilen ülke sayısıdır. Bu açıdan gelecekte daha fazla ülkeyi içeren veri setleri üzerine benzer çalışmalar yapılabilir. Ayrıca farklı kümeleme yöntemleri ve algoritmaları kullanılarak gelecekte yine benzer çalışmalar yapılabilir, elde edilen sonuçlar ve bulgular bu çalışmanınki ile kıyaslanabilir.

Kaynakça

- Akgün, A., & Çizel, B. (2016). Günlük Tur Programları Oluşturmada Veri Madenciliği: A Grubu Seyahat Acentası Örneği. *Turizm Turizm ve Araştırma Dergisi*, 6(1), 73–87. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01234-3>
- Akgün, A., Çizel, B., & Ajanovic, E. (2021). Mining excursion tourist profile through classification algorithms. *Quality and Quantity*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01234-3>
- Akın, M. (2015). A novel approach to model selection in tourism demand modeling. *Tourism Management*, 48, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.11.004>
- Aydın, A., Darıcı, B., & Taşçı, H. M. (2015). Uluslararası Turizm Talebini Etkileyen Ekonomik Faktörler: Türkiye Üzerine Bir Uygulama. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 45, 143–177. <https://doi.org/10.18070/euiibfd.85938>
- Bahar, O. (2006). Turizm Sektörünün Türkiye'nin Ekonomik Büyümesi Üzerindeki Etkisi: VAR Analizi Yaklaşımı, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi* 13(2), 137–150.
- Bardak, T., & Sözen, E. (2018). Veri madenciliği ve önemi. 6th ASM International Congress of Agriculture and Environment, 2018 Proceeding Book.
- Çuhadar, M. (2015). Turizm Sektöründe Talep Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalı Analizi (Antalya İlinin Dış Turizm Talebinde

- Uygulama), 38–49. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4503.7288>
- Doborjeh, Z., Hemmington, N., Doborjeh, M., & Kasabov, N. (2022). Artificial intelligence: a systematic review of methods and applications in hospitality and tourism. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 34(3), 1154–1176. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-06-2021-0767>
- Dursun, A., & Caber, M. (2016). Using data mining techniques for profiling profitable hotel customers: An application of RFM analysis. *Tourism Management Perspectives*, 18, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.03.001>
- Ersungur, Ş. M., Doru, Ö., & Aslan, M. B. (2017). Türkiye'ye Yönelik Uluslararası Turizm Talebinin Sosyo-Ekonomik Belirleyicileri: Panel Veri Analiz. *International Conference on Eurasian Economies*, 433–441. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.769566>
- Garda, B., & Temizel, M. (2016). Sürdürülebilir Turizm Çeşitleri. *Selcuk University Journal of Social and Technical*, 12, 83–103.
- GDP per capita, current dollars by country, around the world | TheGlobalEconomy.com. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from https://www.theglobaleconomy.com/rankings/GDP_per_capita_current_dollars/
- Giray, S. (2013). Ülkelerin Turizm İstatistikleri Bakımından Farklı Kümeleme Analizi Metotları ile Sınıflandırılması ve Türkiye'nin Bu Oluşumdaki Yeri. 695–704.
- Höpken, W., Eberle, T., Fuchs, M., & Lexhagen, M. (2021). Improving Tourist Arrival Prediction: A Big Data and Artificial Neural Network Approach. *Journal of Travel Research*, 60(5), 998–1017. <https://doi.org/10.1177/0047287520921244>
- Huang, B., & Hao, H. (2021). A novel two-step procedure for tourism demand forecasting. *Current Issues in Tourism*, 24(9), 1199–1210. <https://doi.org/10.1080/13683500.2020.1770705>
- International tourism, number of departures | Data. (n.d.). Retrieved June 20, 2022, from https://data.worldbank.org/indicator/ST.INT.DPRT?end=2020&most_recent_value_desc=true&start=2019
- International Tourism Highlights, 2020 Edition. (2021). In *International Tourism Highlights, 2020 Edition*. <https://doi.org/10.18111/9789284422456>
- İşletme (Bakanlık) Belgeli Tesis Konaklama İstatistikleri. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-201121/isletme-bakanlik-belgeli-tesis-konaklama-istatistikleri.html>
- Kandemir, A. Ş. (2018). Bulanık Kümeleme Analizi ile Türkiye'deki İllerin Konaklama İstatistiklerine Göre Sınıflandırılması. *Journal of Travel and Hospitality Management*, 15(3), 657–668. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/585914>
- Karaoğlu, N. (2019). Türkiye'de Uluslararası Turizm Talebinin Dinamik Panel Veri Analizi. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 4(1), 85–101. <https://doi.org/10.25229/beta.561802>
- Kaya, A. A., & Canlı, B. (2013). Türkiye'ye Yönelik Uluslararası Turizm Talebinin Belirleyenleri: Panel Veri Yaklaşımı.
- Kulshrestha, A., Krishnaswamy, V., & Sharma, M. (2020). Bayesian BILSTM approach for tourism demand

- forecasting. *Annals of Tourism Research*, 83, 102925.
<https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102925>
- Law, R., Li, G., Fong, D. K. C., & Han, X. (2019). Tourism demand forecasting: A deep learning approach. *Annals of Tourism Research*, 75(January), 410–423.
<https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.01.014>
- List of Countries by Continent - StatisticsTimes.com. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from <https://statisticstimes.com/geography/countries-by-continent.php>
- Magnini, V. P., Honeycutt Jr, E. D., & Hodge, S. K. (2003). Data Mining for Hotel Firms. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 44(2), 94–105.
Doi:10.1177/0010880403442009
- Nguyen, L. Q., Fernandes, P. O., & Teixeira, J. P. (2021). Analyzing and Forecasting Tourism Demand in Vietnam with Artificial Neural Networks. *Forecasting*, 4(1), 36–50.
<https://doi.org/10.3390/forecast4010003>
- Özbek, T. (1991). Dünyada ve Türkiye’de termal turizmin önemi. *Anatolia*, 2, 17–18.
- Özcan, Ş. (2021). Turizm ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Üst-Orta Gelirli Ülkeler Üzerine Panel Veri Analizi.
- Sevimli Deniz, S. (2019). Veri Madenciliği Araçları Kullanılarak Türkiye’nin Turizm Gelirlerinin Aylara Göre Yapay Sinir Ağları İle Tahminlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 241-255.
<https://dergipark.org.tr/pub/yyusbed/issue/51801/673555>
- Shapoval, V., Wang, M. C., Hara, T., & Shioya, H. (2018). Data Mining in Tourism Data Analysis: Inbound Visitors to Japan. *Journal of Travel Research*, 57(3), 310–323.
<https://doi.org/10.1177/0047287517696960>
- Ünlüönen, K., & Şen Küpeli, T. (2021). Veri Madenciliği ve Turizmde Veri Madenciliği Çalışmaları. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 9(1), 275–298.
<https://doi.org/10.21325/jotags.2021.7>
- Yıldırım, M. E. (2022). A Case Study : Unsupervised Approach for Tourist Profile Analysis by K-means Clustering in Turkey. *Journal of Internet Computing and Services*, 23(1), 11-17. <https://doi.org/10.7472/jksii.2022.23.1.11>
- Zhang, Y., Li, G., Muskat, B., & Law, R. (2021). Tourism Demand Forecasting: A Decomposed Deep Learning Approach. *Journal of Travel Research*, 60(5), 981–997.
<https://doi.org/10.1177/0047287520919522>
- Zortuk, M., & Bayrak, S. (2013). Seçilmiş Ülkelere Göre Türkiye’nin Turizm Talebi. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 19, 38–58.
<http://dergipark.gov.tr/iuekois/issue/8997/112139>



Liquid Sensor Based on Interaction between Decoupled Waveguides and a Cavity with Transverse Offset in a Phononic Crystal

Nurettin Korozlu^{1*}, Mehmet Günay¹, Ahmet Biçer², Ahmet Cicek¹

^{1*}Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Arts and Science, Department of Nanoscience and Nanotechnology, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0899-0227), nkorozlu@mehmetakif.edu.tr (ORCID: 0000-0001-8820-3520), mgunay@mehmetakif.edu.tr (ORCID: 0000-0002-7686-0045), ahmetcicek@mehmetakif.edu.tr

²Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Gölhisar Vocational School of Health Services, Department of Opticianry, Burdur, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7743-6078), ahmetbiccer@mehmetakif.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 October 2022 ve Kabul Tarihi 9 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1183694)

ATIF/REFERENCE: Korozlu, N., Günay, M., Biçer, A. & Cicek, A. (2022). Liquid Sensor Based on Interaction between Decoupled Waveguides and a Cavity with Transverse Offset in a Phononic Crystal. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 393-399.

Abstract

A liquid sensor employing a cavity in the form of a point defect with a transverse offset along the normal bisector of a barrier at the center of a linear waveguide in a two-dimensional phononic crystal, which gives rise to two decoupled waveguides, is proposed. The phononic crystal consists of cylindrical steel rods with 2.0 mm radius in water, arranged with 4.2 mm lattice constant in the square lattice. Linear waveguides are formed by removing a single row from the phononic crystal, whereas the point defect is formed by substituting a single cylindrical steel rod by a polyethylene tubing comprising the analyte of interest. The cavity acts as a cross-bridge between the waveguides through the interaction of the linear defect mode in the input waveguide with the point defect mode, which in turn interacts with the output waveguide mode. Finite-element method simulations reveal that at frequencies around 200 kHz, a sharp peak with a quality factor of the order of 1000 occurs in the transmission spectrum of the system, where resonant transmission occurs. In case of determining the ratio of methanol in ethanol as an instance, it is found that the peak frequency exhibits a quadratic shift with the molar ratio of methanol. On the other hand, the transmission value decreases exponentially with increasing methanol ratio at the frequency of 196.19 kHz, which is the peak frequency for pure ethanol. The proposed sensing scheme can be utilized in many applications such as the identification of fake beverages and in high-throughput concentration measurements in the industry.

Keywords: Phononic crystal, Waveguide, Point defect, Liquid sensor, Ethanol, Methanol, Finite element method.

Bir Fononik Kristalde Ayrışmış Dalga Kılavuzları ile Dikine Ofsetli Kavite Arasında Eşleşmeye Dayalı Sıvı Sensörü

Öz

İki boyutlu bir fononik kristaldeki doğrusal dalga kılavuzunun merkezinde iki adet ayrışmış dalga kılavuzu oluşumuna sebep olan bariyerin dik ortayı üzerinde konumlanmış nokta kusuru formundaki bir kovuk içeren sıvı sensörü önerilmiştir. Fononik kristal, su içerisinde örgü sabiti 4.2 mm olacak biçimde kare örgü düzeninde dizilmiş 2.0 mm yarıçaplı silindirik çelik çubuklardan oluşmaktadır. Doğrusal dalga kılavuzları fononik kristalden tek bir sıranın çıkarılmasıyla oluşturulurken nokta kusuru, tek bir silindirik çelik çubuğun ilgili analiti içeren bir polietilen hortum ile değiştirilmesiyle oluşturulmuştur. Giriş dalga kılavuzundaki doğrusal kusur modunun daha sonra çıkış dalga kılavuzu moduyla etkileşen nokta kusur moduyla etkileşimi vasıtasıyla kovuk, iki dalga kılavuzu arasında çapraz bir köprü görevi görmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi simülasyonlarının sonuçları, 200 kHz civarındaki frekanslarda

* Corresponding Author: nkorozlu@mehmetakif.edu.tr

sistemin geçirim spektrumunda 1000 mertebesinde kalite faktörüne sahip keskin bir pikin gözlemlendiği rezonans iletiminin oluştuğunu göstermiştir. Örnek olarak etanol içinde metanol oranı belirlenmesinde, pik frekansının molar metanol oranının karesiyle değiştiği belirlenmiştir. Öte yandan, saf etanol için belirlenen 196.19 kHz pik frekansında, geçirim değeri artan metanol oranıyla üstel olarak azalmaktadır. Önerilen algılama yaklaşımı, sahte içeceklerin tanımlanması ve endüstride yüksek verimli konsantrasyon ölçümleri gibi pek çok uygulamada kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Fononik kristal, Dalga kılavuzu, Nokta kusuru, Sıvı sensörü, Etanol, Metanol, Sonlu elemanlar yöntemi.

1. Introduction

Non-invasive acoustic measurement methods, such as time-of-flight (Kuo et al., 1990), pulse-echo (Bamberger & Greenwood, 2004), and Doppler-shift measurements (Larrarte et al., 2008) are widely employed to determine particular physical properties, such as density, flow speed, and speed of sound, as well as the chemical composition of fluids. In the last decade, acoustic sensors involving artificial periodic structures called phononic crystals (PnCs) have been drawing intense attention to determine concentrations of binary liquid mixtures (Lucklum et al., 2010). The most prominent feature of PnCs is the existence of a band gap, i.e., a range of frequencies for which acoustic waves cannot propagate in the PnC (Kushwaha et al., 1993). One-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) PnCs are commonly employed in sensing applications. A 1D PnC is obtained by periodic alternating stacking of layers with different acoustic properties. When a defect is formed by varying a single layer, the introduced cavity in the 1D PnC can be used in liquid concentration sensing (Aly & Mehaney, 2017; Lucklum & Li, 2009; Lucklum & Mukhin, 2021; Mehaney, 2019; Mehaney & Ahmed, 2020; Villa-Arango et al., 2017; Zaki et al., 2021).

2D PnCs are also widely employed in liquid sensing. For instance, extraordinary acoustic transmission across an array of periodic holes on a metal plate is employed to determine the molar ratio of 1-propanol in water (Ke et al., 2011). In addition, a 2D PnC with a cavity laid normally to the wave direction is employed (Lucklum et al., 2012; Oseev et al., 2013; Zubtsov et al., 2012). Interferometric sensors based on Mach-Zehnder interferometers implemented through waveguides (WGs) (Salman et al., 2021; Salman et al., 2014) or self-collimated waves (Salman et al., 2015) in 2D PnCs are also proposed. Recently, a compact sensor to determine the concentration of methanol in ethanol based on an add-drop filter in a 2D PnC is also proposed (Biçer et al., 2022).

A cavity in a 2D PnC is formed as a point defect where either a single scatterer is removed, or constituents of a single cell are modified. Such a cavity is associated with a sharp resonance peak with high quality factor in the band gap (Wu et al., 2001). PnC sensors based on cavity modes have been recently drawing attention as such sensors have small form factors and require small amount of analyte (Moradi et al., 2021; Mukhin et al., 2022; Zaremanesh et al., 2021). Due to the high quality factor, cavity-based sensors in 2D PnCs can offer high sensitivity, which is beneficial especially in determining the concentration in mixtures where the acoustical properties of the constituents are very similar. Thus, proposing new alternative and efficient cavity-based liquid sensors is important.

In this work, we propose a liquid concentration sensor based on the coupling of WG and point defect modes in a 2D PnC. Sensor design is such that a point defect comprising the analyte of interest, which is ethanol-methanol mixture in the present work, can act as a bridge between two decoupled WGs (DWGs),

in a manner depending on the analyte concentration. It is numerically shown that the resonant transmission peak in the proposed sensor has a high quality factor and its frequency depends on the molar fraction of methanol in the mixture. In addition, sensing based on tracking acoustic pressure at a fixed frequency, where the output pressure decays rapidly with increasing methanol concentration, is also demonstrated.

2. Material and Method

The cavity-based liquid concentration sensor is depicted in Figure 1(a). Its backbone is a 2D PnC composed of a square array of steel cylinders in water background. The lattice constant and steel rod radii are set to $a=4.2$ mm and $R=2.0$ mm, respectively, corresponding to a filling ratio of 71.2%. Such a PnC has a broad band gap extending from 117.7 kHz to 265.7 kHz with a 77.1% gap-to-midgap ratio (Biçer et al., 2022; Salman et al., 2021). A linear defect WG to channelize acoustic waves in a range of frequencies (f) within the band gap is introduced by removing one row of steel rods from the PnC. Such a straight WG offers wave localization with a high transmission coefficient (Khelif et al., 2004).

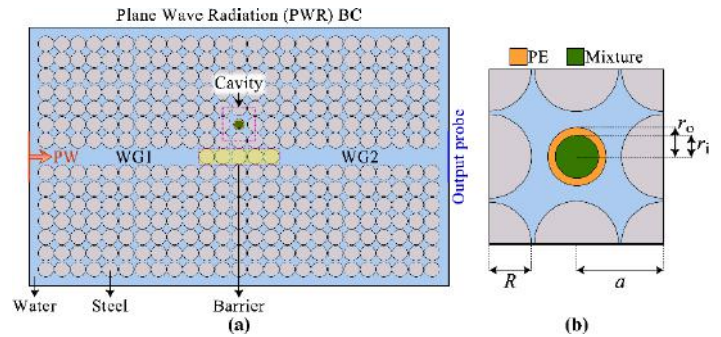


Figure 1: (a) Schematic view of the proposed cavity-based liquid concentration sensor and (b) a close-up view of the cavity.

The WG is split into two decoupled WGs by means of a barrier composed of N_x rows of steel rods. Figure 1(a) depicts the case for $N_x=5$. A resonant cavity aligned at the center of the barrier with a vertical separation index of N_y is introduced to facilitate wave transmission in a sharp resonance range. The cavity is composed of polyethylene (PE) tubing with inner and outer radii of $r_i=1.0$ mm and $r_o=1.4$ mm, respectively. The tubing is filled with ethanol-methanol binary mixture. The choice of PE as the tubing material stems from the fact that its acoustic impedance is comparable to that of water, thus preventing significant reflection losses (Biçer et al., 2022; Salman et al., 2021). Such a sensor design offers high sensitivity, where a small amount of analyte (mixture) is required, and sample reloading is practical. One can reload the sample compartment by injecting a new analyte along the tubing.

Finite-element method (FEM) simulations are carried out to calculate the eigenfrequencies to obtain the dispersion curves of the PnC, WG, and point defect, as well as to simulate the sensor operation as a function of the mixture concentration. The acoustic-structure model of the COMSOL Multiphysics software package (COMSOL, 2022) is utilized in FEM simulations. In this model, the acoustic and elastic wave equations are solved simultaneously with boundary conditions where the normal acceleration in the solid part of a boundary causes pressure variations in the fluid part, and pressure variations in the fluid give rise to normal forces on the solid part.

The fluid regions (i.e., water, ethanol, and ethanol-methanol mixture) are defined through the density (ρ) and speed of sound (c_s). The densities of water, ethanol, and methanol are taken as 999.6 kg/m³ (COMSOL, 2022), 783.9 kg/m³, and 786.5 kg/m³ (Brown et al., 1988), at 293.15 K (20 °C), respectively, whereas the corresponding c_s are 1481.4 m/s (COMSOL, 2022), 1142.3 m/s, and 1103.0 m/s (Brown et al., 1988). This indicates that the density of pure methanol is only 0.3% different than the density of pure ethanol, while the discrepancy in the speed of sound is 3.4%. Detection of such small changes by acoustic means is relatively challenging. Variation of ρ and c_s with molar fraction of methanol in the ethanol-methanol mixture (R_m) is deduced from experimental data (Iglesias et al., 1998).

The solid components (steel and PE) in FEM simulations are defined through ρ , the Young's modulus (E), and the Poisson's ratio (ν). The densities are 7850 kg/m³ and 930 kg/m³ for steel and PE, respectively, whereas $E=205$ GPa and 1 GPa, and $\nu=0.28$ and 0.40 (COMSOL, 2022).

Band structure of a straight WG is obtained in two stages. First, projection of the bands of the bulk PnC along the WG direction (i.e., the ΓX direction) is obtained. Then, the WG eigenfrequencies are calculated. In the latter, a supercell containing 11 rows and 1 column, where the central rod is removed, depicted in Figure 2(a) is employed. Parallel edges of the supercell are interrelated through Bloch-Floquet periodic boundary condition (PBC). Use of the PBC implies infinitely-long parallel WGs with $11a$ separation between adjacent WGs. The separation is adequately large so that neighboring virtual images of the WG interact negligibly with the WG, thus assuring well-converged dispersion curves. Eigenfrequencies for each wave vector ($k_x, k_y=0$) on the path $0 \leq k_x \leq \pi/a$ are obtained through the COMSOL software.

Projection of the bulk bands are obtained by considering the supercell in Figure 2(a), where the central rod is not removed. In this case, dispersion curves for a set of k_y values ranging between $-\pi/11a \leq k_y \leq \pi/11a$ are obtained. Here, a total of 21 k_y values are considered. Then, the plots are merged, and the projected bulk band ranges are obtained. Finally, the WG band structure is overlaid on the projected bulk bands to differentiate the modes arising from the linear defect.

Eigenfrequency analysis is also applied to an isolated cavity to obtain cavity resonances and to investigate how the resonance frequency (f_0), i.e., the cavity mode frequency within the linear defect band range, varies with the molar methanol fraction (R_m) in the mixture. A square supercell containing 11 rows and 11 columns is employed in cavity eigenfrequency calculations.

FEM simulations for the computational model in Figure 2(a) is carried out by assuming time-harmonic acoustic waves, i.e., $p(x,y,t)=p(x,y)e^{-i2\pi ft}$, where p is the acoustic pressure. Thus, *e-ISSN: 2148-2683*

frequency-domain FEM simulations are carried out for a range of frequencies around f_0 . The output spectra for different R_m are obtained and the results are analyzed to evaluate sensing performance. The input in Figure 2(a) is defined as a plane wave (PW) with $3a$ height at the center of the left edge of the domain. The output is probed at the right edge of the domain over a line of $3a$ height. Here, the pressure is calculated at the corresponding mesh nodes and its absolute value is averaged over the length of the probe line. As a result, the output average pressure (p_{avg}) is obtained. The computational domain in Figure 2(a) is terminated through a non-reflecting boundary condition, i.e., plane-wave radiation (PWR) BC through Givoli and Neta's reformulation of the Higdon conditions for plane waves to the second order (Givoli & Neta, 2003).

3. Results and Discussion

The WG band structure is presented in Figure 2(b). Here, the (green) shaded regions denote the projected bulk bands, corresponding to modes extending into the bulk of the PnC. Four bands appear within the PnC band gap range in Figure 2(b). The lowest-lying and highest-lying bands extend from the projected bulk bands and are associated with poor mode localization within the WG core. On the other hand, the two well-separated bands are candidates for wave channelization along the WG. However, the lower one of these comprises eigenmodes which are antisymmetric (odd) with respect to the horizontal bisector of the WG, and thus it is called a "deaf" band (Vasseur et al., 2005). A plane wave (PW) impinging on the WG cannot couple to these odd-parity modes. In contrast, the inset in Figure 2(b) shows that the eigenmodes of the linear defect (LD) band are symmetric (even). Thus, wave channelization is achieved through the modes on this band, which extends from 188 kHz to 238 kHz.

The transmission spectrum of the straight WG (solid black line) is given in Figure 2(c). Transmittance in the decibel (dB) scale is obtained through T (dB)= $20 \times \log_{10}(p_{avg}/p_{max})$, where p_{max} is the maximum p_{avg} value for the straight WG. The straight WG is associated with high transmission within its range, Figure 2(c). The spectrum exhibits Fabry-Perot oscillations due to finite WG length. Besides, transmission spectra for DWGs with different barrier thicknesses are also given in Figure 2(c). All spectra are calculated for $180 \text{ kHz} \leq f \leq 220 \text{ kHz}$ with 10 Hz steps. It is seen that transmission at all frequencies drops significantly as N_x increases. T is always below -50 dB for $N_x=5$, indicating that the $N_x=5$ barrier is efficient in decoupling the WGs.

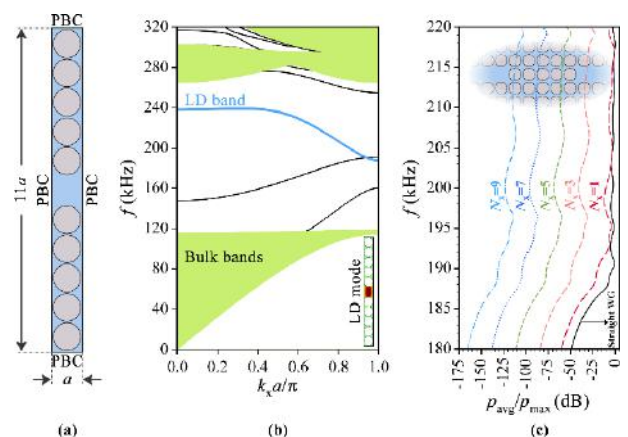


Figure 2: (a) Supercell geometry employed in straight WG band structure calculations, (b) the band structure of the WG, and (c) transmission spectra through the DWGs for different N_x . The case for $N_x=5$ is depicted in the background of (c).

When a plane wave with a frequency of $f=196$ kHz is incident from the left on a straight WG, whose width is $25a$, it propagates in the linear defect in a well-localized manner and the transmission across the WG is high, Figure 3(a). However, the barrier in Figure 2(b) acts as a reflector for the same wave, as the frequency is within the PnC band gap. Thus, efficient WG decoupling, where transmission from the output WG is negligible, can be achieved with a $N_x=5$ barrier. The situation is different when a cavity is introduced, as will be shown later.

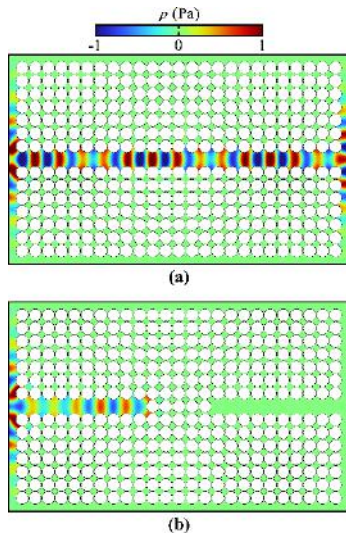


Figure 3: Propagation of an acoustic wave with $f=196$ kHz along a (a) straight WG and (b) decoupled WGs.

Cavity eigenfrequency calculations reveal that an isolated hollow-core cavity, which is a point defect where a single rod is removed, has a resonant mode which is even with respect to both x and y axes, as seen in the top panel of Figure 4(a). The point defect resonant mode frequency is calculated as $f_0=211.06$ kHz. Comparison of the top and bottom panels of Figure 4(a) reveals that the acoustic field profile is preserved even though a mixture-filled PE tubing is introduced. However, the mode frequency shifts to $f_0=196.19$ kHz. Similarly, the tubing displacement profile, shown in the close-up view in the bottom panel of Figure 4(a), is also even with respect to both axes.

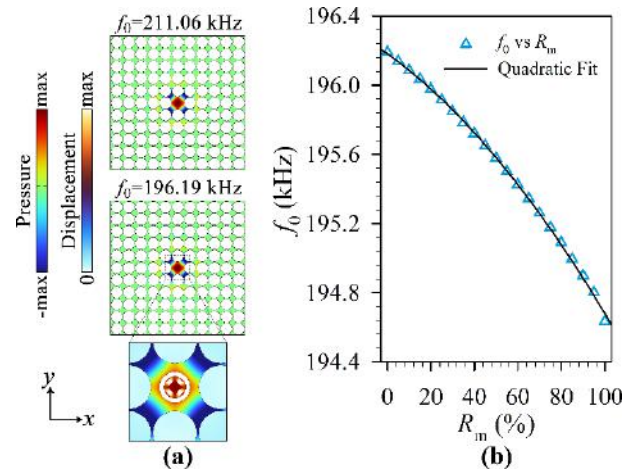


Figure 4: (a) Resonant mode shapes for a hollow-core (top) and analyte-filled PE tubing containing (bottom) cavity and (b) variation of the point defect resonant mode frequency as a function of the ratio of methanol in ethanol (R_m).

f_0 depends directly on R_m . Although c_s in the ethanol-methanol mixture decreases linearly with increasing R_m (Iglesias et al., 1998), Figure 4(b) shows that f_0 of the tubing-containing cavity exhibits a faster decrease rate. Thus, a quadratic fit with a coefficient of determination of $R^2=0.998$ represents the variation in Figure 4(b), well. This variation in f_0 results in the shift of the resonant transmission peak of the sensor system in Figure 1(a).

When the cavity is introduced above the center of the DWGs in Figure 3(b) at a distance of $N_y a$ so that the cavity-bridged system in Figure 1(a) is formed, the output p_{avg} becomes non-negligible for a narrow frequency range around f_0 of the isolated cavity with $R_m=0\%$. As a result, a narrow symmetric transmission peak, as seen in Figure 5(a), is observed. For $N_y=2$, the transmission peak has a center frequency of $f_0=196.19$ kHz (which is equal to f_0 of the isolated cavity), and full width at half maximum (FWHM) of 22 Hz. This corresponds to a significantly high-quality factor of $Q=8.9 \times 10^3$. Although symmetric, the transmission peak is not Gaussian. Instead, it has a Lorentzian line shape, as suggested by the Lorentzian fit with $R^2=0.988$ in Figure 5(a). This is due to homogeneous line shape broadening arising from cavity-WG interactions.

The resonant transmission peak shifts to lower frequencies (redshifts) with increasing R_m . The shift rate increases as R_m becomes closer to 100%, indicating a non-linear behavior. Besides, the peak shape is preserved for all R_m where the peak height varies between 1.6 Pa and 2.2 Pa in a smooth manner. However, no monotonic behavior is observed, i.e., the peak height rises to maximum for R_m around 80%, and then decreases. Besides, the peak FWHM decreases from 22 Hz to 14 Hz, as R_m increases from 0% to 100%.

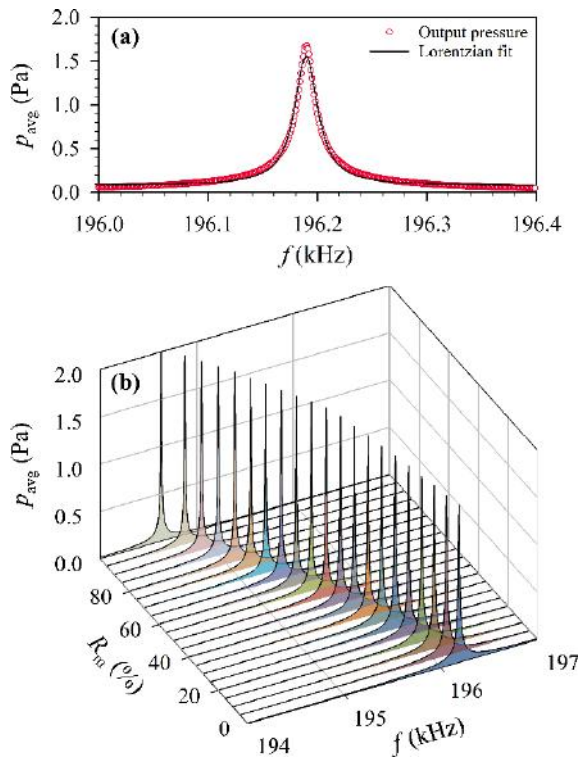


Figure 5: (a) Resonant transmission peak for $N_x=5$, $N_y=2$, and $R_m=0\%$ and (b) the peak behavior as a function of R_m .

The variation of resonant transmission peak frequency (Δf_p) with R_m is presented in Figure 6(a). The monotonic decrease is not linear, but quadratic, as evidenced by the linear (dashed line) and quadratic (solid line) fit curves in Figure 6(a). Thus, Δf_p in Figure 6(a) exhibits a parallel behavior to f_0 in Figure 4(b). On the other hand, the shift rate is slower for $R_m \leq 20\%$. The inset in Figure 6(a) for Δf_p data calculated in this range with 1% R_m steps demonstrates a linear variation. The slope of the linear fit (dashed line) in the inset of Figure 6(a) is -10.63 Hz/% molar fraction of methanol. Although a single sample cell (mixture-filled PE tubing) is involved, such a sensitivity is comparable to that obtained through an add-drop filter (i.e., 12.4 Hz/%) (Biçer et al., 2022) and higher than the one obtained through a Mach-Zehnder interferometer (i.e., 6.20 Hz/%) (Salman et al., 2021).

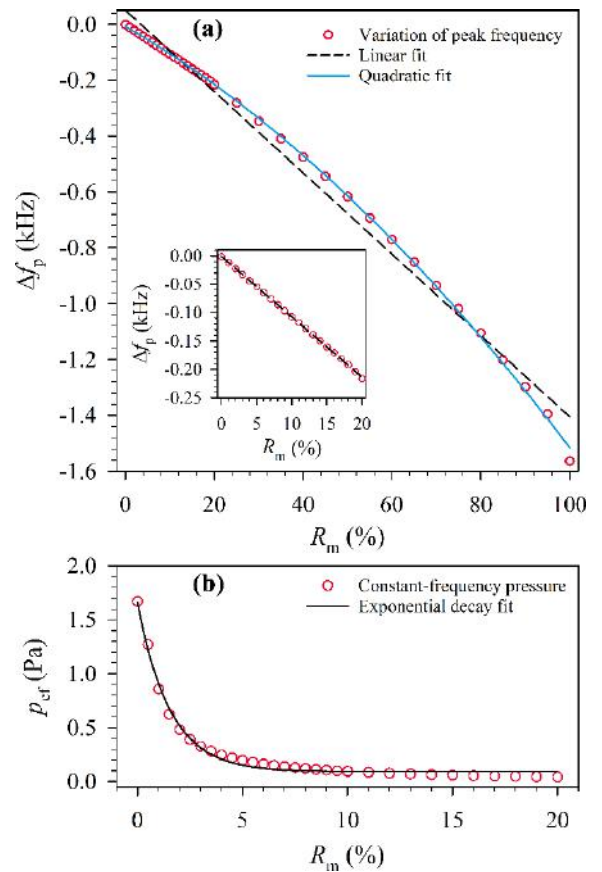


Figure 6: (a) The frequency shift of the resonant transmission peak and (b) variation of the output pressure at $f_p=196.19$ kHz as a function of R_m . The inset in (a) is a close-up view of the frequency shift for $R_m \leq 20\%$.

As the resonant peak redshifts linearly for $R_m \leq 20\%$, the p_{avg} value at $f_p=196.19$ kHz is expected to drop rapidly with increasing R_m . Thus, even a small change in R_m can cause a large drop in the measured output pressure at constant frequency (p_{cf} , i.e., p_{avg} at 196.19 kHz). Figure 6(b) shows that p_{cf} exhibits a sharp decaying behavior with R_m . The exponential fit in Figure 6(b) in the form of $p_{cf}(R_m) = p_0 + A \cdot e^{-\alpha R_m}$ reveals that the decay rate is $\alpha=0.648$ per percent variation of R_m , where $p_0=0.097$ Pa and $A=1.564$ Pa. The fact that $p_0 \neq 0$ stems from the fact that the Lorentzian line shape in Figure 5(a) has a long tail. Thus, small methanol concentrations can be detected with high sensitivity by tracking the p_{cf} .

The resonant transmission peak for $N_y=3$ is given in Figure 7(a). It is a sharper peak than in Figure 5(a) for $N_y=2$, as cavity-WG interactions become weaker with increasing N_y . Its central frequency is $f_p=196.19$ kHz, as in the case for $N_y=2$, and FWHM is approximately 0.6 Hz with a much higher Q factor of 3.3×10^5 .

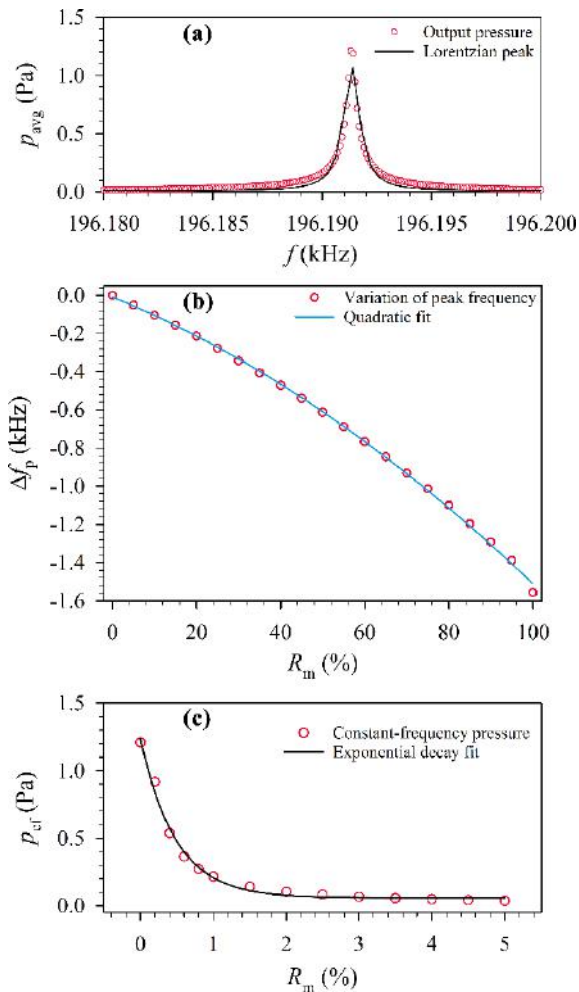


Figure 7: (a) A zoomed view of the resonant transmission peak for $N_x=5$, $N_y=3$, and $R_m=0\%$, as well as dependence of (b) the associated frequency shift and (c) variation of the output pressure at $f_p=196.19$ kHz on R_m .

Variation of f_p with R_m is depicted in Figure 7(b). Again, a quadratic variation is observed for $N_y=3$. Comparison of Figure 6(a) and Figure 7(b) reveals that $N_y=2$ and $N_y=3$ cavities have very similar $\Delta f_p(R_m)$ behavior. Thus, either one can be used for sensing purposes. In contrast, comparison of Figure 6(b) and Figure 7(c) reveals that the decay rate is faster for $N_y=3$. The exponential decay fit parameters are found out to be $p_0=0.062$ Pa, $A=1.176$ Pa, and $\alpha=2.062$ per percent variation of R_m . Thus, $N_y=3$ cavity offers higher sensitivity in terms of p_{cf} for $R_m \leq 5\%$.

4. Conclusions and Recommendations

A liquid concentration sensor based on tunable coupling between a point defect and two decoupled waveguides in a two-dimensional phononic crystal is demonstrated. As the liquid-solid phononic crystal has a broad acoustic band gap, the linear defect waveguide possesses guiding modes over a relatively broad range from 188 kHz to 238 kHz. However, the waveguide is split into two decoupled waveguides by introducing a barrier layer at the center. It is seen that a barrier with 5 columns of scatterers can adequately decouple the split waveguides. An isolated point defect where a single scatterer is removed has a resonant mode at approximately 211 kHz, whereas the resonant frequency is around 196 kHz when the cavity is formed by a polyethylene tubing filled with ethanol-methanol mixture. The *e-ISSN*: 2148-2683

cavity acts as a bridge between the decoupled waveguides and facilitates resonant tunneling when it is introduced above the barrier with a transverse offset.

The resonant transmission frequency varies as a function of the molar methanol concentration, where the shift rate is quadratic. However, an almost linear operation is observed when the methanol concentration is below 20%. As a result, a sensitivity of 10.63 Hz per percent variation of methanol concentration is obtained in this range. In addition, the measured output frequency decreases exponentially with increasing methanol concentration. Moreover, the decay rate is higher for a farther cavity. Thus, the proposed sensor can be employed in detecting small concentrations with high sensitivity.

The proposed liquid concentration sensor has a small footprint where the phononic crystal covers 15×25 periods (i.e., 8.2 -by- 13.2 wavelengths at 196 kHz). Moreover, the required analyte volume is very small. Assuming that the phononic crystal height is 25 mm (approximately 5.9 periods), the inner tubing volume is 19.6 mm^3 , and thus only approximately 20 μL of ethanol-methanol mixture is required (neglecting dead volume in the connection tubing) for sensing. Furthermore, sample changing is practical: first flush out the previous sample, then wash by pure ethanol and dry, and finally inject a new sample. Influence of temperature variations can be ruled out by monitoring and controlling the temperature through a thermocouple and Peltier cell, respectively. Input and output can be provided by a couple of ultrasonic transducers with resonance frequencies around 200 kHz. The control electronics would be simple, as continuous sine wave is required as a source. Finally, the sensor can be calibrated for other binary liquid mixtures. In brief, a practical acoustic liquid concentration sensor which can be realized at low cost is proposed and numerically investigated.

5. Acknowledgement

This work is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under grant number: 116F085. Ahmet Cicek acknowledges support from Turkish Academy of Sciences (TÜBA) Outstanding Young Researchers Awarding Programme (GEBİP-2018).

References

- Aly, A. H., & Mehaney, A. (2017). Phononic crystals with one-dimensional defect as sensor materials. *Indian Journal of Physics*, 91(9), 1021-1028.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12648-017-0989-z>
- Bamberger, J. A., & Greenwood, M. S. (2004). Measuring fluid and slurry density and solids concentration non-invasively. *Ultrasonics*, 42(1-9), 563-567.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultras.2004.01.032>
- Biçer, A., Durmuslar, A. S., Korozlu, N., & Cicek, A. (2022). An Acoustic Add-Drop Filter in a Phononic Crystal for High-Sensitivity Detection of Methanol in Ethanol in the Liquid Phase. *IEEE Sensors Journal*, 22(15), 14799-14805.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3185926>
- Brown, J., Slutsky, L., Nelson, K., & Cheng, L.-T. (1988). Velocity of sound and equations of state for methanol and ethanol in a diamond-anvil cell. *Science*, 241(4861), 65-67.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.241.4861.65>

- COMSOL, Inc. (2022). *COMSOL-Software for Multiphysics Simulation*. Retrieved 30.09.2022 from <https://www.comsol.com>
- Givoli, D., & Neta, B. (2003). High-order non-reflecting boundary scheme for time-dependent waves. *Journal of Computational Physics*, 186(1), 24-46. [https://doi.org/10.1016/S0021-9991\(03\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9991(03)00005-6)
- Iglesias, M., Orge, B., Domínguez, M., & Tojo, J. (1998). Mixing properties of the binary mixtures of acetone, methanol, ethanol, and 2-butanone at 298.15 K. *Physics and Chemistry of Liquids*, 37(1), 9-29. <https://doi.org/10.1080/00319109808032796>
- Ke, M., Zubtsov, M., & Lucklum, R. (2011). Sub-wavelength phononic crystal liquid sensor. *Journal of Applied Physics*, 110(2), 026101. <https://doi.org/10.1063/1.3610391>
- Khelif, A., Choujaa, A., Benchabane, S., Djafari-Rouhani, B., & Laude, V. (2004). Guiding and bending of acoustic waves in highly confined phononic crystal waveguides. *Applied Physics Letters*, 84(22), 4400-4402. <https://doi.org/10.1063/1.1757642>
- Kuo, I., Hete, B., & Shung, K. (1990). A novel method for the measurement of acoustic speed. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(4), 1679-1682. <https://doi.org/10.1063/1.400242>
- Kushwaha, M. S., Halevi, P., Dobrzynski, L., & Djafari-Rouhani, B. (1993). Acoustic band structure of periodic elastic composites. *Physical Review Letters*, 71(13), 2022. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.71.2022>
- Larrarte, F., Bardiaux, J. B., Battaglia, P., & Joannis, C. (2008). Acoustic Doppler flow-meters: a proposal to characterize their technical parameters. *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(5), 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2008.01.001>
- Lucklum, R., Ke, M., & Zubtsov, M. (2012). Two-dimensional phononic crystal sensor based on a cavity mode. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 171, 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.03.063>
- Lucklum, R., & Li, J. (2009). Phononic crystals for liquid sensor applications. *Measurement Science and Technology*, 20(12), 124014. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/12/124014>
- Lucklum, R., Li, J., & Zubtsov, M. (2010). 1D and 2D phononic crystal sensors. *Procedia Engineering*, 5, 436-439. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.09.140>
- Lucklum, R., & Mukhin, N. (2021). Enhanced sensitivity of resonant liquid sensors by phononic crystals. *Journal of Applied Physics*, 130(2), 024508. <https://doi.org/10.1063/5.0046847>
- Mehaney, A. (2019). Biodiesel physical properties detection using one-dimensional phononic crystal sensor. *Acoustical Physics*, 65(4), 374-378. <https://doi.org/10.1134/S1063771019040122>
- Mehaney, A., & Ahmed, A. M. (2020). Theoretical design of porous phononic crystal sensor for detecting CO₂ pollutions in air. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 124, 114353. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2020.114353>
- Moradi, P., Gharibi, H., Fard, A. M., & Mehaney, A. (2021). Four-channel ultrasonic demultiplexer based on two-dimensional phononic crystal towards high efficient liquid sensor. *Physica Scripta*, 96(12), 125713. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac2c23>
- Mukhin, N., Kutia, M., Aman, A., Steinmann, U., & Lucklum, R. (2022). Two-Dimensional Phononic Crystal Based Sensor for Characterization of Mixtures and Heterogeneous Liquids. *Sensors*, 22(7), 2816. <https://doi.org/10.3390/s22072816>
- Oseev, A., Zubtsov, M., & Lucklum, R. (2013). Gasoline properties determination with phononic crystal cavity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 189, 208-212. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.03.072>
- Salman, A., Ates, E., Biçer, A., Deniz, S., Cicek, A., & Korozlu, N. (2021). Determination of Methanol Concentration in Ethanol in Liquid Phase by a Phononic Crystal Mach-Zehnder Interferometer. *Physica Scripta*, 96(12), 125032. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac3d4b>
- Salman, A., Kaya, O. A., & Cicek, A. (2014). Determination of concentration of ethanol in water by a linear waveguide in a 2-dimensional phononic crystal slab. *Sensors and Actuators A: Physical*, 208, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.12.037>
- Salman, A., Kaya, O. A., Cicek, A., & Ulug, B. (2015). Low-concentration liquid sensing by an acoustic Mach-Zehnder interferometer in a two-dimensional phononic crystal. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 48(25), 255301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/0022-3727/48/25/255301>
- Vasseur, J. O., Deymier, P. A., Beaugeois, M., Pennec, Y., Djafari-Rouhani, B., & Prevost, D. (2005). Experimental observation of resonant filtering in a two-dimensional phononic crystal waveguide. *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 220(9-10), 829-835. <https://doi.org/10.1524/zkri.2005.220.9-10.829>
- Villa-Arango, S., Torres, R., Kyriacou, P., & Lucklum, R. (2017). Fully-disposable multilayered phononic crystal liquid sensor with symmetry reduction and a resonant cavity. *Measurement*, 102, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.01.051>
- Wu, F., Hou, Z., Liu, Z., & Liu, Y. (2001). Point defect states in two-dimensional phononic crystals. *Physics Letters A*, 292(3), 198-202. [https://doi.org/10.1016/S0375-9601\(01\)00800-3](https://doi.org/10.1016/S0375-9601(01)00800-3)
- Zaki, S. E., Mehaney, A., Hassanein, H. M., & Aly, A. H. (2021). High-performance liquid sensor based one-dimensional phononic crystal with demultiplexing capability. *Materials Today Communications*, 26, 102045. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102045>
- Zaremanesh, M., Carpentier, L., Gharibi, H., Bahrami, A., Mehaney, A., Gueddida, A., Lucklum, R., Djafari-Rouhani, B., & Pennec, Y. (2021). Temperature biosensor based on triangular lattice phononic crystals. *APL Materials*, 9(6), 061114. <https://doi.org/10.1063/5.0054155>
- Zubtsov, M., Lucklum, R., Ke, M., Oseev, A., Grundmann, R., Henning, B., & Hempel, U. (2012). 2D phononic crystal sensor with normal incidence of sound. *Sensors and Actuators A: Physical*, 186, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2012.03.017>



Optimal PID Controller Design Based on Proportional Gain for Quarter Vehicle Model

Abdullah Turan^{1*}, Huseyin Aggumus²

^{1*} Sirmak University, Department of Mechanical and Metal Technologies, Sirmak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0174-2490), abdullahturan@sirmak.edu.tr

² Sirmak University, Department of Mechanical and Metal Technologies, Sirmak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7158-677X), haggumus@sirmak.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 09 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1187598)

ATIF/REFERENCE: Turan, A. & Aggumus, A. (2022). Optimal PID Controller Design Based on Proportional Gain for Quarter Vehicle Model. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 400-404.

Abstract

In this study, an effective and new design method was used to determine the parameters of the PID controller used in order to improve the performance of a vehicle's active suspension system and to suppress vibrations in the vehicle. In this method, the PID controller is designed based on the optimal proportional gain k_p setting, taking into account the settling time and maximum overshoot of the quarter vehicle system. This method is based on obtaining the other parameters of the controller by adjusting the k_p to minimize the settling time and maximum overshoot error in a stable cycle. The obtained simulation results were evaluated by comparing the uncontrolled suspension system and the suspension system in which the PID controller whose parameters were adjusted with the proposed effective design method. It suppressed the system responses of the PID controller more effectively than the passive suspension system.

Anahtar Kelimeler: Quarter vehicle model, PID controller, Active control.

Çeyrek Taşıt Modeli için Oransal Kazanca Dayalı Optimum PID Kontrolör Tasarımı

Öz

Bu çalışmada, bir aracın aktif süspansiyon sisteminin performans iyileştirilmesi ve araçta meydana gelen titreşimlerin bastırılması amacıyla kullanılan PID kontrolöre ait parametrelerinin belirlenmesinde etkin ve yeni bir tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde PID kontrolör, çeyrek taşıt sistemin yerleşme süresi ve maksimum aşması dikkate alınarak optimal oransal kazanç ayarına dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu yöntem, kararlı bir döngüde yerleşme süresini ve % aşım hata oranını en aza indirmek için optimum oransal kazancı (k_p) ayarlayarak kontrolörün diğer parametrelerini elde etmeye dayanmaktadır. Elde edilen simülasyon sonuçları, kontrolsüz süspansiyon sistemi ile önerilen etkin tasarım yöntemiyle parametreleri ayarlanan PID kontrolörün uygulandığı süspansiyon sisteminin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. PID kontrolörün sistem cevaplarını pasif süspansiyon sisteminden daha etkili bir şekilde bastırılmıştır.

Keywords: Çeyrek taşıt modeli, PID kontrolör, Aktif kontrol.

* Corresponding Author: abdullahturan@sirmak.edu.tr

1. Introduction

Suspension systems, which have a direct effect on the driving dynamics due to being between the vehicle body and the wheel, are one of the most important parts of the vehicle dynamics (Cao et al., 2011). Today, three different types of suspension designs have been proposed by researchers as passive, semi-active and active. Due to the high costs of semi-active and active suspensions, manufacturers prefer passive suspension systems (Kararsız and Basturk, 2018). However, passive suspensions compromise comfort or handling performance due to internal limitations (Aly and Farhan, 2013).

In vehicles, semi-active and active suspension systems have been proposed by researchers to provide comfort and handling performance at the same time. In semi-active systems, it is desired to prevent the effect of disturbances by using variable damping that can be adjusted according to road conditions. Here, although the power required by the system is low, the desired comfort cannot be reached due to the dampers with variable damping ratio used in semi-active suspension systems operating in the low frequency range (0-1 Hz). To overcome this situation, active suspension systems are used. Here, it is aimed not to transmit the disruptive effect to the vehicle body by using drive elements instead of adaptive dampers. The disadvantage of the system is that it requires more energy than semi-active systems. However, the driving element used does not reflect the effects of the disturbances in the range of approximately 0-10 Hz to the vehicle body (Koch et al., 2010).

In this study, active suspension control with an optimal PID controller designed by applying a new and effective design method on the quarter vehicle model is proposed. In the literature, researchers have been working on many different control design methods for active suspension systems. Examples of these are LQR (Taghirad and Esmailzadeh, 1998; Altun, 2017), fuzzy logic (Guclu, 2005), floating type control (Guclu and Yagız, 2004), backstepping approach (Karlsson et al., 2001), adaptive nonlinear control (Lin and Kanellakopoulos, 1996), H_∞ (Onat et al., 2005) and the most common PID controller (Guclu and Ates, 2005; Kuo et al., 1999). PID controller is widely used in industrial applications due to the simplicity of the control structures, easy to understand, easy to maintain, and low cost (Denizci and Ulu, 2020), and the Ziegler-Nichols method (Ziegler and Nichols, 1942), gain and phase margin (Ho et al., 1995) for determining the optimum parameters. Many methods such as Cohen-Coon internal model control (Cohen and Coon, 1953), error-integral criterion adjustment formulas (Astrom et al., 1993; Astrom and Hagglund, 1995) have been applied. However, closed loop responses of these controllers may not be at the desired level in some cases. In studies on the development of these methods, the desired answers are not always obtained (Zhuang and Atherton, 1993). In addition, the recently proposed weighted geometric center method (Turan et al., 2019), gain scheduling (Onat et al., 2017) has been successfully applied. Therefore, the studies carried out to determine the optimum controller parameters are still up-to-date today. The maximum performance to be obtained by applying the PID controller to a system depends on the optimum setting of its parameters.

In this study, the active control performance of the PID controller, which gives successful results in structural systems *e-ISSN: 2148-2683*

(Turan and Aggumus, 2021a; 2021b) and in the quarter vehicle model for semi-active control (Turan and Aggumus, 2022), on the quarter vehicle model, whose optimum parameters are obtained with a new approach, is investigated. In this method, the PID controller design is based on the optimum k_p based on the settling time requested from the system and the maximum overshoot. The infrastructure of the technique is based on obtaining other PID controller parameters by setting the optimum k_p that minimizes the t_s and M_p error rate in a stable loop, and this process allows the calculation of optimum controller parameters by creating a loop in the stable area.

The main motivation of the study is the application of the PID controller designed with the proposed optimal method to the quarter vehicle model for the first time.

2. Material and Method

2.1. Quarter Vehicle Model

The quarter vehicle model used in this study is shown in Figure 1. The equations of motion of the system are as follows.

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) = -U \tag{1}$$

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) + k_2(x_2 - x_r) = U \tag{2}$$

Quarter vehicle parameters are $m_1=338.5$ kg, $m_2=59$ kg, $k_1=15000$ N/m, $k_2=190000$ N/m, $c_1=600$ Ns/m (Mahala et al., 2009).

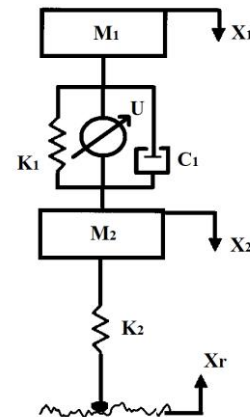


Figure 1. Quarter Vehicle Model

The disruptive road input applied to the vehicle model is shown in Figure 2. Here x and R denote amplitude and path length, respectively. Class A-B road is taken into account according to ISO_8806 standards (Agostibacchio et al., 2014).

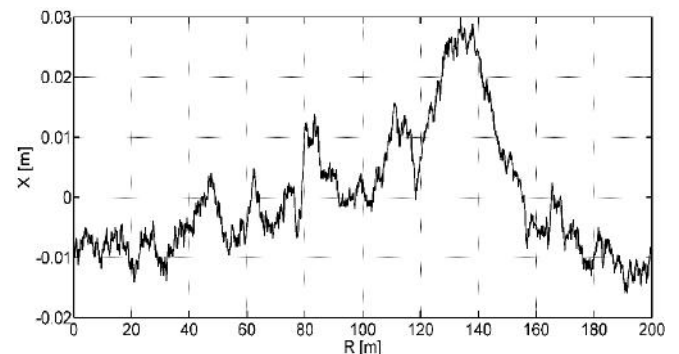


Figure 2. The excitation acting on the system

2.2. Methodology

Figure 3 shows the block diagram of the feedback PID control system.

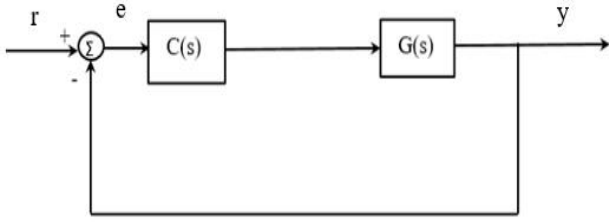


Figure 3. Feedback PID control system

The input, error, and output of the system are denoted by r , e , and y , respectively.

The controller equation of the system is as follows.

$$C(s) = \frac{(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{s} \quad (3)$$

Accordingly, the general unit feedback loop system $T(s)$ of the system is given in Eq (4).

$$T(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad (4)$$

Substituting Eq (3) in Eq (4) gives Eq (5).

$$T(s) = \frac{G_N(s)(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{G_D(s)s + G_N(s)(k_d s^2 + k_p s + k_i)} = \frac{T_N(s)}{T_D(s)} \quad (5)$$

$T_D(s)$ is the denominator of the system, in other words its characteristic equation. The degree of the system is determined from the characteristic equation. t_s and M_p values are determined. The damping ratio and natural frequency of the system are calculated and written in the target polynomial of the closed loop system given in Eq. (6).

$$\Delta(s) = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (6)$$

Here, a difference polynomial $R(s)$ is defined since $\Delta(s)$ is of order 2. In addition, $R(s)$ should contain as many variables as the degree difference (m) between $T_D(s)$ and $\Delta(s)$ Eq. (7).

$$R(s) = \begin{cases} s + a, & m = 1 \\ s^2 + a_1 s + a_2, & m = 2 \\ s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3, & m = 3 \\ \vdots \\ s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_n s^{n-m}, & m = n \end{cases} \quad (7)$$

The $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ expressed in Eq. (7) must be $\in \mathbb{R}$. The condition to be satisfied here is seen in Eq. (8).

$$(\Delta(s)R(s))_{coeff} \equiv T_D(s)_{coeff} \quad (8)$$

To equalize the number of equations in Eq. (8), k_p is subtracted from the variables and a solution set is obtained.

It is sufficient for the variables in $R(s)$ to be positive for the stability of the system. The flow chart of finding the optimum PID parameters is given in Figure 4. M_p and t_s values are determined for k_p in the value range that makes the system stable, and e_1 and e_2 variables are assigned to the error rates, respectively.

$$e_1 = \frac{M_p - M_{pans}}{M_p} \quad (9)$$

$$e_2 = \frac{t_s - t_{sans}}{t_s} \quad (10)$$

Therefore, both error values are expressed in one equation as shown in Eq. (11).

$$err = x e_1 + y e_2 \quad (11)$$

Here, x, y are the coefficients affecting the total error, and x and y values are selected according to the importance expected from the system and $x+y=1$. The err value obtained is also added to the loop and PID controller parameters are calculated according to the err_{min} value.

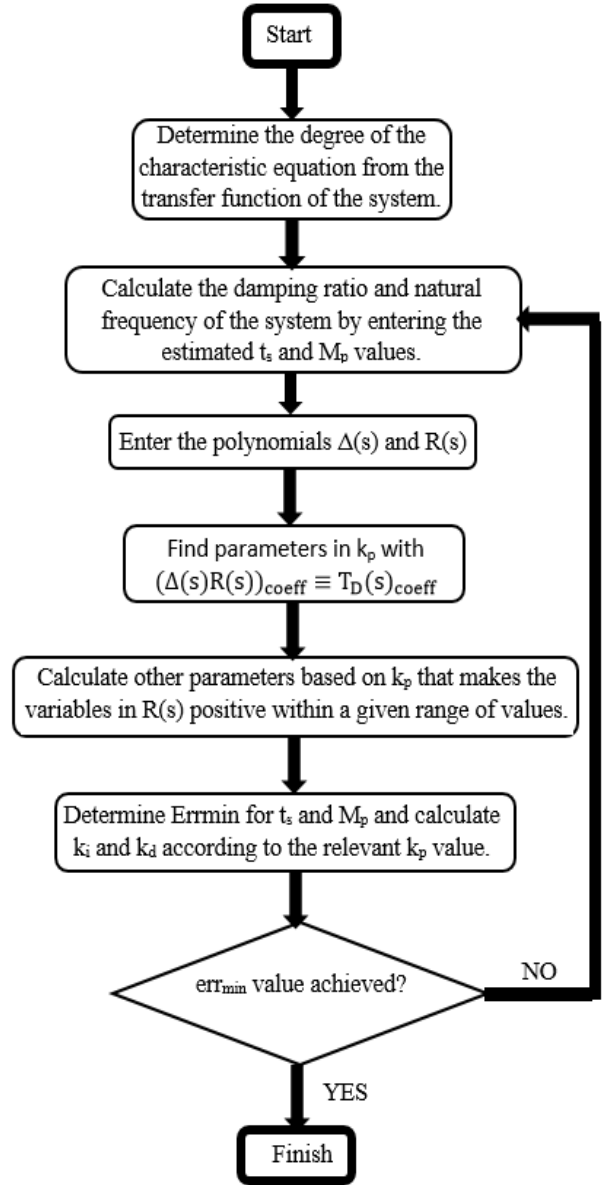


Figure 4. Flowchart of Parameter Setting Algorithm

2.3. PID Controller Design

In order to investigate the effectiveness of the proposed method, the t_s, M_p, t_p and rise time t_r criteria of the system were evaluated. The transfer function of the quarter vehicle model given in Figure 1 is given in Eq. (12).

$$G(s) = \frac{-0.0029586s^2 - 3.8747e - 16s - 9.5276}{s^4 + 11.9446s^3 + 3518.955s^2 + 5716.5781s + 142914.4519} \quad (12)$$

First of all, the expected performance values from the system were determined as 0.001% M_p and 0.5 s t_s . According to the obtained $m=3$ value, the difference polynomial is considered as in Eq. (13).

$$R(s) = s^3 + as^2 + bs + c \tag{13}$$

Therefore,

$$a = 8.663 - 0.0001849 * k_p, b = 3303.0 - 2.422e-17 * k_p$$

$$c = -0.5955 * k_p - 7013.0$$

expressions were obtained with the proposed method, For the stability criterion, it is sufficient for the variables a, b, c to be positive. $k_p = [-60000, 0]$ is selected. Eq. (14) was obtained so that the total error value would be at the same rate according to

the M_p and t_s and was written in its place within the loop. Accordingly, the PID controller parameters in the line with the err_{min} value are the optimum parameters to be reached.

$$Err = 0.5e_1 + 0.5e_2 \tag{14}$$

The PID controller parameters calculated according to the err_{min} result obtained as a result of the loop and the performance criteria in the step response of the system with the controller are given in Table 1.

Table 1: PID control parameters and performance measures of the system

PID controller parameters			Performance criteria of the system			
k_p	k_i	k_d	t_s (s)	M_p (%)	t_p (s)	t_r (s)
-37420	-123790	-6637.6	1.0405	0.0995	0.1275	0.0823

3. Results and Discussion

3.1. Simulation Results

Simulations were carried out in Matlab-Simulink environment to test the performance of the PID controller designed for the quarter vehicle model in Figure 1. Displacement in Figure 5, displacement RMS with maximum displacement in Figure 6, and % performances of these values in Figure 7 are shown. In the figures, the situation where there is no control application is defined as passive, and the situation with control application is defined by PID.

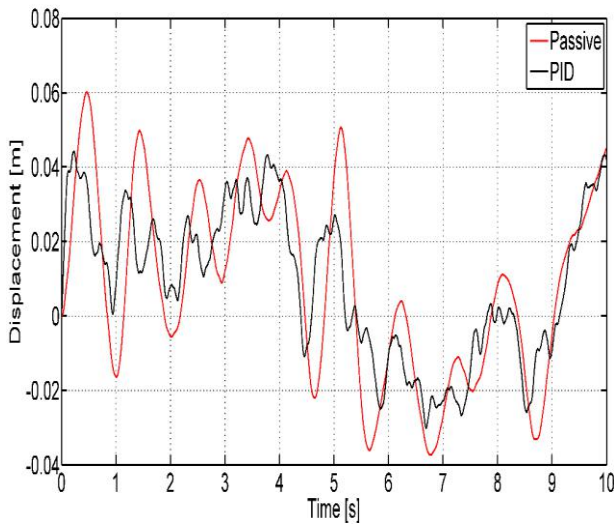


Figure 5. Displacement time response of the system

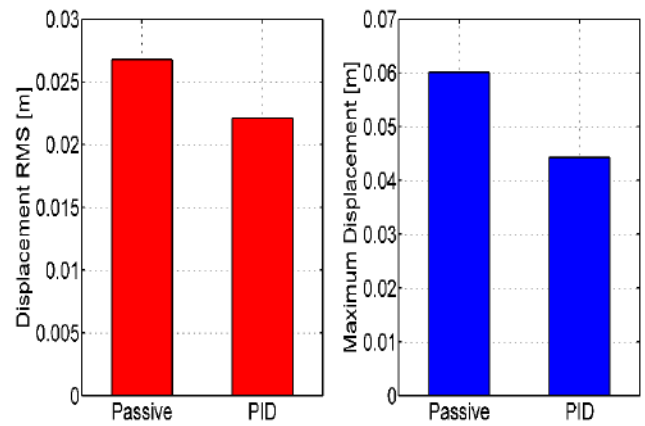


Figure 6. Maximum displacement and displacement RMS values of the system

As can be clearly seen in Figure 5 and Figure 6, the PID control performance of the system in time response, maximum response and RMS responses is higher than the passive state. Considering the % performance improvements compared to the passive state in Figure 7, there is a performance increase of 22% in maximum responses and 18% in RMS responses.

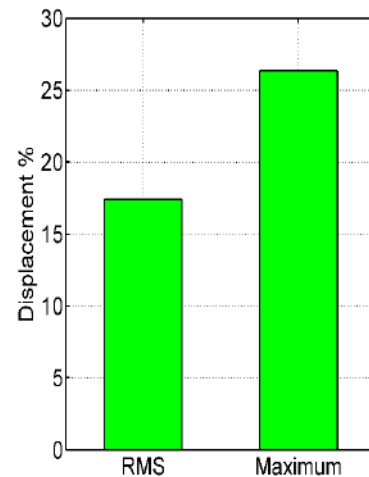


Figure 7. The performances % of the system's maximum displacement and displacement RMS values

4. Conclusion

In this study, the performance of the PID controller, whose optimum parameters were obtained with a new approach, on the quarter vehicle model was investigated. In this method, the PID controller design is based on the optimum k_p based on the settling time requested from the system and the maximum overshoot. The background of the technique is based on obtaining other PID controller parameters by setting the optimum k_p that minimizes the t_s and M_p error rate in a stable loop, and this process allows the calculation of optimum controller parameters by creating a loop in the stable area. The system responses were obtained by comparing the passive control application with the active control application to the vehicle model. With the determined parameters, the PID controller improved the performance of the examined vehicle model. Applying the present method for the multi-degree-of-freedom system is recommended for the next study.

References

- Agostibacchio, M., Ciampa, D. & Olita, S. (2014). The vibrations by surface irregularities in road pavements – a Matlab approach. *European Transport Research Review*, 6 (3), 267 – 275.
- Altun, Y. (2017). The comparisons of LQR and LQI controllers for Quarter car active suspension system. *Gazi University Journal of Science Part C: design and Technology*. 5(3), 61-70.
- Aly, A. & Farhan, A. (2013). Vehicle suspension systems control: a review. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2(2), 46-54.
- Åström, K. J., Hägglund, T., Hang, C. C. & Ho, W. K. (1993). Automatic tuning and adaptation for PID controllers-a survey. *Control Engineering Practice*, 1(4), 699-714.
- Åström, K. J. & Hägglund, T. (1995). *PID controllers: theory, design, and tuning*, Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina, 2nd Edition.
- Cao, D., Song, X. & Ahmadian, M. (2011). Editors perspectives: road vehicle suspension design dynamics, and control. *Vehicle system dynamics*, 49(1-2), 3-28.
- Cohen, G.H. & Coon, G.A. (1953). Theoretical consideration of retarded control. *Trans ASME* 75, 827–834.
- Denizci, A. & Ulu, C. (2020). Fuzzy Cognitive Map Based PID Controller Design. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 165-171.
- Guclu, R. & Yagiz, N. (2004). Comparison of different control strategies on a vehicle using sliding mode control. *Iranian Journal of Science and Technology*, 28(4), 413-422.
- Guclu, R. (2005). Fuzzy logic control of seat vibrations of a nonlinear full vehicle model". *Nonlinear Dynamics*, 40(1), 21-34.
- Güçlü, R. & Ateş, G. V. (2005). Beş serbestlik dereceli taşıtın titreşimlerinin aktif kontrolü, 12. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kayseri, 375-383.
- Ho, W. K., Hang, C. C. & Cao, L. S. (1995). Tuning of PID controllers based on gain and phase margins specifications. *Automatica*. 31, 497- 502.
- Kararsız, G. & Baştürk, H. İ. (2018). Aktif süspansiyon sistemleri için bilinmeyen bozucu etkisi altında uyarlamalı kontrolcü tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*. 24(8), 1403-1408.
- Karlsson, N., Andrew, T. & Hrovat, D. (2001). A backstepping approach to control of active suspensions. *Decision and Control. Proceedings of the 40th IEEE Conference on*. Vol. 5.
- Koch, G., Sebastian, S. & Boris, L. (2010). Reference model based adaptive control of a hybrid suspension system. *IFAC Proceedings*. 43(7), 312-317.
- Kuo, Y. P. & Li, T. H. S. (1999). GA-Based Fuzzy PI/PID Controller for Automotive Active Suspension System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. vol. 46, pp. 1051-1056.
- Lin, J. & Kanellakopoulos, I. (1996). Adaptive nonlinear control in active suspensions. *Proceedings of the IFAC, San Francisco, USA*, 113-118.
- Mahala, K., Mahala, M., Gadkari, P. & Deb, A. (2009). Mathematical models for designing vehicles for ride comfort. 2nd International Conference on Research into Design (ICORD 09), Bangalore, India.
- Onat, C., Sivrioğlu, S. & Yüksek, İ. (2005). Bir çeyrek taşıt modeli için H_∞ kontrolcü tasarımı. *Mühendis ve Makine*. cilt 46, sayı545, 40-46.
- Onat, C., Daşkin, M. & Turan, A. (2017). Gain scheduling PI control of an electro-hydraulic actuator for active suspension system. 2nd International Conference On Computational Mathematics and Engineering Sciences (CMES-2017), İstanbul, Turkey.
- Taghirad, H. & Esmailzadeh, E. (1998). Automobile passenger comfort assured through LQG/LQR active suspension. *Journal of vibration and control*. 4(5), 603-618.
- Turan, A., Onat, C. & Sahin, M. (2019). Active vibration suppression of a smart beam via PID controller designed through weighted geometric center method. *Proceedings of the 10th Ankara International Aerospace Conference, METU, Ankara, Turkey*.
- Turan, A. & Aggumus, H. (2021a). Implementation of advanced PID control algorithm for SDOF system. *Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence JSCAI* 2(2): 43-52.
- Turan, A. & Aggumus, H. (2021b). MR damperli yarı aktif yapısal sistem için optimal PID kontrolcü tasarımı. *Eğitim Publishing Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar II*. Konya, Turkey.
- Turan, A. & Aggumus, H. (2022). MR Damperli yarı-aktif taşıt süspansiyon sistemleri için oransal kazanç dayalı optimum PID kontrolör tasarımı. 2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences. 110, Konya, Turkey.
- Zhuang, M. & Atherton, D. P. (1993). Automatic tuning of optimum PID controllers. *IEE Proc.- D*. 140, 3, 216-224.
- Ziegler, J. G. & Nichols, N. B. (1942). Optimum settings for automatic controllers. *Trans. ASME*. 64, 759-768.



A Scoring-Based Risk Assessment Method Proposal for Methane Explosions in Underground Coal Mines

Ulas Cinar^{1*}

^{1*} Canakkale Onsekiz Mart University, Occupational Health and Safety Education Application and Research Center, Canakkale, Turkey.
(ORCID: 0000-0003-3924-0768), ulas.cinar@comu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 17 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1190659)

ATIF/REFERENCE: Cinar, U. (2022). A Scoring-Based Risk Assessment Method Proposal for Methane Explosions in Underground Coal Mines. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 405-409.

Abstract

Mining is one of the sectors with the highest number of fatal occupational accidents. According to statistics, the majority of these fatal accidents are caused by methane explosions. In order for the explosion to occur, methane needs to form a certain concentration, sufficient oxygen and igniting elements are required. One of the most important factors that can affect methane formation is the carbon content of coal. As the carbon content increases, the probability of formation of flammable hydrocarbon-derived gas increases. The porous structure is a factor that causes methane to accumulate and create instantaneous concentration. It is known that the formation of the ignition element is directly proportional to the quartz content of the wall rocks. In this study, a new risk assessment method is proposed by assigning scores to the linguistic expressions of all these side parameters. This proposed method enables a proactive approach regardless of exact measurements and forced ventilation principles. It is foreseen that unexpected results can be prevented with the measures to be taken in this direction.

Keywords: Methane, Explosion, Risk Assessment, Coal Mines, Occupational Safety.

Yeraltı Kömür Madenlerinde Grizu Patlamaları İçin Skorlama Tabanlı Risk Değerlendirme Yöntemi Önerisi

Öz

Madencilik, ölümlü iş kazalarının en fazla olduğu sektörlerden biridir. İstatistiklere göre, bu ölümcül kazaların çoğu metan patlamalarından kaynaklanmaktadır. Patlamanın olabilmesi için metanın belirli bir konsantrasyon oluşturması, yeterli oksijen ve tutuşturucu elementlere ihtiyaç vardır. Metan oluşumunu etkileyebilecek en önemli faktörlerden biri kömürün karbon içeriğidir. Karbon içeriği arttıkça, yanıcı hidrokarbon türevi gaz oluşma olasılığı artar. Gözenekli yapı, metanın birikmesine ve anlık konsantrasyon oluşturmasına neden olan bir faktördür. Ateşleme elemanının oluşumunun yan kayaçların kuvars içeriği ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, tüm bu yan parametrelerin dilsel ifadelerine puan verilerek yeni bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen bu yöntem, kesin ölçümler ve cebri havalandırma ilkelerinden bağımsız olarak proaktif bir yaklaşım sağlar. Bu doğrultuda alınacak tedbirlerle beklenmeyen sonuçların önüne geçilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Grizu, Patlama, Risk Analizi, Kömür, İş Güvenliği.

* Corresponding Author: ulas.cinar@comu.edu.tr

1. Introduction

Mining is one of the sectors that should be considered as a priority in terms of occupational health and safety due to very dangerous activities (Cinar and Cebi, 2020). Nowadays, many studies are carried out to optimize current costs (Ozdemir and Ugurlu, 2021; Ugurlu, 2021). However, occupational accidents cause significant costs to companies directly or indirectly.

According to the statistics of the ILO (International Labor Organization), those working in mining sector are at least 3 times more likely to be exposed to accidents than those working in different sectors (ILO, 2022). In our country, approximately 10% of all occupational accidents and approximately 30% of fatal or severely damaged occupational accidents occur in the mining sector every year (Ceyhan, 2012; CASGEM, 2018). In our country, the highest number of work accident and occupational disease records in the mining sector were realized in quarries and coal enterprises. 89% of the total occupational accident and occupational disease cases in the sector were observed in these areas (Bilim v.d., 2018).

Methane, which is the main cause of the majority of fatal accidents in underground coal mines, is a flammable, colorless, odorless and gaseous hydrocarbon (C_nH_{2n+2}) derivative compound at normal temperature and pressure values (Segers, 1998). Methane – Air mixture is called “Grizu” and therefore methane-induced explosions are qualified as “Grizu Explosion” (Yasar, 2015).

Fatal accidents in 514 coal mines in the United States have been subjected to a statistical analysis of 100 years. It has been reported that 10390 of 11615 fatal accidents occurred during this period as a result of grizu explosion (Kowalski-Trakofler and Brnich, 2010). In a 130-year study conducted in Zonguldak coal mines in our country, 815 deaths were recorded as a result of 67 grizu explosions (Mevsim, 2016).

Grizu explosions occur as a result of a kind of chain combustion reaction. The three basic elements (Flammable Material, Oxygen and Heat) required for the combustion reaction must be present in sufficient quantities (Bickerton, 2012). In order for gases to explode, they must build up concentration in confined spaces. According to these concentration percentages, lower explosion and upper explosion limits of each gas were determined. Since there is not enough combustible material below the lower explosion limit, since the oxygen content will drop below 12% above the upper explosion limit, a combustion reaction does not occur and an explosion cannot be mentioned (Dursen and Yasun, 2012). The lower explosion limit for methane gas is 5% and the upper explosion limit is 15% (Tong v.d., 2009).

If methane gas at a concentration of 2% or more is detected in the measurements made from the furnace air, the work is stopped and the work is restarted after it is eliminated and the concentration is reduced to acceptable levels (Kissell, 2006). Ventilation is the most effective method for methane disposal, and

therefore the application of uncontrolled natural ventilation is prohibited, especially in coal mines. The mechanized ventilation system should be applied in a controlled manner according to the gas density of the mine (Aydin and Kesimal, 2007).

Although ambient air measurements and mechanized ventilation systems are applied regularly and in a controlled manner, there are side factors that directly or indirectly affect grizu explosions. The most important of these factors is the type of coal. The main material of coal is carbon, and the higher the carbon content, the higher the potential to form (C_nH_{2n+2}) derivative flammable gas by reacting with hydrogen in the air (Calderon v.d., 2016).

The second important factor is the geological and mineralogical structures. Porous and hollow structures create space for the methane gas to accumulate. This situation causes two important problems. Methane gas can form an explosive effect by creating a concentration outside of the ambient air in hollow structures, or it can create an explosive atmosphere in the ambient air instantly by spraying from the accumulated methane porous structures (Esen v.d., 2017).

Another factor is the igniter, which is one of the three main components in the realization of the combustion reaction. Although ex-proof equipment is preferred during production, the contact between the cutting and drilling tools and the rocks instantaneously creates hot surfaces. Especially the quartz content in the host rocks increases this risk (Okten and Yazici, 1986).

In this study, a new risk assessment scale has been proposed to express the risk situation numerically by assigning scores to the linguistic expressions of the side elements that may directly or indirectly affect the factors causing firestorm explosions, independent of mandatory application and numerical measurements.

2. Material and Method

A risk assessment scale was created with three sub-parameters affecting the main factors of methane explosions. The first of these is the type of coal produced. Coal is classified according to the carbon content it contains. If the carbon content is about 60%, it is called “Peat”, if it is about 70%, “Lignite”, if it is between 80 – 90%, it is called “Hard Coal”, and if it is about 95%, it is called “Anthracite” (Kavaz, 2019). The higher the carbon content, the higher the potential to form methane by reacting with the hydrogen in the air. The risk scores against linguistic expressions are given in Table 1.

The porous structure is an important factor in terms of methane accumulation and sudden concentration. Risk scores were created according to porosity and given in Table 2.

The igniting element is a factor required for the reaction to start. The higher the quartz content in the host rocks, the more ignition is triggered. Risk scores were created according to the quartz content of the wall rock and given in Table 3.

Table 1. Risk Scores by Coal Type

Coal Type	Risk Score
<i>Peat</i>	<i>1</i>
<i>Lignite</i>	<i>3</i>
<i>Hard Coal</i>	<i>4</i>
<i>Anthracite</i>	<i>5</i>

Table 2. Risk Scores by Porosity

Porosity	Risk Score
<i>Very Low</i>	<i>1</i>
<i>Low</i>	<i>2</i>
<i>Middle</i>	<i>3</i>
<i>High</i>	<i>4</i>
<i>Very High</i>	<i>5</i>

Table 3. Risk Scores by Quartz Content of the Wall Rock

Quartz Content of the Wall Rock (%)	Risk Score
$x < 20$	<i>1</i>
$20 \leq x < 50$	<i>2</i>
$50 \leq x < 70$	<i>3</i>
$70 \leq x$	<i>4</i>

The risk scores corresponding to linguistic expressions [Coal Type (R_t), Porosity (R_p), Quartz Content of Wall Rock (R_q)] are multiplied as given in Equation (1) to obtain the final risk score (R_s).

$$R_s = R_t * R_p * R_q \tag{1}$$

Linguistic risk expressions for methane explosions according to the final risk score are given in Table 4.

Table 4. Risk Chart

	R_s
<i>Very Low Risk</i>	$x < 10$
<i>Low Risk</i>	$10 \leq x < 15$
<i>Middle Risk</i>	$15 \leq x < 30$
<i>High Risk</i>	$30 \leq x < 50$
<i>Very High Risk</i>	$50 \leq x$

3. Results and Discussion

Risk scores were determined by assigning scores corresponding to linguistic expressions according to the

proposed method for the 5 coal mines whose properties are given in Table 5, and these final risk scores are given in Table 6.

Table 5. Properties of Coal Mines

	<i>Coal Type</i>	<i>Porosity</i>	<i>Quartz Content of the Wall Rock (%)</i>
A	<i>Lignite</i>	<i>High</i>	44
B	<i>Hard Coal</i>	<i>Middle</i>	52
C	<i>Lignite</i>	<i>Low</i>	37
D	<i>Lignite</i>	<i>Middle</i>	62
E	<i>Hard Coal</i>	<i>Low</i>	48

Table 6. Risk Score Chart

RISK SCORE CHART				
	Coal Type	Porosity	Quartz Content of the Wall Rock (%)	Risk Score
A	3	4	2	24
B	4	3	3	36
C	3	2	2	12
D	3	3	3	27

4. Conclusion

Gas measurements and ventilation criteria are standard and mandatory in coal mines. The activities to be carried out according to the methane measurements are also determined. However, risk analyzes must be performed proactively. The risk can be expressed more clearly when the factors affecting methane formation, methane concentration and reaction triggering factors are considered. Instant and precise measurements will shape the final action plan. However, with the proposed risk assessment method, negative consequences can be prevented by taking precautionary measures.

References

- Aydin, G., Kesimal, A. (2007). Investigation of Applicability of Methane Drainage in Coal Mining. *Scientific Mining Journal*, 46(4), 11-20.
- Bickerton, J. (2012). The Fire Triangle. *Loss Prevention Bulletin*, 226, 6-11.
- Bilim, N., Dundar, S., Bilim, A. (2018). Analysis of Occupational Accidents and Occupational Diseases in the Mining Industry in Our Country. *BEU Journal of Science*, 7(2), 423-432.
- Calderon, L.A., Chamorro, E., Espinal, J.F. (2016). Mechanisms for Homogeneous and Heterogeneous Formation of Methane During the Carbon-Hydrogen Reaction Over Zigzag Edge Sites. *Carbon*, 102, 390-402.
- CASGEM. (2018). Occupational Accidents in the Mining Industry.
- Ceylan, H. (2012). Analysis of Occupational Accidents According to The Sectors in Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 25(4), 909-918.
- Cinar, U., Cebi, S. (2020). A Hybrid Risk Assessment Method for Mining Sector Based on QFD, Fuzzy Inference System, and AHP. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 39(5), 6047-6058.
- Dursen, M., Yasun, B. (2012). Harmful Gases and Methane Drainage in Underground Mines. ISGUM, Ankara.
- Esen, O., Okten, G., Fisne, A. (2017). Evaluation of Sudden Gas and Coal Ejection Incidents in Turkey and Measures to be Taken in Combating the Incidents. *Scientific Mining Journal*, 56(3), 99-108.
- ILO (International Labour Office), <https://ilostat.ilo.org/>
- Kavaz, I. (2019). Coal in the Axis of Domestic and National Energy Policies. *Seta*, 265.
- Kissell, F.N. (2006). Handbook for Methane Control in Mining. National Institute of Occupational Safety and Health.
- Kowalski-Trakofler, K.M. and Brnich, M.J. (2010). Underground Coal Mine Disasters 1900-2010: Events, Responses, and a Look to the Future. *Society of Mining, Metallurgy, and Exploration*, 2010 Jan., 363-372.
- Mevsim, R. (2016). Risk Assessment by Fault Tree Analysis of Methane Explosions in Turkish Hard Coal Enterprises Underground Mines. Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Okten, G., Yazici, S. (1986). The Methane Explosions in Mechanized Excavations. *Mining Journal*, 25(3), 17-22.
- Segers, R. (1998). Methane Production and Methane Consumption: A Review of Processes Underlying Wetland Methane Fluxes. *Biogeochemistry*, 41, 23-51.
- Tong, M., Wu, G., Hao, J., Dai, X. (2009). Explosion Limits for Combustible Gases. *Mining Science and Technology (China)*, 19(2), 182-184.
- Ozdemir, O., Ugurlu, O.F. (2021). Calculation of the Optimum Number of Trucks Required in Operation Using Discrete Event Simulation in Open Pit Mining, *Engineering and Natural Sciences Conference*, 280.
- Ugurlu, O.F. (2021) Drill Bit Monitoring And Replacement Optimization in Open-Pit Mines, *Mining*, 60(2), 83-87.
- Yasar, S., Inal, S., Yasar, O., Kaya, S. (2015). Major Mining Accidents from Past to Present. *Scientific Mining Journal*, 54(2), 33-43.



Biyokömür İnkübasyonunun Buğday Verimi ve Bazı Verim Parametrelerine Etkisi

Aykut Şener^{1*}, İbrahim Erdal²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1868-9451), aykutsener@isparta.edu.tr

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8177-948X), ibrahimerdal@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1197040)

ATIF/REFERENCE: Şener, A. & Erdal, İ. (2022). Biyokömür İnkübasyonunun Buğday Verimi ve Bazı Verim Parametrelerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 410-415.

Öz

Araştırmada dört yıl inkübasyona bırakılmış farklı sıcaklıklarda elde edilen biyokömürlerin buğdayın bazı verim ve verim öğelerine etkisini incelemek amaçlanmıştır. Bu amaçla 2017 yılında, dört saat boyunca 300, 500 ve 700 °C derecelerde piroliz edilmiş biyokömürlerden parsellere dekara 3 ton olacak şekilde uygulama yapılmıştır. 2020-2021 yetiştirme döneminde ise bitki yetiştirme denemesi kurulmuştur. Deneme sonuçlarına bakıldığında, biyokömür uygulamalarının buğdayın vejetatif gelişmesini artırdığı, buna karşılık tane verimini azalttığı belirlenmiştir. Dahası, biyokömür uygulamaları hasat indeksi, başak boyu, bitki tane sayısı, kardeşlenme ve tane protein içeriklerini olumsuz etkilemiştir. Araştırmadan elde edilen bulgular göstermiştir ki, alkali bir toprağa uygulanarak uzun süre inkübasyona bırakılmış biyokömür, buğdayın vejetatif gelişimini artırırken, tane verimini olumsuz etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, buğday, toprak verimliliği, toprak özellikleri.

Effect of Biochar Incubation on Yield and Some Yield Parameters of Wheat

Abstract

This study investigated the effects of biochars pyrolyzed at different temperatures on some yield and yield components of wheat after a four-year application. For this, biochars pyrolyzed at 300, 500, and 700°C during four hours were applied to the plots at a rate of 3 t/da in 2017 and left for incubation for four years. In 2020-2021 growing season, plant growth experiment was planned. Experiment results showed that biochar applications enhanced wheat vegetative growth but the yield of grain decreased with biochar application. Moreover, the effect of biochar on some yield and quality criteria such as harvest index, ear length, plant grain number, tillering and grain protein ratio was negative. Findings from this study indicated that biochars incubated for a long time in an alkaline soil, increased the straw yield of wheat, but biochar had a negative effect on some grain yield and some yield parameters.

Keywords: biochar, wheat, soil fertility, soil properties.

1. Giriş

Dünya nüfusunun her geçen gün artması, gıdaya olan ihtiyacı da artırmaktadır. Artan gıda arzına rağmen tarım alanlarının azalması nedeniyle dünyada gıda yetersizliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Tarım alanları azalırken üretimi artırmak için tek çözüm birim alandan elde edilecek verimi artırmaktır. Verim artışı yüksek verimli çeşit geliştirilmesinin yanında yetiştiricilik yöntemlerinin de geliştirilmesiyle sağlanabilir. Gübreleme ile yaklaşık %30-50 arasında verim artışı sağlanmaktadır. Gübreleme olmadan istenen verim artışlarını sağlamak mümkün değildir. Fakat aşırı kimyasal gübre kullanımının çevre üzerine olumsuz etkileri vardır. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek bitkilerin topraktaki besin maddelerinden daha fazla yararlanmasını sağlanabilir. Buğday, en temel ve stratejik besin maddesidir. Buğday bitkisi genellikle besin maddelerince fakir çoraklaşma tehdidi altındaki kuru tarım alanlarında yetiştirilmektedir. Türkiye'nin geliştirilmiş Toprak Haritasında 15187220 da alanın tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunduğu bildirilmiştir. Tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunan alanların %41'i hafif tuzlu, %33'ü tuzlu, %17.5'i tuzlu-alkali, %8'i hafif tuzlu-alkali ve %0.5'i alkalidir. Çorak topraklar Türkiye'nin işlenen tarım arazilerinin %5.48'i kadardır (Gökoğlu ve Çaycı, 2021). Ayrıca Türkiye'de tarımsal üretim yapılan topraklarının %43.78'inde organik madde miktarı oldukça düşüktür (Eyüpoğlu, 1999). Bu alanların korunması ve sürdürülebilir kullanılması önemlidir. Biyokömür, biyolojik maddelerin oksijenin sınırlandırıldığı ortamda piroliz işlemi ile karbon bakımından zengin maddelere dönüşmüş halidir. Biyokömürün toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etkilerinin olduğu birçok araştırma sonucu bulunmaktadır. Biyokömür toprağın su tutma kapasitesini artırır, bitkilerin topraktaki fosfor ve azot gibi birçok elementten yararlanmasını artırır (Glaser vd., 2015; Lehmann vd., 2011). Yüze alanının ve karbon oranının yüksek olması, topraktaki mikroorganizmaların sayısının ve çeşidinin değişmesine neden olmaktadır (Gul vd., 2015). Ayrıca toprağa biyokömür uygulamalarının, toprağın hacim ağırlığının düşmesine ve toprak sıkışmasının azalmasına neden olmuştur (Asai vd., 2009; Olmo vd., 2014). Yüksek sıcaklıkta üretilen biyokömürün yüzey

alanının ve buna bağlı olarak negatif yükünün daha fazla artması sonucunda bitkiler, bir katyon olan amonyum (NH_4^+) azotundan daha fazla yararlanmaktadır (Major vd., 2009, Nelissen vd., 2012). Biyokömürün toprak verimliliği ve bitki gelişimi üzerine olumlu etkilerinin olduğu, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine doğrudan veya dolaylı yollarla etkisinin olduğu, fitotoksik moleküllerin absorbe edilmesinde etkili olduğu ve toprak kökenli patojenlerin baskılanmasında yararlı olduğu bildirilmiştir (Günel ve Erdem, 2018).

Bu çalışmada, buğday tarımının yaygın yapıldığı alkali topraklarda farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürün buğdayın verimi ve verim parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme Alanı ve İklim Özellikleri

Araştırma Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi deneme arazisinde 2017-2021 yılları arasında yürütülmüştür. Deneme alanı toprağı killi-tınlı bünyeli, alkali reaksiyonlu (pH, 8.0) ve kireç içeriği fazla (CaCO_3 , %26) olup tuzluluk sorunu bulunmamaktadır (EC= 0.44 ds/m). Deneme alanı toprağı organik madde (OM) bakımından fakir (OM, %1.9) durumda iken bitkiye yarayırlı fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve bakır (Cu) bakımından ise yeterli düzeyde (54 ppm P, 156 ppm K, 6000 ppm Ca, 379 ppm Mg, 11 ppm Fe, 31 ppm Mn, 2.9 ppm Zn ve 5.2 ppm Cu) olduğu belirlenmiştir (Alpaslan vd., 1998).

2.2. Biyokömür

Domates hasat artıkları kurutularak 4mm'den küçük parçalara ayrılmış ve ardından 50 litrelik silindirik piroliz reaktöründe yavaş piroliz yöntemine göre biyokömüre dönüştürülmüştür. Biyokömürler 300 (BK300), 500 (BK500) ve 700°C (BK700) sıcaklıklarda 4 saat boyunca piroliz işlemine tabi tutulduktan sonra soğumaları beklenmiş ve 2 mm'lik elekten geçirilmek suretiyle kullanıma hazır hale getirilmişlerdir. Kullanılan biyokömüre ait bazı analizler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan biyokömürün temel özellikleri

Table 1. Basic properties of biochar used in the study

Biyokömür	pH	Kül					Fe					
		(g kg ⁻¹)	C	N	P	K	Ca	Mg	(mg kg ⁻¹)	Zn	Mn	Cu
BK300	6.3	123	439	19	8	22	23	9	350	83	37	22
BK500	9.1	284	444	22	8	41	34	10	643	110	80	22
BK700	9.7	302	413	24	12	43	61	16	750	166	227	43

Biyokömür verileri daha önce yapılan bir çalışmadan alınmıştır (Erdal vd., 2021).

2.3. Bitki Materyali

Çalışmada bitki materyali olarak KOÇ2015 ekmeçlik buğday çeşidi kullanılmıştır.

2.4. Denemenin Kurulması

Araştırma 2017-2022 yılları arasında iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşama inkübasyon aşaması olup, 4 yıl sürdürülmüştür. Bunun için Haziran 2017 de üç farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürden dekara 3 ton olacak şekilde mikro parsellere (50 cm × 50 cm, parsel aralarında 1'er m boşluk olacak şekilde hazırlanmıştır) uygulanmıştır. Toprağın 15 cm derinliğine karıştırılan biyokömler 4 yıl süreyle bitki yetiştirmeksizin doğal koşullar altında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinden sonra 2020-2021 yetiştirme sezonunda bitki yetiştirme denemesi kurulmuştur. Deneme 4 uygulama (Kontrol, BK300, BK500 ve BK700) 3 tekerrürlü olacak şekilde toplam 12 parselden oluşmuştur. Bunun için ekim öncesi topraklara dekara 6 kg N, 9 kg P₂O₅, 4 kg K₂O olacak şekilde amonyum nitrat, diamonyum fosfat ve potasyum sülfat gübreleri kullanılarak temel gübreleme yapılmıştır. Azotun yarısı diğer gübrelerle birlikte ekimden önce uygulanmış geri, kalanı ise kardeşlenme döneminde üst gübresi şeklinde verilmiştir. Temel gübreleme sonrası 21 Kasım 2020' de, metrekaareye 500 buğday tohumu gelecek şekilde 4 sıralı olarak elle ekim yapılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak planlanmış ve hasada kadar sürdürülmüştür.

2.5. Toprak Analizleri, Bitki Ölçümleri ve Verilerin Değerlendirilmesi

Toprak özelliklerinin belirlenmesinde; organik madde için Walkley ve Black (1934) yöntemi kullanılmıştır. Toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri 1/2.5 toprak/su süspansiyonunda kombine pH+EC ölçer ile yapılırken, toprağın kireç miktarını belirlemek için kalsimetrik yöntem kullanılmıştır (Allison ve Moodie 1965). Toprakta alınabilir fosfor, sodyum bikarbonat yöntemiyle (Olsen vd. 1954) spektrofotometrede (Shimadzu UV-1208), değişebilir potasyum,

kalsiyum ve magnezyum Knudsen vd., (1982)' ye göre, DTPA'da ekstrakte edilebilen Fe, Mn, Zn ve Cu Lindsay ve Norvell (1978)'e göre atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Varian SpectrAA-240FS) okunarak belirlenmiştir. Bitki ölçümleri; Yürür (1981)'e göre her parselden rastgele seçilen 10 bitki üzerinde yapılmıştır. Protein oranı ise Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2010).

Elde edilen verilerin değerlendirilmesi için MSTATC paket programında ANOVA testi uygulanmış (P<0.05) ve ortalamalar arası fark TUKEY testiyle belirlenmiştir

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Biyokömür uygulamalarının buğdayın verimi, hasat indeksi (HI) ve bin tane ağırlığına (BTA) etkisi Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'den de görüleceği üzere biyokömür uygulamalarının tane verimi üzerine etkisi olumsuz olmuştur. Kontrol grubunda 266 g olan parsel verimi bütün biyokömür uygulamalarında giderek azalmış ve 300, 500 ve 700 derecede elde edilen biyokömür uygulanmış parsellerde sırasıyla 262, 243 ve 232 g/parsel tane verimi alınmıştır. Diğer taraftan, biyokömür uygulamalarının sap verimi ve toplam verim üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Hatta elde edilen bu olumlu etkinin yüksek sıcaklıklarda elde edilen biyokömür uygulanmış parsellerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. En düşük sap verimi 311 g ile kontrol parsellerinde elde edilirken, BK300, BK500 ve BK700 uygulamalarından kontrole oranla yaklaşık 1.5, 2 ve 2.4 kat fazla sap verimi alınmıştır. Sap veriminde olduğu gibi biyolojik verim de biyokömür uygulamalarıyla artmıştır. Elde edilen artışın yine biyokömürün üretilme sıcaklığıyla paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Kontrole kıyasla, en yüksek verim artışı yaklaşık %68'lik bir oranla 700°C'de üretilen biyokömür uygulanmış parsellerden elde edildiği görülmüştür. Biyokömür uygulamalarının HI üzerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Biyokömür uygulanmamış parsellerde 0.46 olarak hesaplanan HI, biyokömürün üretim sıcaklığıyla düşmüş ve BK700 uygulamasında 0.24'e kadar gerilemiştir. Buğdayın bin tane ağırlığı 38.8 ve 42.1 g arasında değişiklik göstermiş olup, bu değişim üzerine biyokömür uygulamalarının etkisi anlamlı olmamıştır.

Tablo 2. Biyokömürün buğdayın verimi, hasat indeksi (HI) ve bin tane ağırlığına (BTA) etkisi

Table 2. The effect of biochar on wheat yield, harvest index (HI) and thousand grain weight (BTA)

Uygulamalar	Verim (gr/parsel)			HI	BTA (g)
	Tane	Sap	Biyolojik		
Kontrol	266 a	311 c	577 c	0.46 a	38.9
BK300	262 ab	473 bc	735 bc	0.36 b	38.8
BK500	243 bc	640 ab	883 ab	0.28 c	40.8
BK700	232 c	734 a	965 a	0.24 c	42.1

BK300, BK500 ve BK700 sırasıyla 300, 500 ve 700 °C sıcaklıkta üretilen biyokömleri simgeler. Bütün değerler üç tekrarın ortalamasıdır. Aynı kolonda aynı harfi paylaşan uygulamalar arasındaki fark Tukey testine göre önemli değildir (P>0.05).

Buğdayın başak uzunluğu, bitki tane verimi ve tane protein içeriği biyokömür uygulamalarından farklı şekillerde etkilenebilir ve bu etkiler istatistiksel olarak anlamlı olmuştur. Bu üç parametre için en yüksek değerlerin kontrol uygulamasıyla en düşük sıcaklıkta üretilen biyokömüre (BK300) ait uygulamalardan elde edildiği görülürken, diğer uygulamalardan elde edilen değerler daha düşük bulunmuştur. Başaktaki tane sayısı 20 ile 23.9 arasında değişim göstermiş fakat bu değişime uygulamaların

etkisi anlamsız olmuştur (Tablo 3). Biyokömür uygulamalarının buğdayın yaprak yeşil renk yoğunluğu (SPAD) ile başaklanma süresi, kardeş sayısı ve bitki boyu üzerine olan etkileri Tablo 4'te görülmektedir. Uygulamalardan elde edilen değerlere bakıldığında SPAD değerlerinin 47 ile 49 arasında, başaklanma süresinin 211-212 gün arasında, bitki boylarının ise 83 ile 86 cm arasında değiştiği fakat bu değişimler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür (Tablo 4). Biyokömür uygulamalarına bağlı olarak kardeş sayısı 1.8 (kontrol) ile 2.5 (BK300) adet arasında değişmiştir. Bu değişim

üzerine uygulamalarının anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenmiş olup, bütün biyokömür uygulamalarının kontrole göre kardeş sayısını eşit ve anlamlı derecede artırdığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Biyokömürün buğdayın başak uzunluğu, başakta tane sayısı, bitki tane verimi ve tane protein içeriğine etkisi
Table 3. Effect of biochar on wheat ear length, grain per ear, plant grain yield and grain protein content

Uygulama	Başak uzunluğu (cm)	Başakta tane sayısı (adet)	Bitki tane verimi (g)	Protein oranı (%)
Kontrol	7.7 ab	23.9	0.966 a	14.7 a
BK300	8.1 a	23.4	0.954 a	14.7 a
BK500	6.7 c	21.7	0.884 ab	12.8 b
BK700	7.1 bc	20.0	0.842 b	13.0 b

BK300, BK500 ve BK700 sırasıyla 300, 500 ve 700 at °C sıcaklıkta üretilen biyokömürleri simgeler. Bütün değerler üç tekrarin ortalamasıdır. Aynı kolonda aynı harfi paylaşan uygulamalar arasındaki fark Tukey testine göre önemli değildir ($P>0.05$).

Tablo 4. Biyokömürün buğdayın yaprak SPAD değeri, başaklanma süresi, kardeş sayısı ve bitki boyu üzerine etkisi
Table 4. The effect of biochar on leaf SPAD value, earing time, tiller numbers and plant height of wheat

Uygulamalar	SPAD	Başaklanma süresi (gün)	Kardeş sayısı (adet)	Bitki boyu (cm)
Kontrol	52	211	1.8 B	83
BK300	49	211	2.5 A	86
BK500	47	211	2.2 A	84
BK700	47	212	2.3 A	83

BK300, BK500 ve BK700 sırasıyla 300, 500 ve 700 °C sıcaklıkta üretilen biyokömürleri simgeler. Bütün değerler üç tekrarin ortalamasıdır. Aynı kolonda aynı harfi paylaşan uygulamalar arasındaki fark Tukey testine göre önemli değildir ($P>0.05$).

4. Tartışma

Elde edilen sonuçlar biyokömür uygulamalarının buğdayın tane ve sap verimi üzerine farklı şekillerde etkisi olduğunu göstermiştir. Tane verimi artmamasına karşılık sap ve toplam verimde artışlar kaydedilmiştir. Elde edilen veriler HI'nin uygulamalara bağlı olarak azaldığını göstermiştir. Bilindiği üzere HI tane verimiyle çok yakından ilişkili bir parametredir. Tane verimiyle artan HI, sap veriminin artmasıyla azalır (Singh ve Stoskopf 1971, Kobata vd., 2018, Rivera-Amado, 2019). Yapılan bir araştırmada birçok buğday çeşidi için belirlenen HI değerinin 0.3 ve 0.6 arasında olduğu ifade edilmiştir (Hay, 1995). Bu değerlendirmeye göre, sadece iki uygulamadan (Kontrol ve BK300) elde edilen sonuçların belirtilen aralığa düştüğünü ifade etmek gerekir. Diğer uygulamalardan (BK500 ve BK700) elde edilen HI değerleri daha önce yapılan bazı araştırmalardan elde edilen değerlerden düşüktür (Kobata vd., 2018, Rivera-Amado, 2019). Yukarıda da ifade edildiği gibi, HI değerlerinin düşük olmasının en önemli nedeni tane veriminin düşük sap veriminin ise yüksek olmasıdır. Artan sap veriminin en önemli nedeni ise biyokömürün buğdayın erken dönemdeki besin elementi kullanımının biyokömürle teşvik edilmesi olabilir. Ayrıca biyokömürün kardeş sayısını ve bitki boyunu artırdığı belirlenmiştir. Kardeş sayısı ve bitki boyunun artmasına paralel olarak sap verimi de artmıştır. Yapılan bir araştırmada toprağa kimyasal gübre+biyokömür uygulamasının buğdayda bitki boyunu artırdığı bildirilmiştir (Namlı vd., 2017). Yapılan araştırmalar, bitkinin vejetatif gelişimi üzerine en etkili elementlerden olan azotun biyokömür uygulanmış koşullarda toprakta bitkiye yarayışlı şekilde daha uzun kaldığını ve bitkilerin bundan kolaylıkla faydalanabildiğini göstermiştir (Peng vd., 2021). Ayrıca biyokömür, inorganik azotun immobilizasyonunu kısmen önlemek suretiyle uzun süre yarayışlı formda kalmasına yardımcı olmaktadır (Fiorentino vd., 2019). Yüksek sıcaklıkta piroliz edilen biyokömür uygulanmış parsellerden elde edilen sap veriminin daha fazla olması ise yüksek sıcaklıkta üretilen

biyokömür yüzey alanı ve buna bağlı olarak negatif yükün daha fazla artması ve buna bağlı olarak bitkinin bir katyon olan amonyum (NH_4^+) azotundan daha fazla yararlanmasıyla ilişkilendirilebilir (Major vd., 2009, Nelissen vd., 2012). Biyokömür toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirmek suretiyle de bitkinin vejetatif gelişimini dolaylı olarak teşvik etmiş olabilir. Yapılan araştırmalar biyokömürün toprak verimliliği ve bitki gelişimine olan dolaylı etkisinin direkt etkisine göre daha fazla olabileceğini göstermiştir (Lehmann vd., 2003). Yine biyokömürle toprağa sağlanan etilen gibi hormonlar veya hormon benzeri maddeler bitkilerin vejetatif gelişimini teşvik edebilir (Liu vd., 2021). Artan vejetatif gelişimin generatif gelişime olan olası olumsuz etkisi de tane veriminin düşük kalmasına neden olmuş olabilir (Kacar ve Katkat, 2010). Tane verimi; başak uzunluğu, başakta tane sayısı ve bitki tane verimi özellikleri ile yakından ilişkilidir. Biyokömürün başak uzunluğu, başakta tane sayısı ve bitki tane verimi üzerine olumsuz etkisinin olmasına bağlı olarak tane verimi de azalmıştır. Hansen vd. (2017) toprağa biyokömür uygulamasının toprağın organik karbon içeriğini önemli derecede artırmadığını ve kışık buğday verimine önemli bir etkisi olmadığını bildirmiştir. Tane veriminde olduğu gibi yaprak renk yoğunluğu (SPAD), tane protein içeriği ve diğer verim ve kalite özelliklerinde olduğu gibi, toprakların verimliliğinden doğrudan etkilenen çeşitli parametreler üzerinde biyokömürün ya etkisi olmamış ya da olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durum toprak pH'sı ile yakından ilişkilidir. Konuya ilişkin yapılan birçok araştırmalar biyokömürün düşük pH'lı topraklarda çok daha etkili olduğu (Chan vd., 2008; Biederman ve Harpole, 2013) alkali topraklarda etkisinin çok az olduğunu hatta bazı durumlarda olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur (Erdal vd., 2019; Erdal vd., 2021). Ayrıca kullanılan biyokömür materyalinin cinsi, uygulama durumu, yakma süresi ve sıcaklığı, inceliği, arazide gördüğü işlemler gibi çok çeşitli faktörler de biyokömürün etkinliğini belirlemektedir (Joseph vd., 2010; Alburquerque vd., 2013).

5. Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre uzun süre inkübasyona bırakılmış olan farklı derecelerde üretilmiş biyokömür uygulamaları bitkinin vejetatif gelişimini ve toplam verimini artırmış, buna karşılık tane verimini olumsuz etkilemiştir. Ayrıca biyokömür uygulamaları, buğdayın kardeş sayısını artırdığı belirlenmiştir. Ancak SPAD değeri, başak uzunluğu, başakta tane sayısı, bitki tane verimi gibi verime etkisi olan özellikler üzerine olumsuz etki göstermiştir. Ayrıca biyokömür uygulaması ile tane protein oranında da azalma olmuştur. Buradan yola çıkarak, uzun süre inkübasyona bırakılmış biyokömürün alkali topraklarda buğdayın tane verimi ile bazı verim öğeleri üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Kaynakça

- Albuquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. D. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(3), 475-484.
- Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 9, 1379-1396.
- Alpaslan, M., Güneş, A., & İnal, A. (1998). Deneme tekniği. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın*, 1501, 455.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... & Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field crops research*, 111(1-2), 81-84.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Erdal, İ., Memici, M., Ekinci, K., & Sukuşu, E. (2019). Effects of tomato harvest residue derived biochars obtained from different pyrolysis temperature on periodical available nutrient concentrations of soils. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32, 75-78.
- Erdal, İ., Memici, M., Ekinci, K., & Sukuşu, E. (2021). Periodical changes of some soil properties of a calcareous soil under field conditions as affected by different biochar applications. *ROMANIAN AGRICULTURAL RESEARCH*, 38, 203-213.
- Erdal, İ., Memici, M., Ekinci, K., & Sukuşu, E. (2021). Periodical Changes Of Some Soil Properties Of A Calcareous Soil Under Field Conditions As Affected By Different Biochar Applications. *Romanian Agricultural Research*, No. 38, 204-2013 www.inceda-fundulea.ro Print ISSN 1222-4227; Online ISSN 2067-5720.
- Eyüpoğlu, F. (1999). Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü-Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları. Genel Yayın No: 220 Ankara.
- Fiorentino, N., Sánchez-Monedero, M. A., Lehmann, J., Enders, A., Fagnano, M., & Cayuela, M. L. (2019). Interactive priming of soil N transformations from combining biochar and urea inputs: A ¹⁵N isotope tracer study. *Soil Biology and Biochemistry*, 131, 166-175.
- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H. P., & Gerber, H. (2015). Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 667-678.
- GÖKOĞLU, B., & ÇAYCI, G. (2021). Organik Materyal Kullanımının Alkali Bir Toprağın Bazı Islah Göstergeleri Üzerine Etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 60-67.
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59.
- Günal, E., & Erdem, H. (2018). Biyokömür; Tanımı, Kullanımı ve Tarım Topraklarındaki Etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 87-93.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Imparato, V., Krogh, P. H., Jensen, L. S., Dolmer, A., & Hauggaard-Nielsen, H. (2017). The effects of straw or straw-derived gasification biochar applications on soil quality and crop productivity: A farm case study. *Journal of Environmental Management*, 186, 88-95.
- Hay, R. K. M., (1995). Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of applied biology*, 126(1), 197-216.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., ... & Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Soil Research*, 48(7), 501-515.
- Kacar, B. & İnal, A. (2010). Bitki Analizleri, *Nobel Yayınevi*, 1241. Ankara.
- Kacar, B., Katkat, V., 2010. Bitki Besleme. (5. Baskı) *Nobel Yayın Dağıtım*.
- Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1982). Lithium. Sodium and Potassium. Methods of Soil Analysis. Part 2. The G.W. (1982). Exchangeable Cations. pp. 159-165. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No.9 (2 nd Ed). ASA-SSSA. Madison. Wisconsin. USA.
- Kobata, T., Koç, M., Barutçular, C., Tanno, K. I., & Inagaki, M. (2018). Harvest index is a critical factor influencing the grain yield of diverse wheat species under rain-fed conditions in the Mediterranean zone of southeastern Turkey and northern Syria. *Plant Production Science*, 21(2), 71-82.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836
- Lindsay, W. L., & Norwell, W. A. (1978). Department of a DTPA soil test for zinc, iron and manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428.

- Liu, C., Sun, B., Zhang, X., Liu, X., Drosos, M., Li, L., & Pan, G. (2021). The water-soluble pool in biochar dominates maize plant growth promotion under biochar amendment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(4), 1466-1476.
- Major, J. (2009). Biochar Application To A Colombian Savanna Oxisol: Fate And Effect On Soil Fertility, Crop Production, Nutrient Leaching And Soil Hydrology Volume I.
- Namlı, A., Akça, M. O., & Akça, H. (2017). Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 39-47.
- Nelissen, V., Rütting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruysschaert, G., & Boeckx, P. (2012). Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 55, 20-27.
- Olmo, M., Albuquerque, J. A., Barrón, V., Del Campillo, M. C., Gallardo, A., Fuentes, M., & Villar, R. (2014). Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 50(8), 1177-1187.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., & Dean, L.A. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US. Dept. Agric. Cric. p. 939.
- Peng, J., Han, X., Li, N., Chen, K., Yang, J., Zhan, X., ... & Liu, N. (2021). Combined application of biochar with fertilizer promotes nitrogen uptake in maize by increasing nitrogen retention in soil. *Biochar*, 3(3), 367-379.
- Rivera-Amado, C., Trujillo-Negrellos, E., Molero, G., Reynolds, M. P., Sylvester-Bradley, R., & Foulkes, M. J. (2019). Optimizing dry-matter partitioning for increased spike growth, grain number and harvest index in spring wheat. *Field Crops Research*, 240, 154-167.
- Singh, I. D., & Stoskopf, N. C. (1971). Harvest index in cereals 1. *Agronomy Journal*, 63(2), 224-226.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Yürür, N., Tosun, O., Eser, D. & Geçit, H. H. (1981). *Buğdayda Anasap Verimi ile Bazı Karakterler Arasındaki İlişkiler*. Bilimsel Araştırma ve İncelemeler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 755, 443.



Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi

Durmuş Akkaya^{1*}, Mehmet Çağrı Kızıldaş²

¹ T.C. Uşak Belediye Başkanlığı, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9234-9047)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 30 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1112875)

ATIF/REFERENCE: Akkaya, D. & Kızıldaş, M. Ç. (2022). Ulaştırmanın Kentleşme Üzerine Etkisinin Kent İçi Ulaştırmada Türel Dağılıma Göre Analiz Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 416-422.

Kentleşme çağımızın en önemli olgularından bir tanesidir. Hareketlilik, sürdürülebilirlik ve dijitalleşme ile birlikte bulunduğumuz yüzyılın ulaştırma eğilimlerini şekillendirecektir. İnsanlar artık hem dünyada hem de Türkiye’de büyük kentlerde kalabalık nüfuslar halinde yaşamakta ve bu durum dünyanın pek çok ülkesinde yaygınlık kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında ilk olarak kent ile ilgili bilgi verilmiş olup ardından ise kentsel kararlarda ulaştırmanın etkisi irdelenmiş sonrasında ise ulaştırma ve türel dağılımda insan merkezli bakış açısı çözümlenmiştir. Karayolu, raylı sistemler ve deniz ulaşımı İstanbul özelinde detaylı bir şekilde değerlendirilmiş olup bu bağlamda son olarak da sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Türel Dağılım, ulaşım, kentlerde toplu ulaşım

Analyzing of the Effect of Transportation on Urbanization According to the Generic Distribution in Urban Transportation

Abstract

Urbanization is one of the most important facts of our era. Mobility will shape the transportation trends of the century with sustainability and digitalization. People now live in urban with large populous both in the world and Turkey and this situation has gained prevalence in many countries of world. Within the scope of this study, information was firstly given about the city and then the effect of transportation in urban decisions was examined, and then a human-centered perspective in transportation and generic distribution was analyzed. Road, rail systems and sea transportation have been evaluated in detail in Istanbul, and in this context, conclusions and recommendations have been presented.

Keywords: Modal distribution, transportation, urban mass transport

* T.C. Uşak Belediye Başkanlığı, Uşak, Türkiye ORCID: 0000-0001-9234-9047, akkayadurmus@gmail.com

1. Giriş

Şehir kelimesi uzun yıllar önce Farsça'dan dilimize geçmiş ve yapı kökeni itibarıyla "civilization" kelimesi ile benzer içeriklere sahiptir. Günümüzde kent ile eş anlamlı olarak kullanılan şehir kelimesi yerleşik hayatı temsil eden uygarlık ve medeniyet kavramlarıyla anılmaktadır. Uygarlık ve medeniyet bir kentte öncelikle kent yapısı ve düzeni içerisinde hayat bulur. Dolayısıyla kent planlaması, farklılıkları uyumlu bir şekilde yapısında bulundurma yeteneği açısından medeniyet göstergesi olarak söylenebilir. Kentlerin planlanması, teknik imkânlar ve yöneticilerin vizyonları ve verilen önem çerçevesinde yapılmaktadır. Örneğin, Cumhuriyet dönemi başkenti olan Ankara günümüze kadar daha planlı bir kentleşme süreci geçirmiş, ancak denize kıyısı olması ve ikliminden kaynaklı olarak, sürekli göç alan İzmir için aynı başarıya ulaşamamıştır. Bunun yanında topografya ve yatırımların da etkisiyle sürekli göç almasına rağmen son 30 yılda Kayseri ve Gaziantep ile birlikte Konya da kent planlaması oldukça başarılı görülebilir.

Tarihinde coğrafi konumunun da etkisiyle sürekli dış etkenlere maruz kalarak hem işgaller ve kuşatmalar görmüş, hem engebeli topografyasına rağmen sürekli-hızlı göç almış bir mega kent olan İstanbul, şehirleşmenin doğal kriterlerinin yanı sıra özellikle göç, kamu hizmeti, silüet vb. parametreleri gibi konularla da değerlendirilmelidir. Mevcut durumda, düzenli kentleşmenin en büyük göstergesi ulaşım ağlarının düzenliliği ve yeterliliğidir denilebilir. Bir kentin iç nüfus dağılımının dengeleyecek politikalarla birlikte planlanacak ulaşım ağları, mevcut göç olgusunu destekleyici değil, düzenleyici nitelikte olmalıdır. Bu açıdan şehir ve şehirlilik olgusu sosyal-ekonomik-kültürel birçok arka plana sahip, daha komplike bir konu olduğu için, yapılan ve yapılacak olan yatırımların niceliğinin yanı sıra niteliğinin düzeyi de stratejik bir konudur. Bu açıdan doğru planlama, ulaşım sistemleri ile kopmaz ve sürekli birbirini etkileyen bir bağlama sahip olmakla birlikte, sorunların minimize edildiği, hizmet parametrelerinin üst düzeye çıkarıldığı, entegre, çok türlü ve sağlıklı türel dağılıma sahip ve aynı zamanda da genele yayılı bir ulaşım sistemine sahip olmakla mümkün olabilecektir (10.Kalkınma Planı ÖİK 2012).

Şehir planlamalarının ayrılmaz iki parçası olan şehirleşme olgusu ile ulaşım planlamaları incelendiğinde birbiri ile oldukça kuvvetli bağ olduğu görülecektir. Bu açıdan, yapılması düşünülen yatırımların verimliliği, ulaşım sistemleri üzerinden de değerlendirilebilir. Ulaşım yapılan her yatırım şehirleşmeye olumlu ya da olumsuz etkilerini, şehirleşmenin ne tarafa evrileceğini direkt olarak belirler. Uzun bir süre planlama eksikliğinden dolayı niteliksiz yapılaşma, ticari kargaşa, düzensiz şehirler ve bir sürü sorunlar hâsıl olmuştur. Bu durumun üstesinden ancak nitelikli bir planlama yaklaşımı geliştirilerek gelinebilir. Nitelikli planlama yaklaşımı yukarıda bahsedilen sürdürülebilir karşılıklı etkileşim kriterleri dikkate alınarak ortaya konulup çok katımlı, koordineli ve organizasyonel bir yapı ile desteklenmelidir. Yapılması düşünülen bir yatırımın niceliğinin büyük olması, çok katımlı, koordineli ve organizasyonel bir yaklaşıma sahip değilse, aynı oranda verim sağlayamayacağı ve çözümden ziyade yeni problemler ortaya çıkaracağı düşünülmelidir. Yapılan ulaşım yatırımları buldukları bölgelere çok hızlı bir şekilde oldukça büyük değerler katmaktadır. Örneğin, birçok merkezin ve merkezi aktarma istasyonlarının bulunduğu İstanbul'da, şehrin gelişimine göre planlanmış hatlar olduğu anlaşılan kablolu sistem yatırımları için önceliklendirilen

Çamlıca-Altunizade-Zincirlikuyu-Mecidiyeköy Teleferik Hattı ve daha sonraki süreçte boğaz boyunca uzanan teleferik hatları, bölgede radikal değişikliğe sebep olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan bakılırsa, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nün yapımı ile paralel olarak gelişimi hızlanan Altunizade bölgesinin metrobüs hattındaki ana istasyonlardan birine dönüştüğü, alınan planlama kararları ve yatırımlarla da bölgenin merkezi konumunun güçlendiği görülebilir. Bunun yanında bölge, Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe metro hattı ile, bölgenin gelişiminde şüphesiz büyük desteği olan ve yüzyılın projesi olarak adlandırılabilir, Londra ile Pekin arasındaki kesintisiz ağı belki de en büyük bileşeni olan Marmaray'ın açılmasıyla da, 2 ana transfer merkezinin bir tanesine ev sahipliği yapan Üsküdar'a komşuluğundan dolayı, doğrudan etkilenmiştir. Bölgede yapılan çalışmalara ek olarak Çamlıca Camii ve çevresi yatırımları ile bağlantıyı kuracak ana istasyonlarından biri Altunizade olan teleferik projesi de düşünülmektedir (Şekil 1). Böylece bölge, Boğaz köprüsü ile karayolu ve metrobüs, Marmaray ve metro projeleri ile teleferik hatlarının toplanma – dağılma merkezi haline gelmiş olacaktır (Kızıltaş, M.Ç. 2016).



Şekil 1: Altunizade Merkezli Teleferik Hat Projesi (Chen, Z. 2017)

Benzer olarak, Kadıköy ulaşım olduğu günlük 2 milyonluk nüfus cazibesi kapasitesi dâhilinde Anadolu yakasında ana merkezlerden birisini teşkil etmekte olup münhasıran bir yenileşme prosesini ciddi çekim imkânlarına haiz projeler dâhilinde deneyimlemektedir. Bu bağlamda Kadıköy'ün mücavir alanındaki Çamlıca Acıbadem, Altunizade, Üsküdar, Çekmeköy ve Ataşehir'deki gelişim süreci yapılan yatırımlar dahilinde Pendik ve Kadıköy arasındaki metro hattının özel bir önemini bulunmaktadır ve hat yerleşimi itibarıyla önemli bir işlevi icra etmektedir. Ek olarak, metrobüs hattının işleme girmesiyle birlikte, Kadıköy'deki Söğütluçeşme, ana istasyonlardan biri olmuştur. Birçok kent içi ulaşım hattının merkezinde Kadıköy bulunmaktadır zira İstanbul Deniz Otobüsleri'nin (İDO) Kadıköy-Bakırköy hattı da Kadıköy'e sağlanan kent içi deniz ulaşım hatlarından bir tanesini teşkil etmektedir. Bu çerçevede Kadıköy-Bakırköy hattı talep ve kapasite bağlamında önemli bir kent içi ulaşım fonksiyonunu yerine getirmektedir. Bununla beraber, Kadıköy; Avrasya Tüneli projesinden doğrudan ve önemli ölçekte etkilenmiştir. Yapılan projelerin yanısıra, yapılması düşünülen projeler de bulunmaktadır. Gündemdeki önemli bir yenileme çalışması ise zaman zaman değişikliğe uğrasa ve gündemden düşse de birçok zaman tekrar belirleyici olan Harem-Haydarpaşa yenileme projesidir ve bunun oldukça büyük bir alanı etkilemesi beklenmektedir. Bu bağlamda Kadıköy merkezli olarkten mücavir alanı ile entegre, ana aktarma merkezini teşkil eden ve iyi bir türler arası sirkülasyonu temin eden rahatlamış ve estetik olarak iyileşmiş ve hızlı gelişim

- Karayolu
- Raylı Sistemler
- Deniz Ulaşımı

- Farkındalık etkinlikleri
- Trafik denetleme işleri

olmak üzere dört başlıkta toplayabiliriz.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ulaştırma türü dağılım konusunda şüphesiz en büyük pay karayollarına aittir. Ülkemizde nüfusun yaklaşık olarak %90'ı şehirlerde yaşamaktadır dolayısı ile de ileri düzeyde bir şehirleşmeden bahsedilebilir. Bu oranda özellikle son 20 yıllık süreçte, artış ivmelenecek devam etmiş ve oransal olarak Avrupa Birliği'ne (AB) yakınsamıştır. Bütün bunların sonucunda ileri düzeylerde trafik hacimleri ile karşılaşmaktadır zira şehirleşmede artış ortaya çıkmış olup şehir bölgelerinin başlangıç ve bitiş noktaları arasında da çok sayıda alternatif meydana gelmiştir. Bunun ile de beraber ekonomik büyüme ve satın alma gücü artışına paralel olarak talep ve tüketim artmış olup özel otomobil sahipliği iki misline yükselmişti ve de özel araç sahipliği halen Avrupa'nın büyük kentlerinin gerisinde olmasına karşın ciddi miktarlara ulaşmış bir durumdadır. Şehir içi ulaştırmanın sürdürülebilirliği bağlamında problemler öne çıkmıştır çünkü trafik tıkanıklığında bahse konu nedenler ile ciddi artışlar meydana gelmiştir (Kızıltaş, M.Ç. ve Altan, M.F. 2017).

Özel otomobillerdeki artış, nüfus yoğunluk düzeylerinin yüksek seyri ve iş etkinlik miktarları ile çeşitlilikleri şehir merkezlerindeki trafik tıkanıklıklarının asli nedenlerini teşkil etmektedir. Yollardaki aşırı yüklemeler, şişe boynu teşekkülleri ve geçici trafik tıkanıklıklarında, yolcu ve yük ulaştırmasındaki halen devam eden dengesiz karayolu türünün önemli bir etkisinden bahsetmek mümkündür. Söz konusu özel otomobil sahiplenme trendi bu şekilde sürdürüldüğü mevcut trafik tıkanıklığı potansiyeli her zaman ağırlaşma potansiyelini korur. Öte yandan ise kısıtlı ekonomik imkanlara ve fiziksel engellere haiz toplum kesimleri başta olmak üzere indirgenmiş yoğunluk ve fiziksel sınırlılıklar ayrıca lokal toplu ulaştırmayı erişim miktarlarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu konularda kapsamlı bir çalışma yapılmaması durumunda, sonraki yıllarda, zaten hali hazırda sorun olan trafik problemlerinin daha da artacağı öngörülebilmektedir. Bu da ulaşım konusunda oldukça büyük bir problem olacağını gösterir.

Çeşitli yöntemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Çözüm olarak genel yaklaşım olan yol kapasitesinin artırılmasında, arazi planlaması açısından zorluklarla ve içinden çıkılmaz durumlarla karşılaşılması için şehrin gelecek perspektifi bağlamında hâlihazırda ulaştırma ağlarının daha verimli ve etkili bir şekilde istifadesi yeni otoyolların yapılandırılmasından daha ziyade bir öneme sahip olmaktadır. İnşaat mühendisliği için hâlihazırda altyapılarda verimlilik artışı çalışmaları kısa vadeli tedbirler bağlamında telakki edilmektedir. Bu anlamda trafik ile ilgili yapıların münhasıran alanlarındaki kısa erimli çalışmaları ise şu şekilde ele alınabilir: Mevcut şartların iyileştirilerek ulaşım sistemlerinin daha da verimli bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi, yeni ulaşım ağlarının yapılmasından çok daha uygun ve şehrin geleceği için daha isabetli olacaktır. Ulaşım mühendisliğinin kısa vadeli uygulamalar sınıfında bulunan verimliliği artırma çalışmalarını, örneğin trafik biriminde;

- Geometrik standartlar ve iyileştirmeleri
- Trafik sinyalleri,

Ülkemizde meydana gelen kazaların oldukça büyük bir kısmı karayollarında olduğu bilinmektedir. Bu kazaların da oldukça büyük bir kısmı sürücü hatasından meydana gelmektedir. Trafik denetimi çalışmaları, yol güvenliğinin artırılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar ise T.C. Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) ve TSK Jandarma Genel Komutanlığı marifeti ile icra edilen işleri teşkil etmektedir. Sıkça denetim yapılması sonucu sürücülerin daha dikkatli davrandığı ve kurallara uyma konusunda pozitif artışın olduğu anlaşılmaktadır (Lee vd. 2012)

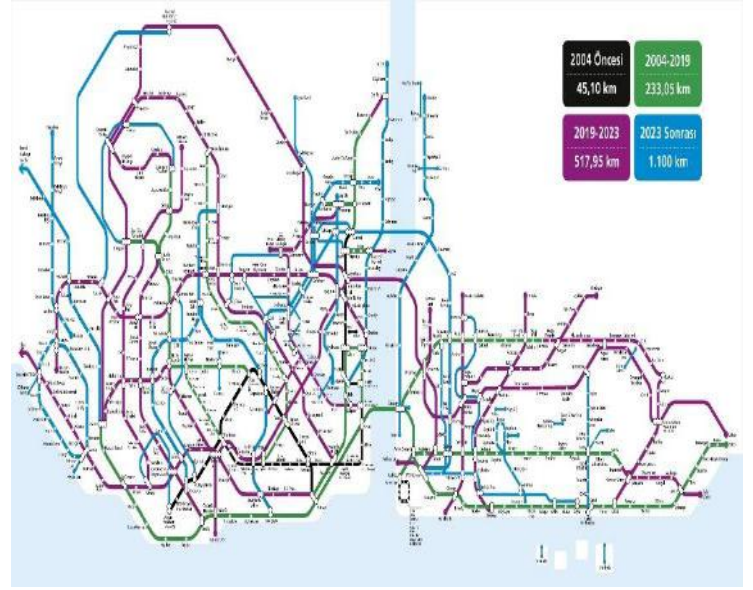
Denetimlerin düzenli ve sürekli yapılması kaza istatistiklerinde olumlu ölçüde düşüş yaşanmasına katkıda bulunmasının yanında, trafikteki kapasite miktarını da dolaylı olarak artırmaktadır. Ancak, denetimlerin insan gücüyle yapılması ve farklı birimlerin zaman zaman birbirinden habersiz uygulama yapması sonucunda denetim çalışmalarında birçok noktada yetersiz kalınmaktadır. Teknolojiden de faydalanılarak her an denetim yapıldığı hissi uyandırmak, sürücü hareketlerinin iyileştirilmesi ve denetim etkinliği konusunda önemli bir adım olarak düşünülebilir. Türkiye'de öncü belediye olarak İBB bünyesinde şehir trafiğinin yolcu, yaya ve sürücüler için daha güvenli bir hal almasının bir parçası olarak trafik müdürlüğü tarafından ilgili sorumluluk alanındaki yollar dâhilinde Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS) 2006'da kurulmuş olup etkin bir şekilde devreye alınmıştır. Sistem işlerlik şekline bakılacak olur ise T.C. EGM ortaklığında polislerin ceza işlem yetkisinden faydalanmak sureti ile ihlallerin tespit ve işlemi şeklinde EDS'nin icra edildiği görülmektedir. Tabi bu konuda en çok tavsiye toplu ulaşım yönlendirme konusundadır. Toplu ulaşım trafik güvenliğindeki artışa ciddi bir katkı temin edebilir olup bunun nedeni ise konforlu ve daha sistematik bir yapıyı ortaya çıkartabilme imkânı olup bu da denetleme kabiliyeti ve güzergâh disiplini daha yüksek bir hat üzerinde daha az yer işgal ediyor olması ile bağlantılı olarak değerlendirilebilir bir husustur. Türkiye'de olduğu gibi İstanbul özelinde de arazi yapısı, tarihi, coğrafi konumu, beşeri yapısı, ekonomisi, kültürü ve benzeri özellikleri itibarıyla günümüzde kablolu sistemler, denizyolları, demiryolları ve iç suyolları gibi çoklu türü dağılıma uygun ulaşım araçlarına ait yatırımlara oldukça elverişlidir. Geçtiğimiz yıllara bakıldığında İstanbul'un göç verdiğini ancak, 2019 yılında oldukça fazla göç aldığı söylenebilir. Tablo 1 'deki verilere göre net göç hızı, pozitif olma eğiliminde devam etmektedir. Genellikle göç kaynaklı yerleşimlerin "memleketli, hemşeri mahallesi" olarak tabir edilen bir anlayışla belirli bölgelerde yoğunlaşması ve nüfusa karşı iş istihdamının farklı konumda olmasından kaynaklanan durum, zaten yoğun olan İstanbul'da ulaşım problemlerinin katlanması, toplu taşıma araçlarına olan ihtiyacın artması anlamına gelmektedir.

Tablo 1. İstanbul Göç Bilgileri (TÜİK 2020)

Dönem	Aldığı göç	Verdiği göç	Net göç	Net göç hızı (%)
2016	369582	440889	-71307	-4,81
2017	416587	422559	-5972	-0,4
2018	385482	595803	-210321	-13,86
2019	498676	378305	120371	7,79

Bu ve benzeri sorunların çözümünün verimli çalışan ve sorunları en aza indirgenmiş bir Ulaştırma Sistemi ile sağlanabileceği açıktır. Bütüncül bir yaklaşımı gerektiren sorunun çözüm adımları, ekonomik büyümeyle birebir ilişkili olan ulaştırma sistemlerinin yanı sıra, şehirleşme, ekonomik, sosyal, kültürel ve benzer etmenler de dikkate alınarak, mevcut büyümenin niteliksel olarak da içinin doldurulması ile başarılı sayılabilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, oldukça büyük bir yatırım ve sorunun çözümündeki en büyük adımlardan biri olan ve işleme 2013'te alınan Marmaray hattı kentsel, ulusal ve bölgesel ulaştırma üzerinde ciddi tesir oluşturabilecek bir potansiyele haizdir. Marmaray'ın entegre bir yaklaşım ile telakki edildiğini ise bu hatta bağlanan ve bağlanması planlanan milli yüksek hızlı tren (YHT) hat projelerinin ve kentteki yoğun kent için raylı sistem projelerinin varlığında, miktarından ve bütüncül ağ planlarından anlamak mümkündür. Bu bağlamda Marmaray'ın tam kapasiteye haiz çalışmasının, buna paralel olarak açılan ve açılacak olan kent için ve kentler arası raylı sistem hatları dâhilinde de entegrasyonları çerçevesinde ne kadar kapsayıcı bir alandaki yolculuk potansiyeli üzerinde tayin edici olduğu ortadadır. Marmaray yolculuk güzergahının 2019 yılında tam kapasite Gebze-Halkalı metro işletimi ile birlikte ulaştığı yolculuk hattı da şekilde gösterilmektedir. Söz konusu tam kapasite çalışmalarının bitirilmesiyle beraber Halkalı'dan Gebze'ye Küçükçekmece, Ataköy, Kazlıçeşme, Ataköy, Söğütluçeşme, Bostancı ve Maltepe istasyonlarının kat edilmesi sureti ile 105 dakikalık bir süre içerisinde erişim mümkün olmaktadır. Mevcut durumda zaten İstanbul-Ankara yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı Pendik üzerinden tam kapasite Marmaray hattına bağlanmaktadır. Ayrıca mevcut durumda inşa halinde olan Halkalı-Edirne yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının tamamlanıp işleme alınması sureti ile Marmaray'a ikinci YHD hat bağlantısı da gerçekleştirilmiş olacaktır. Halkalı'dan Gebze'ye kadar tüm istasyonlar dâhilinde 77 kilometrelik bir seyir uzunluğundan söz edilebilir. Yenikapı-Taksim metrosu ise 2014 yılında bağlantısı tamamlanmak sureti ile Kabataş-Bağcılar raylı sistemi üzerinden de Marmaray ile bir bütünleşme gerçekleştirmiştir (Şekil 3). Aşağıdaki şekilde, mevcut ve planlanan metro hatları verilmiş olup, 2023 itibariyle planlanan hatların (Şekil 4) tamamlanmasıyla birlikte İstanbul'un ulaşacağı metro hattının kilometresi New York, Tokyo ve benzeri dünya mega kentleri ile birlikte değerlendirilecek düzeyde ulaşacaktır.

Şekil 3: Marmaray Yolculuk Güzergâhı ve Etki Alanı (Altan, M.F. ve Kızıltaş, M.Ç. 2018)



Şekil 4: Tamamlanan ve Tamamlanması Öngörülen Raylı Sistem Hatları (Ulaşım Emlak Kulisi 2019)

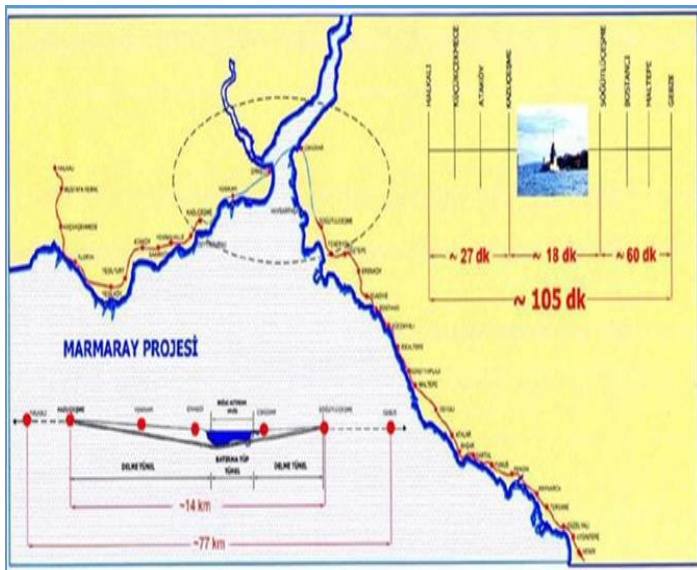
2023 itibariyle bu hatların tamamlanmasıyla İstanbul'da bulunan metro uzunluğu, bu konuda kendinden sıkça söz ettiren diğer büyük dünya şehirleri ile eşdeğer bir seviyeye ulaşacağı söylenebilir. Yapılan çalışmaların tüm raylı sistemlerin yanında türel dağılımda belirtilen ulaşım sistemleriyle entegre halde çalışması sonucunda İstanbul için trafik sorununun çözümünde oldukça verimli bir iyileştirme yapılmış olacaktır.

Bütüncül bakış açısıyla planlanan bu sistemlerin işletmesi de yapımı kadar önemlidir. İşletimde kullanılan akıllı sistemler ülkemizde genellikle yabancı menşeli üreticilerden elde edilmektedir. Ancak özellikle savunma sanayi ve demiryolu alanında önemli Ar-Ge çalışmaları yapan bir yerli firmamız raylı sistem araçları için birçok akıllı sistemi geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir. Bu çalışmalar yüksek hızlı trenler de dâhil, birçok araçta başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Yerli sistemlerin kullanılması ile daha başarılı ve kendi yapımıza hitap eden ulaşım sistemleri ile ilgili çalışmalar sürdürülebilir.

4. Sonuç

Ulaşım konusunda en az yararlanan alan deniz ulaşımıdır. İstanbul türel dağılımı incelendiğinde, karayolu çok yüksek paya sahipken, karayolunda da 'özel otomobil' kullanım oranı oldukça fazladır. Bu durum trafikteki güvenliğin doğal olarak azalmasına ve vatandaşın konfor, güvenlik ve dakiklik gibi parametrelerden sürekli olarak yararlanamaz hale getirmektedir.

Bütün ulaşım modlarında toplu ulaşımı aktif hale getirmek için entegre, konforlu, dakik, güvenli bir hizmet sunmak kısa ve uzun vadede oldukça etkili sonuçlar doğurabilir. Örneğin, genel verilere bakıldığında Şehir Hatları Genel Müdürlüğü'nün rakamlarına göre şehir içi deniz yollarımızın ancak 1/10 oran ile hizmet verdiği görülmektedir. En basit çözümlerle bile bu kapasitenin, %50'lik düzeylerde kullanılmasının sağlanması ile yaklaşık 1.000.000 yolcunun deniz yolunu tercih etmeye yönlenebilir. Ortalama, bir otomobilin 1-2 yolcu taşıdığı düşünüldüğünde, bu çözümlerle bile İstanbul'da trafikten yarım milyon civarında aracın çekilmesi anlamına gelir (Litman, T. 2013).



Maalesef, İstanbul türel dağılımında deniz ulaşımı %20-25 seviyelerinde olması gereken iken, hali hazırda %1-2'lik bir seviyeyle bunun çok gerisinde kalmıştır. Bu durum, ulaşım bazlı olarak “denizin kıyısında denize bakmadan yaşamak” gibi bir söz ile örneklenebilir. Bu konuda yetkili kişilerin acilen çözüm üretmesi, sürdürülebilir ve yaşanılabilir bir İstanbul için elzemdir. Daha önceki dönemlerde uygulanan, Boğaz’da kıyıya boyunca seferler (Beşiktaş-Ortaköy-Arnautköy-Bebek v.b.) gerekli olduğu kadar, her ne kadar istenen sonuçlar alınmasa da daha planlı ve çok katımlı bir çözüm anlayışla devam ettirilseydi çözüme de katkı sunabilecekti. İstenilen sonuçların alınmamasında kıyı boyunca boyunca sefer yapacak olan araçların boyutları, talebin iyi analiz edilmesi ve buna benzer durumlar oldukça önem kazanmaktadır. Örneğin, boğaz sahil boyunca birçok noktada yeterli genişlikte olmayan karayolu hatları üzerinde özellikle de yoğun saatlerde; yaya olarak on dakika civarında olan Beşiktaş-Ortaköy güzergâhı araçla birkaç kat daha uzun sürebilmektedir. Bu açıdan Beşiktaş’tan iyi tasarlanmış bir sürecin ve hizmetin sonucu olarak, minimum bekleme süreleriyle kalkacak optimum büyüklükteki bir Şehir Hatları aracı 15-20 dakika civarında bir yolculuk sürecinde, gerekli duraklara uğrayarak yolcu taşıyabilir (Liu, Y. vd. 2007)

Ulaşım sistemlerinde en büyük paya şüphesiz karayolu ulaşımı sahiptir. Karayolu toplu taşıma sistemlerine örnek olarak Güney Amerika ülkeleri başta olmak üzere küre ölçeğinde başarılı uygulamaları olan hızlı otobüs taşımacılığının (HOT_BRT) İstanbul’da ki uygulaması olan metrobüs verilebilir olup bu hat zaman tasarrufu başta olmak üzere çeşitli hizmet parametreleri itibari ile kentte öne çıkan bir ulaşım türünü teşkil etmiştir. Metrobüs hattı güvenlik, emniyet ve konfor özellikleri nedeni ile tartışma konusu olup tam kapasite ile süreden ciddi tasarruflar dâhilinde işletilmektedir. Metrobüs boğazı geçen bir işleme sahip olup kentin batı doğu aksındaki en önemli arterinde yüksek düzeylerdeki yolculuk taleplerini karşılamaktadır.

Bunun yanında denizi çevreleyen ve denizle çevrili bir İstanbul için deniz ulaşımı da oldukça önemli olmalıdır. Ancak günümüzde türel dağılımda, denizyolu %20-25 gibi beklenen seviyenin çok altında olup %1-2 civarında görülmektedir. Kıyıya paralel hat vb. uygulamalar, doğru arz - talep dengesinin oluşturularak, bütüncül bir yönetim anlayışıyla yeniden hayata geçirilmelidir. Sadece şehir hatları çalışma kapasitesi %10 gibi düşük bir kapasiteden %40-50'lere çıkarılması ile boğaz köprülerinde ve bağlantılarındaki trafiği önemli ölçülerde düşürecektir (Han, B.M. vd. 2002). Aşağıda Şekil 5’te 2010 yılı günlük yolculuk değerlerinin türel dağılımı, 2014, 2018 ve 2023 yılları için öngörülen yolculuk değerleri ve türel dağılımı detaylı olarak verilmiştir.

Şekil 5’te belirtildiği üzere; 2010’da İstanbul’da verilen yolculuk değerlerinde türel dağılımda karayolu ulaşım türünün %78,4’lük ağırlığı olup 2014’te %67,7’ye, 2018’ de %50,7’ye, 2023’te %26,5’a düşmesi öngörülmektedir. 29 Ekim 2013 itibariyle kısmen açılışı yapılan Marmaray’ın 2014 itibariyle türel dağılımda %7,4, 2018’de %7,9, 2023’te ise %5,7’lik paya ulaşması öngörülmektedir (Gerçek, H. ve Demir, O., 2015).

Hareketlilik Değerleri

2010 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			2014 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ		
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCU/GÜN	ORAN%	ULAŞIM TÜRÜ	YOLCU/GÜN	ORAN%
LASTİK TEKERLEKLİ	5.541.466	78,4%	LASTİK TEKERLEKLİ	10.715.695	67,7%
RAYLI	1.335.372	18,9%	MARMARAY	1.170.178	7,4%
DENİZ	195.056	2,8%	RAYLI	3.745.397	23,7%
TOPLAM	7.071.894	100,0%	DENİZ	186.575	1,2%
2018 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ			2023 YILI GÜNLÜK YOLCULUK DEĞERLERİ		
ULAŞIM TÜRÜ	YOLCU/GÜN	ORAN%	ULAŞIM TÜRÜ	YOLCU/GÜN	ORAN%
LASTİK TEKERLEKLİ	8.427.620	50,7%	LASTİK TEKERLEKLİ	7.739.228	26,5%
MARMARAY	1.312.880	7,9%	MARMARAY	1.673.092	5,7%
RAYLI	6.722.825	40,4%	RAYLI	19.530.944	66,9%
DENİZ	170.071	1,0%	DENİZ	240.034	0,8%
TOPLAM	16.633.396	100,0%	TOPLAM	29.183.298	100,0%

Şekil 5: 2010-2014-2018-2023 Hareketlilik Değerleri ve Türel Dağılım Öngörülleri (Gerçek, H. ve Demir, O., 2015)

Trafik Güvenliği ile ilgili çalışmalar, ulaşım modları arasındaki dengeli dağılım ve entegrasyon baz alınarak yapılmalıdır. Bu açıdan, tercih edilen mod ne olursa olsun, toplu ulaşımın güçlendirilmesi, ulaşım araçlarıyla çeşitlendirilmesi ve öne çıkarılması oldukça önemlidir. Toplu ulaşımın tercih edilebilirliği, ihtiyacı karşılayabilir olması (arızın yönlendirilmesi vb.), yenilikçi ve teknik donanımlı olması ve hizmet parametreleri (dakiklik, konfor, güvenlik, maliyet vb.) ile doğrudan ilişki içerisindedir. Örneğin, tüketim kültürü açısından Japonya’daki bir işadamlarının metroyu kullanması olağan karşılanmaktadır. Ancak, bahsedilen toplu ulaşımında vatandaşın güvenliği ve konfor gibi konular başta olmak üzere hizmet kalitesi üst düzeyde sağlanmaktadır. Bu durum, bütüncül algının ve entegrasyon yaklaşımının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Kızıldaş, M.Ç., 2016).

5. Teşekkür

Yahyâ Âlparslan Kızıldaş’a teşekkür ederim.

Kaynakça

- T.C. 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012, Ankara
- Kızıldaş, M. Ç. “Raylı Sistemlerde Küresel Ölçekteki Gelişmeler ve İstanbul-3, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- Chen, Z., (2017) Impacts of high-speed rail on domestic air transportation in China. J. Transp. Geogr. 62, 184–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.04.002>.

- Sürdürülebilir Kent içi Hareketlilik Planları (SUMP) Çalıştay Raporu, 2015, Yaşanabilir Şehirler Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2018, A Review In Term Of Service Parameters On The Modal Choice sand Mass Transport, İzmir
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., 2017, Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- Bachand-Marleau, J., Lee, B., El-Geneidy, A., 2012. Towards a better understanding of the factors influencing the likelihood of using shared bicycle systems and frequency of use. *Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board* 2314, 66e71.
- İstanbul Göç Bilgileri (TUİK, 2020)
- Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., 2018, Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, ULAKBİM
- Ulaşım, Emlak Kulisi (2019). <https://emlakkulisi.com/ev-alacaklar-bu-lokasyonlara-dikkat/602286>, (Erişim Tarihi: 22.05.2020)
- Litman, T., 2013, Understanding transport demands and elasticities, How prices and other factors affect travel behavior. Victoria Transport Policy Institute: Litman <http://www.Vtpi.Org/elasticities>.
- Liu, Y., Zhang, X., Zeng, J., Zhang, X., Zhang, P., & Zhong, Z. (2007). Technology of Sound Intensity Theory in High Speed Railway Car Noise Controlling. In *International Conference on Transportation Engineering 2007* (pp. 1243-1248).
- Wong, W. G., Han, B. M., Ferreira, L., Zhu, X. N., & Sun, Q. X. (2002). Evaluation of management strategies for the operation of high-speed railways in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(3), 277-289.
- Gerçek, H., Demir, O. 2015, Eskişehir Ulaştırma Ana Planı Revizyon Çalışması
- Kızıldaş M. Ç., 2016, “Avrupa Birliği ve Ulaştırma Politikaları-5”, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8> (Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).



Türkiye' de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında İnşaat Sektörü Analizi

Hakan Ceylan^{1*}, Burçak Yavuz²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8099-0002), hakanceylan@isparta.edu.tr

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1770-8609), burcakyavuuz@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 12 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 30 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1102452)

ATIF/REFERENCE: Ceylan, H., & Yavuz, B. (2022). Türkiye' de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında İnşaat Sektörü Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 423-428.

Öz

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), faaliyetlerin çevresel etkileri için geliştirilmiş bir çevre yönetim aracıdır. İnşaat faaliyetleri de değişik boyutlarda çevresel etkileri olabilen bir alandır. Bu çalışmada ülkemizdeki 2015-2020 yılı arasındaki ÇED başvuruları, hem genel hem de inşaat sektörü açısından analiz edilmiştir. ÇED başvuruları arasında inşaat sektörünün maden, enerji, tarım-gıdadan sonra, %11 ile 4. sırada yer aldığı belirlenmiştir. İnşaat sektörüne ait başvuruların %79'u ÇED olumlu kararı alırken %21'lik kısmı iade ile sonuçlanmıştır. Söz konusu dönemde inşaat sektörüne ait faaliyetler sınıflandırıldığında en çok başvurunun %32 ile baraj, gölet vb. alanlarda, en az başvurunun ise demiryolu inşaatlarında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirme, ÇED Kararları, İnşaat sektörü.

Construction Sector Analysis in Environmental Impact Assessment Practices in Turkey

Abstract

Environmental Impact Assessment (EIA) is an environmental management tool developed for the environmental impacts of activities. The construction sector is also an area that can have environmental impacts in different dimensions. In this study, the EIA applications in our country between the years 2015-2020 were analyzed in terms of both general and construction sector. Among the EIA applications, it has been determined that the construction sector ranks 4th with 11% after mining, energy and agriculture-food. While 79% of the applications belonging to the construction sector received an EIA positive decision, 21% of them resulted in returns. In the said period, when the activities of the construction sector are classified, the most applications are dams, ponds, etc. with 32%. It has been determined that the least application is in railway constructions.

Keywords: Environmental impact assessment, EIA decisions, Construction industry.

* Sorumlu Yazar: burcakyavuuz@gmail.com

1. Giriş

İnsanoğlu, tarihi boyunca doğa ile mücadele içinde olmuştur. İlk başlarda doğanın sunduğu olanaklar ile yetinse de ilerleyen zamanlarda doğayı inşa etme gayretinde bulunmuştur. İnsanlığın var oluşuyla orantılı olarak inşaat faaliyetleri başlamıştır. İnşaat faaliyeti çok yönlüdür. Barınma ihtiyacının karşılanması, iletişim, ulaşım, üretim tesisleri, artan nüfusla beraber bina inşaatlarının yapılması vs. gibi faaliyetler insanların dünyada yaşadığı süre zarfında her zaman devam edecektir (Eşkinat ve Tepecik, 2012). Ayrıca teknolojik gelişmeler, sanayileşme yeni faaliyetleri gündeme getirmektedir. Devam eden ve edecek olan bu sanayileşme ve gelişme adı altında yapılan faaliyetlerin çevrede oluşturacağı olumsuz etkiler üzerinde yeterince durulmamaktadır (Gökçe ve Barış, 2015).

Devam etmekte olan inşaat projelerinin sonucunda birçok çevresel etki (toz, gürültü, doğanın tahribi, doğal kaynakların bilinçsiz tüketimi, görsel kirlilik vb.) görülmektedir. Bunun yanında projeler sırasında birçok atık çıkmakta ve verimli atık yönetiminin yapılmamasından ötürü toprak, hava, yeraltı suları gibi değerli kaynaklarımız olumsuz etkilenmektedir.

Gün geçtikçe artan bu olumsuz etkiler insanlığın yaşamının her noktasında tehdit unsuru oluşturmaktadır. Bu sebeple ekonomik büyümeyi hedeflerken doğal kaynakların dengeli ve düzenli kullanılması gelecek nesiller için yaşanabilir bir çevre bırakılması konusu göz ardı edilemez bir konu haline gelmiştir (Gül ve Ceylan, 2002).

Faaliyetler sonucunda ortaya çıkan olumsuz çevresel etkileri önlemek çoğu zaman sorunlu hale gelmektedir. Bu nedenle faaliyetler sonucunda meydana gelmiş olan sorunları çözmek yerine proaktif bir yaklaşımla faaliyet öncesinde, ileride meydana gelebilecek olan olumsuz etkileri değerlendirip önceden önlem almak daha etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Gökçe ve Barış, 2015). Bu bağlamda Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) bu süreçleri yönetim aracı olarak kullanılmaktadır.

ÇED, faaliyetler sonucu çevrede olumlu ve olumsuz meydana gelebilecek etkileri belirleme, oluşacak olumsuz etkileri önleme veya minimuma indirme için yapılan çalışmalar bütünüdür. ÇED, gerçekleştirilecek faaliyetlerde ileride oluşabilecek çevresel etkilerin planlama aşamasında sistemli bir şekilde araştırılması, değerlendirilmesi, olumsuz etkilerinin önlenmesi, azaltılması için idari açıdan çevre ve doğayı korumak için gerekli kararların alınmasını sağlayan bir araçtır. (Yücel, 2001). ÇED süreci, uzmanlaşmış kişiler tarafından bilimsel metodlarla faaliyetin fiziksel, ekolojik ve sosyo-ekonomik yönlerinin değerlendirilmesi, şiddetlerinin ve olumsuz etkilere karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesi gibi çeşitli bileşenlerden oluşur (Uslu, 1994).

ÇED 50 yıla yakın süredir öncelikle ABD ve AB ülkeleri olmak üzere dünyada uygulanmakta olan en etkin çevre yönetim araçlarından biridir (Dikmen, 2019). ÇED ilk olarak ABD tarafından 1 Ocak 1970 tarihinde Ulusal Çevre Politikası Kanunu National Environmental Policy Act-NEPA ile gündeme getirilmiştir (Dervişoğlu, 2010). Türkiye’de ise ilk Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği 07 Şubat 1993 tarih ve 21489 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yürürlüğe giren bu yönetmeliğin uygulanması esnasında eksikler tespit

edilmiş ve 23 Haziran 1997 tarih 23028 sayılı Resmi Gazete’de yenilenecek yayımlanmıştır. Bu düzenlemelerin ardından 06 Haziran 2002, 16 Aralık 2003, 17 Ağustos 2008, 03 Ekim 2013, 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete’de tekrardan değişiklikler yapılarak revize edilmiştir.

ÇED Yönetmeliği’nin ekinde ÇED sürecine tabi tutulacak inşaat ile ilgili faaliyetler, EK-I ve EK-II şeklinde 2 bölümde belirtilmektedir (Anonim, 2019).

-EK I Listesi Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak İnşaat faaliyetleri Listesi

- Yollar ve havaalanları;
- a) 100 km ve üzeri demiryolu hatları,
- b) Pist uzunluğu 2100 m ve üzeri olan havaalanları,
- c) Otoyollar ve devlet karayolları,
- ç) Şehirlerarası dört ve üzeri şeritli karayollarının yapımı.
- Su yolları, limanlar ve tersaneler:
- a) 1350 DWT ve üzeri ağırlıktaki deniz araçlarının geçişine izin veren kıta içi suyollarının yapımı ve kıta içi su trafiği için yapılacak olan limanlar,
- b) 1350 DWT ve üzeri ağırlıktaki deniz araçlarının yanaşabileceği ticari amaçlı liman, iskele, rıhtım ve dolmenler,
- c) Tersaneler,
- ç) 24 m ve üzerinde yat veya teknelerin imalat, bakım ve onarım hizmetlerinden birini yapan tesisler,
- d) Gemi söküm yerleri,
- e) Yat limanları,
- 10 milyon m³/yıl ve üzeri yeraltı suyu çıkarma veya suyu yeraltında depolama projeleri,
- Boru ile içme suyu taşımaları dışında kalan, akarsu havzaları arasında 10 milyon m³/yıl ve üzeri su aktarma projeleri.
- Göl hacmi 10 milyon m³ ve üzeri olan baraj veya göletler,
- Çimento fabrikaları

-EK II Listesi Seçme-Elementer Kriterleri Uygulanacak inşaat faaliyetleri Listesi (EK-I Listesinde yer alan alt sınırlar bu listede üst sınır olarak alınır)

- Kıta içi su yollarının yapımı, (Ek-I listesinde yer almayanlar)
- Ek-I listesinde yer almayan, ticari amaçlı liman, iskele, rıhtım ve dolmenler, (güneşlenme, sportif amaçlı iskeleler ve şamandıralar hariç)
- Ek-I listesinde yer almayan demiryolu hatları, (Bağlantı/İltisak hatları hariç)
- Şehir içi yolcu taşımaya yönelik tramvay, metro, hafif raylı taşıma sistemleri ve benzeri),
- Havaalanları, (Ek-I listesinde yer almayanlar)
- Turizm konaklama tesisleri: Oteller, tatil köyleri, turizm kompleksleri vb. (100 oda ve üzeri),
- Toplu konut projeleri (200 konut ve üzeri)
- Alışveriş merkezleri (10000 m² ve üzeri kapalı inşaat alanı)
- Kapasitesi 50000-150000 eşdeğer kişi ve/veya 10000-30000 m³/gün olan atık su arıtma tesisleri.

EK I grubuna tabi olan faaliyetler için ÇED raporu hazırlanarak süreç sonucunda “ÇED Olumlu” ve “ÇED Olumsuz” kararı verilir. “ÇED Olumlu” kararı verilen faaliyetler gerekli izinleri alarak yatırıma başlarlarken, “ÇED Olumsuz” kararı alınan faaliyetlerde uygulanmasında sakınca olduğunu ve yatırıma başlanmamasını ifade eder.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 2015-2020 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na EK-I kapsamında Çevresel Etki Değerlendirmesi için başvuru yapan işletmeler tespit edilerek inşaat sektörünün durumu irdelenmiştir. Öncelikle başvurular sektörel olarak sınıflandırılmış daha sonra inşaat sektörünün durumu analiz edilmiştir. Tüm başvurular arasında inşaat yatırımları ile ilgili olanlar incelenerek ÇED başvurularının türü, yılı, illere göre dağılımı ve sonuçları araştırılmıştır. Çalışmada Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verilerinden yararlanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. ÇED başvuruları, sektöre göre, maden, enerji, tarım-gıda, inşaat, çevre-atık, tekstil, sanayi, kimya olarak 8 ana başlıkta sınıflandırılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait başvuru sayılarının sektöre göre dağılımları, olumlu sonuçlanan ve iade edilen başvuru sayıları Çizelge 1'de sunulmuştur (Anonim, 2021).

Tablo 1. 2015-2020 Yıllarında Sektöre Göre ÇED Başvuru Sayıları

(Table 1. Number of Sectoral EIA Applications Fort The Year 2015-2020)

Sektör	Olumlu Sonuçlanan Başvuru Sayısı	İade Edilen Başvuru Sayısı
Maden	739	389
Enerji	504	134
Tarım-Gıda	366	68
İnşaat	269	73
Çevre-Atık	221	41
Tekstil	145	19
Sanayi	98	10
Kimya	40	6
Toplam	2382	740

2015-2020 yılları arasında EK-I kapsamında toplam 3122 adet ÇED başvurusu yapıldığı belirlenmiştir. ÇED başvuruları incelenerek 8 farklı sektöre ayrılmıştır. Başvurusu yapılan 3122 adet ÇED başvurularının 2382 adedi olumlu sonuçlanırken 740 adedi olumsuz sonuçlanmıştır. Tüm sektörlerdeki başvuruların %23,7'si olumsuz veya iade ile sonuçlanmıştır.

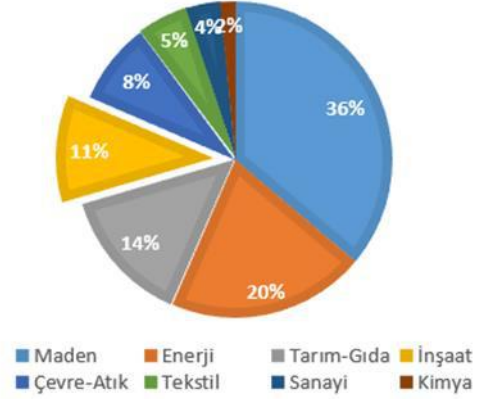
2015-2020 yılları arasında en fazla başvuru maden sektöründen alınmış, en az başvuru ise kimya sektöründen alınmıştır.

Tüm sektörler içerisinde inşaat sektörünün yerine bakılacak olursa 342 başvuru içerisinde 269 adedi olumlu sonuçlanırken 73 adedi olumsuz sonuçlanmıştır. Tüm sektörler arasında inşaat sektörü 4. sırada yer almaktadır.

Çizelge 1'deki sayısal veriler ayrıca Şekil 1'de sektörlere göre yüzdesel olarak verilmiştir.

Şekil 1. 2015-2020 Yıllarına Ait Sektörlere Göre ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 1. EIA Application Percentages By Sectors For The Years 2015-2020)

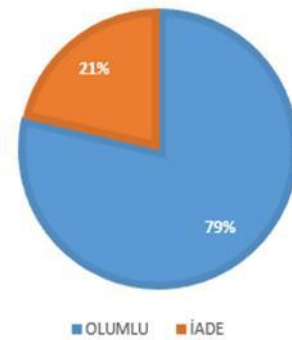


Şekil 1'de verilen yüzdelere göre 3122 adet ÇED başvurusunun %36'sı maden sektörüne, %20'si enerji sektörüne, %14'ü tarım sektörüne, %11'i inşaat sektörüne, %8'i çevre-atık sektörüne, %5'i tekstil sektörüne, %4'ü sanayi sektörüne ve %2'si kimya sektörüne ait olduğu belirlenmiştir.

Tüm sektörler arasında %11'lik paya sahip olan inşaat sektörünün sektörel bazdaki olumlu ve olumsuz sonuçları Şekil 2'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Şekil 2. 2015-2020 Yıllarında İnşaat Sektörüne Ait ÇED Başvuruların Olumlu-İade Yüzdeleri

(Figure 2. Positive-Return Percentages Of EIA Applications From The Construction Sector İn 2015-2020)

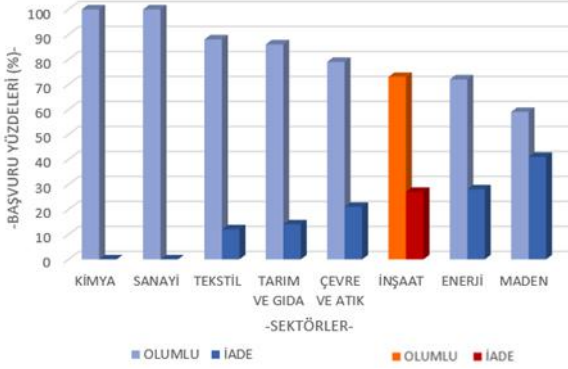


2015-2020 yıllarına ait sektörel bazda elde edilen verilerden inşaat sektörünün yerine bakıldığında ÇED başvurularının %79'u ÇED olumlu kararı alırken %21'lik kısmı iade ile sonuçlanmıştır. Yani söz konusu dönemde inşaat sektörüne ait girişimlerin %21'i gerçekleşmemiştir.

2015-2020 yılları arasındaki ÇED başvuruları sektör bazında ayrıca yıllara göre ayrıntılı irdelenmiştir. 2015 yılına ait ÇED başvurularının olumlu ve iade yüzdeleri sektörel bazda Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3. Sektöre Göre 2015 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 3. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2015 By Sector)



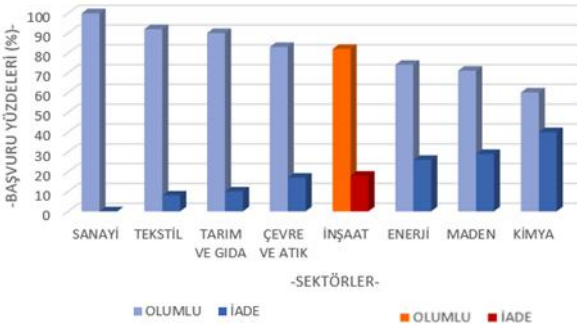
2015 yılında 8 farklı sektörde toplamda 426 adet başvuru alınmıştır. 426 adet başvurunun 315'i olumlu sonuçlanırken 111'i olumsuz sonuçlanmıştır.

2015 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 45 adettir. 45 adet başvurunun 33'ü olumlu sonuçlanmış ve 12'si iade olmuştur. 45 başvurunun %73'ü olumlu iken %27'si iade edilmiştir.

2016 yılına ait olumlu ve iade ile sonuçlanan ÇED kararlarının grafiği Şekil 4'de sunulmuştur.

Şekil 4. Sektöre Göre 2016 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 4. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2016 By Sector)



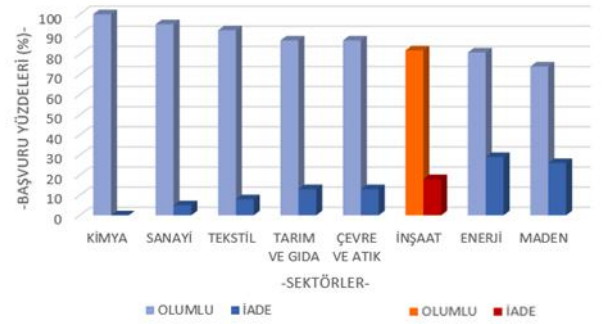
2016 yılında 8 farklı sektörde toplamda 512 adet başvuru alınmıştır. 512 adet başvurunun 405'i olumlu sonuçlanırken 107'si olumsuz sonuçlanmıştır.

2016 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 68 adettir. 68 adet başvurunun 56'sı olumlu sonuçlanmış ve 12'si iade olmuştur. Grafikten yola çıkarak 68 başvurunun %82'si olumlu iken %18'i iade edilmiştir.

2017 yılına ait olumlu ve iade ile sonuçlanan ÇED kararlarının grafiği Şekil 5'de sunulmuştur.

Şekil 5. Sektöre Göre 2017 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 5. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2017 By Sector)



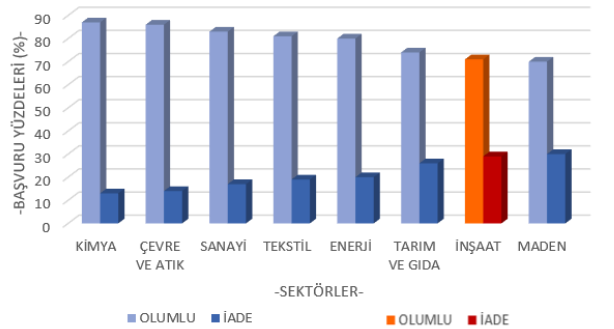
2017 yılında 8 farklı sektörde toplamda 521 adet başvuru alınmıştır. 521 adet başvurunun 431'i olumlu sonuçlanırken 90'i olumsuz sonuçlanmıştır.

2017 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 69 adettir. 69 adet başvurunun 56'sı olumlu sonuçlanmış ve 13'si iade olmuştur. Grafikten yola çıkarak 69 başvurunun %82'si olumlu iken %18'i iade edilmiştir denilebilir.

2018 yılına ait olumlu ve iade ile sonuçlanan ÇED kararlarının grafiği Şekil 6'de sunulmuştur.

Şekil 6. Sektöre Göre 2018 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 6. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2018 By Sector)



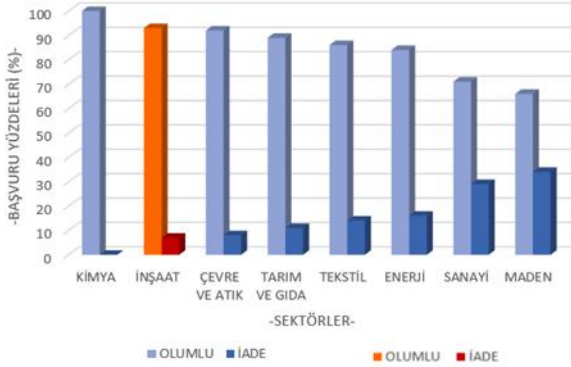
2018 yılında 8 farklı sektörde toplamda 532 adet başvuru alınmıştır. 532 adet başvurunun 402'si olumlu sonuçlanırken 90'i olumsuz sonuçlanmıştır.

2018 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 48 adettir. 48 adet başvurunun 34'ü olumlu sonuçlanmış ve 14'ü iade olmuştur. Grafikten görüldüğü üzere 48 başvurunun %71'si olumlu iken %29'u iade edilmiştir.

2019 yılına ait olumlu ve iade ile sonuçlanan ÇED kararlarının grafiği Şekil 7'de sunulmuştur.

Şekil 7. Sektöre Göre 2019 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 7. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2019 By Sector)



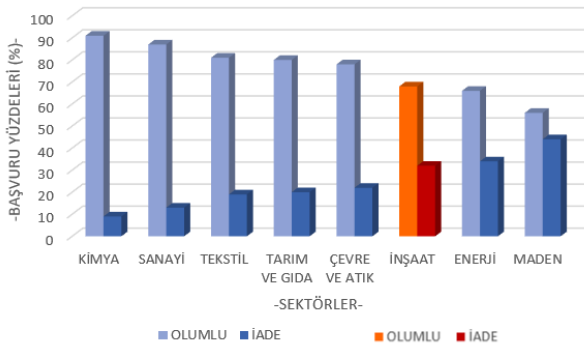
2019 yılında 8 farklı sektörde toplamda 559 adet başvuru alınmıştır. 559 adet başvurunun 439'u olumlu sonuçlanırken 120'si olumsuz sonuçlanmıştır.

2019 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 48 adettir. 59 adet başvurunun 55'i olumlu sonuçlanmış ve 4'ü iade olmuştur. Grafikten yola çıkarak 59 başvurunun %93'ü olumlu iken %7'si iade edilmiştir denilebilir.

2020 yılına ait olumlu ve iade ile sonuçlanan ÇED kararlarının Şekil 8'de sunulmuştur.

Şekil 8. Sektöre Göre 2020 Yılına Ait Olumlu Ve İade İle Sonuçlanan ÇED Başvuru Yüzdeleri

(Figure 8. Percentages Of Positive And Returned EIA Applications For 2020 By Sector)



2020 yılında 8 farklı sektörde toplamda 572 adet başvuru alınmıştır. 572 adet başvurunun 390'ı olumlu sonuçlanırken 182'si olumsuz sonuçlanmıştır.

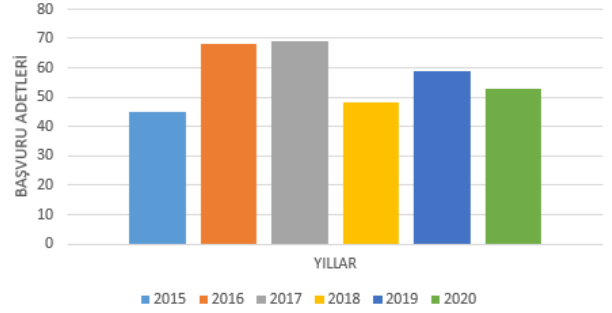
2020 yılında inşaat sektörünün başvuru sayısı 53 adettir. 53 adet başvurunun 35'ü olumlu sonuçlanmış ve 18'i iade olmuştur. Şekil 8'den yola çıkarak 53 başvurunun %68'i olumlu iken %32'si iade edilmiştir. İnşaat sektörüne ait yüzdesel olarak en fazla iade 2020 yılında gerçekleşmiştir.

İNşaat sektörünün tüm sektörler arasındaki yeri irdelendikten sonra kendi içerisindeki faaliyet dağılımını analiz edilmiştir. İnşaat sektöründe yapılan ÇED başvurularının yıllara göre dağılımı Şekil 9'da verilmiştir. 2015 yılında 45, 2016'da 68, 2017 yılında

69, 2018 yılında 48, 2019 yılında 59, 2020 yılında 53 adet başvuru yapılmıştır. Bu verilerden yola çıkarak sektör bazında en fazla başvurunun 2016 ve 2017 yıllarında yapıldığı belirlenmiştir. En az başvuru ise 2015 yılında yapıldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 9. İnşaat Sektöründeki ÇED Başvurularının Yıllara Göre Dağılımı

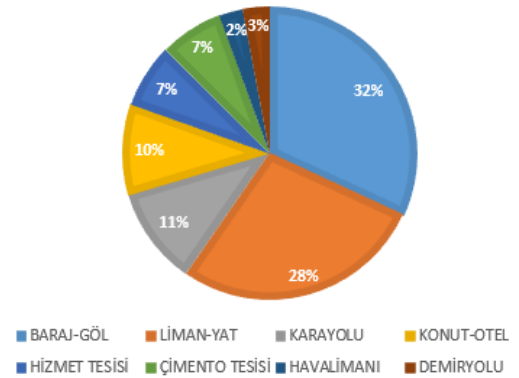
(Figure 9. Distribution Of EIA Applications In The Construction Sector By Years)



İNşaat sektöründe yapılan faaliyetler 8 ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar baraj-göl, liman-yat, karayolu, konut-otel, hizmet tesisi, çimento tesisi, havalimanı ve demiryolu şeklindedir. Hizmet tesisi başlığı, köprü, terminal, alışveriş merkezleri, içme suyu tesisi, atık su tesisi ve sağlık tesislerini kapsamaktadır.

Şekil 10. 2015-2020 Yılları Arasındaki İnşaat Sektörü ÇED Başvurularında İnşaat Faaliyetlerinin Dağılımları

(Figure 10. Distribution Of Construction Activities In The Construction Sector EIA Applications Between 2015-2020)

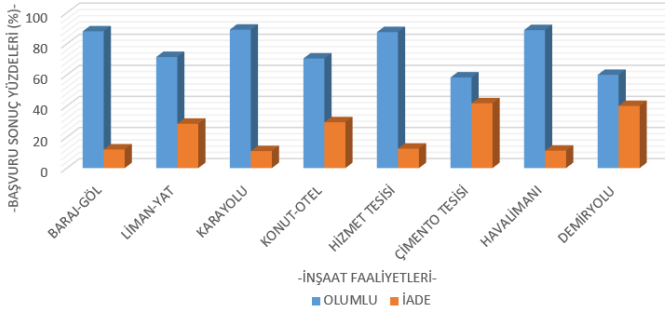


Şekil 10'da 2015-2020 yılları arasında yapılan inşaat faaliyetlerinin ÇED başvuru oranları verilmiştir. 6 yıllık ÇED başvuruları incelendiğinde en fazla yatırım %32'lik oranla baraj ve göl alanında yapılmıştır. En az yatırım ise %2'lik oranla havalimanı inşaatlarında yapıldığı belirlenmiştir.

Şekil 11'de ise 2015-2020 yılları arasında inşaat sektöründe 8 ana başlıkta incelenen inşaat faaliyetlerinin ÇED başvurularında olumlu ve iade sonuçları olmak üzere analizleri verilmiştir.

Şekil 11. 2015-2020 Yıllarına Ait İnşaat Sektöründe Faaliyete Göre ÇED Olumlu Ve İade Sonuçları

(Figure 11. EIA Positive And Return Results By Activity In The Construction Sector For The Years 2015-2020)



Şekil 11'e göre 2015-2020 yılları arasında baraj ve göl faaliyetinde 109 adet başvuru olmuştur. Başvuruların 96 adedi (%88'i) olumlu sonuçlanırken, 13 adedi (%12'si) iade edilmiştir.

Liman ve yat faaliyetinde 95 adet başvuru yapılmıştır. Bu başvuruların 68 adedi (%71,5'i) olumlu sonuçlanırken, 27 adedi (%28,5'i) iade edilmiştir.

Karayolu inşaatı faaliyetinde 37 başvuru yapılmıştır. Bu başvuruların 33 adedi (%89,1'i) olumlu sonuçlanırken, 4 adedi (%10,9'u) iade edilmiştir.

Konut ve otel faaliyeti inşaatında 34 adet başvuru yapılmıştır. Başvuruların 24 adedi (%70,5'i) olumlu sonuçlanırken, 10 adedi (%29,5'i) iade edilmiştir.

Hizmet faaliyeti inşaatında 24 adet başvuru yapılmıştır. Başvuruların 21 adedi (%87,5'i) olumlu sonuçlanırken, 3 adedi (%12,5'i) iade edilmiştir.

Çimento tesisi yapım faaliyetinde 24 adet başvuru yapılmıştır. Başvuruların 14 adedi (%58,3'ü) olumlu sonuçlanırken, 10 adedi (%41,7'si) iade edilmiştir.

Demiryolu inşaatında 10 adet başvuru yapılmıştır. Başvuruların 6 adedi (%60'i) olumlu sonuçlanırken, 4 adedi (%40'i) iade edilmiştir.

Havalimanı inşaatında 9 adet başvuru yapılmıştır. Başvuruların 8 adedi (%88,8'i) olumlu sonuçlanırken, 1 adedi (11,2'si) iade edilmiştir.

Faaliyetsel bazda değerlendirilmeler sonucunda en fazla başvurunun 95 adetle liman ve yat faaliyetinde en az başvurunun ise 9 adetle havalimanı inşaatında olduğu belirlenmiştir. ÇED olumlu kararlarının %89,1'le en fazla karayolu inşaatlarında verildiği tespit edilmiştir. 2015-2020 yılları arasında en çok yatırım karayolunda yapılmıştır denilebilir. En fazla ÇED iade kararının ise %40'la demiryolu inşaatında verildiği belirlenmiştir.

Bu 6 yıllık ÇED kararları göz önünde tutulduğunda hem en az başvuru yapılan faaliyetlerden biri hem de en fazla iade olması nedeniyle inşaat alanında en az gerçekleşmenin demiryolu inşaatlarında olduğu anlaşılmaktadır.

4. Sonuç

İnceleme yapılan döneme ait ÇED başvurularına göre yapılan değerlendirme ve analizlerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Söz konusu döneme ait ÇED başvuruları arasında inşaat sektörü, maden, enerji, tarım-gıda sektörlerinden sonra gelmekte olup %11 ile 4. sırada yer almaktadır.

İnşaat sektörüne ait ÇED başvuruların %79'u ÇED olumlu kararı alırken %21'lik kısmı iade ile sonuçlanmıştır. Yani söz konusu dönemde inşaat sektörüne ait girişimlerin %21'i gerçekleşmemiştir.

Yıl bazında değerlendirme yapıldığında inşaat sektöründe en çok başvurunun 69 başvuru ile 2017 yılında yapıldığı tespit edilmiştir. Diğer sektörlerle göre değerlendirildiğinde inşaat sektörü 2015-2020 arasında sırasıyla 6, 5, 6, 7, 2, ve 6. sıralarda yer almıştır. En çok iade veya olumsuzluk oranı ise %32 ile 2020 yılında gerçekleşmiştir.

Söz konusu dönemde inşaat sektörüne ait faaliyetler sınıflandırıldığında en çok başvurunun %32 ile baraj, gölet vb. alanlarda olduğu belirlenmiştir. Daha sonra sırasıyla liman, yat vb., karayolu, konut-otel, çeşitli hizmet tesisleri, çimento tesisleri, demiryolu ve havalimanı inşaatlarının geldiği tespit edilmiştir. Bu tespitlerden anlaşılacağı üzere ülkemizde son yıllarda belirli bölgelerde hızlı tren projelerinde faaliyetler olsa da maalesef yeterli düzeyde gerçekleşmediği, karayolu projelerinin nispeten fazla yatırım aldığı anlaşılmaktadır. Burada dikkat çeken bir başka sayısal veri ise ÇED açısından en az başvuru yapılanlardan biri demiryolu inşaatları olmasına rağmen en fazla iade ve olumsuz sonuçların yine aynı alanda olmasıdır. Yani demiryolu inşaatları zaten en az başvuru yapılmış alanlardan biri iken aynı zamanda en fazla gerçekleşemeyen faaliyetlerden olmuştur.

Kaynakça

- Eşkinat, R. ve Tepecik, F. (2012). İnşaat sektörüne küresel bakış. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(1), 25-41.
- Gökçe, G.C. ve Barış, M.E. (2015). Çevresel etki değerlendirme (ÇED)-stratejik çevresel değerlendirme (SÇD) ilişkisi ve peyzaj planlama sürecinde stratejik çevresel değerlendirmenin önemi. International Journal of Science Culture and Sport (IntJSCS), (3). doi : 10.14486/IJSCS345
- Gül, A., Ceylan, H. (2002). Çevresel etki değerlendirme (ÇED) uygulamaları ve ısparta yöresi örneğinde irdelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6:1,94-106.
- Yücel, M. (2001). Çevresel Etki Değerlendirmesi, Baki Kitabevi, Adana.
- Uslu, O. (1994). ÇED eğitimi, Çevre kavramına genel bakış. Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Önder Matbaası, Ankara.
- Dikmen, A.Ç. (2019). Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Türkiye'nin çevre politikasına katkısı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (15), 535-541. doi: 10.31590/ejosat.53295
- Dervişoğlu, S. (2010). AB Müktesebatına Uyum Sürecinde Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED). Türk İdare Dergisi, 467, 115-134.
- Anonim, (2019). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği. Resmî Gazete, 25.11.2014, Sayısı: 29186.
- Anonim, (2021). ÇED kararları, <https://ced.csb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 10.10.2021).



Tesis Yeri ve Kapasite Seviyesi Seçimi Probleminin Pandemi Döneminde Bir Tedarik Zinciri Vakasına Uygulaması

Batuhan Kocaoğlu¹, Emre Yavuz^{2*}

¹ Piri Reis Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6876-1362), batuhan.kocaoğlu@gmail.com

^{2*} Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Doktora Programı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2453-7713), emreyavuz999@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 21 Mart 2021 ve Kabul Tarihi 18 Eylül 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.900485)

ATIF/REFERENCE: Kocaoğlu, B. & Yavuz, E. (2022). Tesis Yeri ve Kapasite Seviyesi Seçimi Probleminin Pandemi Döneminde Bir Tedarik Zinciri Vakasına Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 429-435.

Öz

Bu çalışmada kademeli kapasitelere sahip tesisler için tesis yeri ve kapasite seviyesi seçimi problemi ele alınmıştır. Doğru kapasitede ve doğru lokasyonda tesis seçimi yaparak, tesislerin sabit işletme giderleri ile bu tesislerde üretilen mal ve hizmetlerin dağıtım merkezlerine taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu problemin çözümü için tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Bu çalışmada fark yaratan durum, bir tek aşamalı tedarik zincirinde potansiyel lokasyonlardaki tesisler arasından seçim kararının yanı sıra, kademeli kapasitelerin tesisler arasında transferi veya sisteme dahil olacak yeni kapasitelerin dağıtımını problemini ele almak için yeni bir tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmesidir. Böylece atıl kapasiteler daha iyi değerlendirilebilecek ve taşıma maliyetleri düşürülebilecektir. Gerek iş hayatında gerekse insanların bireysel yaşamında derin izler bırakan COVID-19 sürecinin tedarik zincirleri üzerindeki etkisi tüm ezberleri bozmuştur. Pandemi döneminde Pazar ihtiyaçlarının neredeyse tamamen değişmesi ile, çoğu tedarik zinciri ağı mevcut yapısıyla ihtiyacı karşılamakta zorluk çekmektedir. İşte tam bu noktada tedarik zincirini yeniden tasarlamak isteyen bir dezenfektan üreticisi ile ilgili vaka ele alınmış ve tanıtılan model bu vakaya uygulanmıştır. İncelenen vakanın ve uyarlanan modelin, benzer durumdaki vakaların çözümüne katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yeri Seçimi, Tam Sayılı Programlama, Kapasiteli Tesisler, COVID-19, FMCG.

Application of the Facility Location and Capacity Level Selection Problem to a Supply Chain Case in the Pandemic Period

Abstract

In this paper, the problem of facility location and capacity level selection for facilities with gradual capacities is investigated. By choosing the right facility location with the right capacity, it is aimed to minimize the total cost consisting of fixed operating costs of the facilities and the transportation costs of the goods and services from the facilities to distribution centers. An integer linear programming model is formulated to solve this problem. What makes the difference in this paper is that a new integer linear programming model is proposed to address the problem of the decision to choose between facilities at potential locations in a single-stage supply chain, as well as the transfer of multilevel capacities between facilities or the distribution of new capacities to be included in the system. Thus, idle capacities can be better utilized and transportation costs can be reduced. The impact of COVID-19, which leaves deep marks both in business life and in people's individual life, has broken all the routines of the supply chains. During COVID-19 period, almost all market needs changed and most of the supply chain networks have difficulty to meet the requirements with their existing structure. At this point, a case of a disinfectant manufacturer who wanted to redesign its supply chain was discussed and the introduced model was applied to this case. It is aimed that the investigated case and the adapted model contribute to the solution of similar cases.

Keywords: Facility Location, Integer Programming, Capacitated Facilities, COVID-19, FMCG.

* Sorumlu Yazar: emreyavuz999@gmail.com

1. Giriş

Sınırlı kapasiteli tesis yeri seçimi problemi, bir dizi müşteriye hizmet vermek için sınırlı kapasiteye sahip bir dizi tesisin yerleştirilmesinden oluşur. Amacı, tesis kurulumu ve işletmesiyle ilgili sabit maliyetlerden ve bu tesislerden müşterilere mal dağıtımını sağlayan dağıtım merkezlerine taşıma ile ilgili değişken maliyetlerden oluşan toplam maliyeti minimize etmektir. Bu problemde hem tesislerin potansiyel yerleri hem de dağıtım merkezlerinin talepleri önceden bilinmektedir. Bu Tesis Yeri Seçimi Teorisinde iyi bilinen bir problemdir ve kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Guignard ve Spielberg, 1979; Sridharan, 1995).

Sınırlı kapasiteli tesis yeri seçimi problemi için, genellikle iki tahsis modeli dikkate alınır: ilki bir dağıtım merkezine birden fazla tesisten mal gönderimi ile ilgili olan çoklu kaynak kullanımı, ikinci ise her dağıtımın merkezine yalnızca bir tesisten mal gönderimi yapılabilen tek kaynak kullanımıdır. İlkinden daha küçük ölçekli olmasına rağmen, ikinci yaklaşım literatürde daha çok ilgi görmüştür (Contreras ve Díaz, 2008; Cortinhal, 2003), (Gadegaard ve diğerleri, 2018). Bu çalışmada çoklu kaynak kullanımı modelini ele alınacaktır.

Günümüzde tesis yeri seçimi problemi, ya daha verimli yeni çözüm algoritmalarının geliştirilmesi açısından ya da konu ile ilgili çözüm bekleyen yeni güncel vakaların gelişmesi sebebiyle, bilim dünyasının araştırmalarında ilgi odağı olmaya devam etmektedir ve son yıllarda çok sayıda makale literatüre kazandırılmıştır. Bunlardan, Irawan ve Jones (2019) iki aşamalı bir tedarik zincirinde çok düzeyli kapasitelere sahip tesis yeri seçimi üzerine yaptıkları çalışmada, dağıtım merkezlerinin yerlerinin kapasiteleri ile belirlenmesi ve fabrikalardan dağıtım merkezlerine ve müşterilere ürün akışı da optimize edilmesi problemini ele almıştır. Burada, tesislerin bir üretim limiti varken, potansiyel dağıtım merkezleri, çok seviyeli kapasiteler olarak tanımlanan, aralarından seçim yapabileceğiniz birkaç olası kapasite seviyesine sahiptir. Burada dağıtım merkezi açma sabit maliyetlerini ve nakliye maliyetlerini en aza indirmek için iki tane tam sayılı doğrusal programlama modeli tanıtılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. İki aşamalı tedarik zinciri üzerine diğer bir güncel çalışmada ise Souto ve diğerleri (2021) problemin çözümünü için düşük hesaplama zamanında yüksek kaliteli çözümler bulan, Kümeleme Arama, Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama ve Yerel Dallanma Yöntemlerinin hibridizasyonu bir yöntem önermiştir. Matos ve diğerleri (2021), sınırlı kapasiteli tesis yeri seçimi problemi çözümünü için hem sıralı hem de paralel Gevşeme Uyarlamalı Bellek Programlama yaklaşımı önermiştir. Literatürde karşılaşılan diğer bir yaklaşım da kapasite transferlerinin mümkün olduğu bir tesis yeri seçimi problemleridir. Corberána ve diğerleri (2020) bu problemde kapasite fazlası olan tesislerin, bu kapasitenin bir kısmını başka bir tesise devrederek darboğazı kaldırabilme seçeneği değerlendirilmiştir ve bu problem için kurulum maliyetleri ve dağıtım maliyetleri toplamını minimize eden karışık tam sayılı matematiksel programlama modelleri önerilmiştir. Kademeli kapasiteler üzerine çalışma yapan Irawan ve diğerleri (2019), kullanılan kapasiteye ve tesisin bulunduğu alana bağlı olarak, bir tesisin açılış (sabit) maliyeti ve birkaç olası kapasitenin varlığı ile tek kaynaktan yer seçimi problemini ele almıştır. Albareda-Sambola ve diğerleri (2017) ise, bölünemeyen talepleri olan bir sabit maliyetli tesis yeri problemini ele almıştır. Burada tesisler homojen olasılıkla başarısız olabilir ve bu arızalar bağımsız

olarak gerçekleşir. Her müşteri için, açık tesislere bir atama dizisi tanımlanır ve her senaryoda, müşteriye başarısız olmayan sıradaki ilk tesisten hizmet verilir. Bir müşterinin kaybolduğu veya dışarıdan temin edildiği durumları modellemek için, büyük atama maliyetlerine sahip, arızasız bir ekstra kukla tesis kullanıldığı bir model geliştirilmiş ve problemi çözmek için Benders ayrıştırma algoritması modern bir dal kesme karışık tamsayı programlama çözücüsüne gömülmüştür.

Literatürdeki çoğu tesis yeri seçimi problemi, her bir potansiyel tesis için sabit kapasiteye sahip, tesis yeri seçimi ile ilgilidir. Ancak pratik durumlarda tesisin kapasitesi de belirlenmesi gereken bir karar değişkeni olarak değerlendirilmektedir (Correia ve Captivo, 2003). Bu, sorunun yalnızca tesisin en uygun yerini bulmak değil, aynı zamanda kapasitesini bulmak olduğu anlamına gelir. Bu çalışmada, tek aşamalı bir tedarik zincirinde, kademeli kapasitelere sahip tesisler için mevcuttaki toplam kapasitenin, potansiyel lokasyonlardaki tesisler arasında optimum dağıtımını sağlayarak sabit işletme maliyetlerinin ve tesisler ile dağıtım merkezleri arasındaki değişken taşıma maliyetlerinin toplamını minimize eden bir model kurduk. Bu model, mevcutta kademeli kapasitelere sahip bir tesisteki kapasitenin, belirli kademe veya kademelerinin başka tesis veya tesislere transferi ile toplam sabit ve değişken maliyetlerin düşürülmesi ihtiyacına cevap verdiği gibi, gelecekte artan bir talep olması durumunda yeni talebe göre yapılacak yatırımın hangi tesise yapılması konusunu ve tedarik zincirinin yeniden tasarımı konusuna da yanıt aramaktadır.

Araştırmalarımıza göre, bu yönüyle bir problem literatürde henüz ele alınmamıştır. Bu nedenle, bu makale, bir tek aşamalı tedarik zincirinde potansiyel lokasyonlardaki tesisler arasından seçim kararının yanı sıra, kademeli kapasitelerin tesisler arasında transferi veya sisteme dahil olacak yeni kapasitelerin dağıtım problemini ele almak için yeni bir tam sayılı doğrusal programlama modeli önermektedir. Böylece atıl kapasiteler daha iyi değerlendirilebilecek ve taşıma maliyetleri düşürülebilecektir. Bu makalenin ana katkıları aşağıdaki gibidir:

- Kademeli kapasitelerin, tek aşamalı tedarik zincirinde kapasite sınırlı tesis yeri seçimi problemi için, kapasite transferini de göz önüne alarak hem tesis yeri seçimi hem de kapasite seviyesinin belirlenmesi ile tedarik zinciri ağını yeniden tasarlama üzerine yeni bir model önerilmiştir,

- Sorunumuzun önemli bir özelliği olan kapasite transferi, tesisler arasında sadece mevcut kapasite fazlasını yönetmeye izin vermekle kalmayıp, aynı zamanda açık tesisler arasında genel operasyonel kapasitenin daha iyi bir kullanımını sağlayacak bir iş birliği stratejisi olarak görülebilir. Bunun yanında mevcut tesislerden bazılarının kapanması veya yeni tesislerin açılarak kapasitenin paylaşılması suretiyle işletme ve taşıma maliyetleri toplamı düşüren bir yeniden tasarım süreci olarak düşünülebilir.

- Problemi çözmek için çözümünü basit bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir,

- Bu model, Pandemi döneminde neredeyse tamamen değişen pazar koşullarında şirketlerin rekabete çevik bir şekilde adapte olabileceğini gösterir bir vaka üzerinde uygulanmıştır, buna göre hijyen ürünleri üreten bir FMCG firmasının dezenfektan üretim ve dağıtım ağının yeniden tasarımı değerlendirilmiştir.

Bu makalenin geri kalan bölümlerini şu şekilde özetleyebiliriz. 2. Bölümde kademeli kapasitelerin tek aşamalı

tedarik zincirinde kapasite sınırlı tesis yeri seçimi problemi için matematiksel model sunulmuştur. 3. Bölümde örnek bir vaka üzerinden modelin uygulanması ve MS Excel Çözücü kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Son olarak da Bölüm 4'te sonuçlar ve öneriler paylaşılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Notasyonlar

Bu kısımda, sınırlı kapasiteli tesis yeri seçimi problemi için standart optimizasyon modeli üzerine (3) ve (4) numaralı kısıtlar eklenerek, kademeli kapasitelere sahip tesisler için toplam kapasitenin, potansiyel lokasyonlardaki tesisler arasında optimum dağıtımını sağlayarak, sabit işletme maliyetlerinin ve değişken taşıma maliyetlerinin toplamını minimize eden modeli tanıtılacaktır. Modeli kurmadan önce, modelde kullanılacak notasyonlar ve açıklamaları aşağıda paylaşılmıştır:

Bu problemde üç farklı kümeyi ele alınmaktadır:

I tesisler için potansiyel konumlar kümesi

J dağıtım merkezleri kümesi

K üretim hatları kümesi

Burada K ele alınan, ürünü üretme kabiliyeti olan makineler kümesini, diğer bir deyişle üretim hatları kümesini ifade etmektedir. Bu üretim hatlarının her birinin kapasitelerinin eşit olduğu ve bu üretim hatlarının aynı 2. el makine satın alınmasında olduğu gibi, başka bir tesise taşınabildiği varsayılmaktadır. $s(K)$ ise elimizdeki eşit kapasitedeki makine sayısını ifade etmektedir.

Karar değişkenleri;

y_i $i \in I$ tesisinin sahip olduğu kapasite seviyesidir

x_{ij} $i \in I$ tesisinden $j \in J$ merkezine sevk edilen miktar

Diğer parametreler;

c_{ij} $i \in I$ tesisinden $j \in J$ merkezine birim taşıma maliyeti

f_i $i \in I$ tesisinde 1 hattı işletmek için gerekli sabit maliyet

s bir hattın kapasitesi

d_j $j \in J$ merkezinin talebi

2.2. Matematiksel Model

Yukarıda tanımlanan notasyonlara göre, doğrusal programlama modelinin formülasyonu;

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^m f_i y_i \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s y_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{kapasite kısıtı} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq d_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{talep kısıtı} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m y_i \leq s(K) \quad \text{toplam hat sayısı kısıtı} \quad (4)$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{ve tam sayı,} \quad i \in I \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{ve} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Amaç fonksiyonu (1), tesislerin sabit işletme maliyetleri ve malların tesislerden dağıtım merkezlerine değişken taşıma maliyetleri toplamını minimize etmek istemektedir. Kısıt (2) talebin karşılanırken ilgili tesisin kapasitesini aşmamasını sağlar. Kısıt (3), tüm talebin karşılanmasını sağlar. (4) toplam makine veya üretim hattı sayısı kısıtıdır. Son olarak, kısıt (5) ve (6) karar değişkenlerinin alanını tanımlar.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Modelin Örnek Vakaya Uygulanması: Dezenfektan Dağıtım Ağı Tasarımı

Doğal afetler ve salgın hastalıkların insanlık üzerinde birçok negatif etkisi vardır. Bu negatif etkilerin birçoğu gelen doğal kısıtlar, alınan önlemler veya değişen ihtiyaçlar sebebiyle tedarik zinciri operasyonları üzerinde çok yönlü etkiye sahiptir. 2020 yılı itibarıyla, COVID-19 salgınının dünya çapında yayılması nedeniyle, her ölçekte tedarik zinciri operasyonu doğrudan etkilenmiştir ve büyük zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Günümüzün gelişen teknolojisiyle bile, bu zorlukların üstesinden gelmek için ciddi efor sarfedilmiştir. Değişen arz talep dengeleri ve yeni lojistik koşullarla beraber, şirketler ayakta kalabilmek için çevik olmak ve yeni koşullara hızlı uyum sağlamak zorundadır. Turizm, restoran, eğlence vb. hizmet sektörleri bu süreçte ciddi yaralar alırken, e-ticaret, hazır gıda, sağlık hizmetleri, ilaç ve hijyen ürünleri sektörleri bu süreçten olumlu etkilenmiştir. Bu salgının en önemli özelliği, hızlı bir yayılma karakteristiğine sahiptir olmasıdır. Bu nedenle devletler, kurumlar ve bireyler hastalığın yayılmasını sınırlamak için yeni önleyici tedbirler benimsemiştir. Bireysel tedbirlerin başında ise hijyen alışkanlıkları gelmektedir. Bunun da etkisi, hijyen ürünleri sektöründe ve özellikle el temizleme ürünleri tüketiminde ciddi talep artışına neden olmuştur. Bu ürünlere talebin artması hem üretim tedarik zincirinde hem de dağıtım tedarik zincirinde hızlı uyum sağlayabilen şirketlere yeni fırsatlar sunmuştur.

Bu çalışmada Türkiye genelinde dağıtım ve satış ağı olan, İstanbul lokasyonlu dezenfektan ve kolonya üreticisi şirketin, bu ürün üzerinde tedarik zinciri ağını yeniden tasarlaması vakası ele alınacaktır. Vakayı ele almadan önce de takip eden bölümde COVID-19'un yapısı ve dünya genelinde etkileri sunulmuştur.

3.1.1. COVID-19'un Tedarik Zincirlerine Etkisi

Dünya, Aralık 2019'dan bu yana Çin'in Wuhan kentinden başlayıp, dünyanın tüm ülkelerine yayılan bir virüs sebebiyle ciddi karmaşık zorluklarla yüzleşmeye başladı. Wuhan şehrinde Aralık 2019'un sonunda sebebi bilinmeyen 27 zatürree vakası görüldü (Lu ve diğerleri, 2020). Bu virüs, Çin'de çok kısa sürede birçok insanı enfekte etti ve tüm dünyaya yayıldı. Dünya Sağlık Örgütü, COVID-19 salgınının uluslararası bir halk sağlığı acil durumu içerdiğini belirterek, ülkemizde de ilk vakanın görüldüğü 11 Mart 2020 tarihinde Pandemi ilan etti (URL_01, 2020). Bu dönemde birçok ülkede uygulanan sokağa çıkma kısıtlamaları, dünya genelinde ekonomik sıkıntılara sebep oldu. Sokağa çıkma kısıtlaması uygulanan ülkelerde, restoran ve kafe

gibi birçok küçük işletme kepenk kapattı. Bu dönem evinde daha fazla vakit geçirmek zorunda kalan insanlar açısından ekonomik ve sağlık sıkıntılarının yanında psikolojik anlamda da derin izler bıraktı. Bütün bu negatif etkilerin yanında doğa açısından olumlu gelişmeler oldu, doğa kendini onarmaya başladı ve çevre kirliliğinde ciddi oranda azalma gözlemlendi (Taş ve Yağanoğlu, 2020).

2020 süresince arz talep dengelerini alt üst ederek ticareti önemli ölçüde sarsan ve küresel ekonomiyi açıkça etkileyen COVID-19 salgınının, bu etkilerinin uzun vadede devam edeceği öngörülmektedir (Grida ve diğerleri, 2020). COVID-19 pandemisine benzer bir salgın sonucu maruz kalınan tedarik zinciri riskleri, tahmin edilemeyen uzun vadeli bozulmalar olarak nitelendirilmektedir ve salgının dünya genelinde yayılmasıyla birlikte bir tedarik zincirleri bozulması meydana gelmektedir (Ivanov ve Dolgui, 2020). Yapılan çalışmalara göre, dünyanın hemen hemen her bölgesinde faaliyet gösteren en büyük 1000 tedarik zincirine ait tesislerin çoğunun salgından etkilendiği ve karantinalar sebebiyle ciddi aksaklıkların olduğu kanıtlanmıştır (Linton ve Vakıl, 2020).

COVID-19 salgını döneminde tedarik zinciri alanındaki araştırmacıların ilgisi, salgınla mücadelede etkili olan sektörler odaklanarak Pandemi etkilerini uzun vadede azaltmaya yönelik çalışmalara yöneldi. Bu da tedarik zincirlerinin özellikle gıda, hijyen, sağlık ve ilaç gibi insanların temel ihtiyaçlarına hizmet eden endüstrilerle ilgili yeni çalışmalar yapmasına sebep oldu. En gelişmiş ülkeleri bile derinden etkileyen bu pandemi döneminde dünya genelinde sağlık kuruluşları, hastane ve insani yardım tesislerine olan ihtiyaç da artmış, bu tesislere yer seçimi konusunda başta çok kriterli karar verme yöntemleri olmak üzere farklı teknikler kullanarak çalışmalar yapılmıştır (Hallak ve Miç, 2021). Salgında en önemli koruyucu ekipmanlardan biri olan maske gibi ekipmanları üretmek için, alternatif tedarik zincirlerini keşfetmenin önemini araştırılmıştır (Shokrani ve diğerleri, 2020). COVID-19 salgını döneminde tedarik zincirlerinin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri de hizmet ve mallara olan talep miktarını belirlemede karşılaşılan zorluklardır. Bu dönemde insanların panikle toplu alışveriş yapması, bu talebin sürekli olmayacağını öngöremeyen tedarik zincirlerinin hızlı tepki verme çabası ile birleşince birçok noktada darboğaz yaşandığı gibi benzer şekilde birçok noktada da stok yığılması ile sonuçlanmıştır. Bu dönemde (Govindan, Mina ve Alavi, 2020) bulanık çıkarım sistemine dayalı bir karar verme sistemi geliştirdikleri çalışmayla talep tahmin doğruluğunu artırma konusunda katkı sağlamıştır.

Virüsün yayılmasına engel olmak için alınan en önemli tedbirlerin başında el hijyeni gelmektedir. Virüs yağlı ikili katman yapısından dolayı %75 etanol, klorin içerikli dezenfektanlara ve klasik sabun gibi yağ çözücü özelliği güçlü olan temizleyicilere karşı duyarlıdır. Bu sebeple özellikle alkollü dezenfektan özelliğine sahip ürünlere de aşırı talep artışı olmuştur (Türken ve Köse, 2020; Uğurlu ve diğerleri, 2020). Bu talep artışları mevcut üreticilerin kapasitelerini zorlamış, hammadde ve malzeme tedariklerinde aksaklıklara neden olmuştur. Fakat bu süreçte tedarik zincirlerini doğru yönetebilen şirketler bu süreçte güçlerine güç katarak yollarına devam etmektedir. Bir sonraki bölümde Türkiye’de faaliyet gösteren bir kolonya ve dezenfektan üreticisinin COVID-19 döneminde tedarik zincirini yeniden tasarlama vakası ele alınmıştır.

3.1.2. Örnek Vaka Tanımı

Bu vakada İstanbul’da bir fabrikası olan kolonya ve dezenfektan üreticisi firmanın, Pandemi ile bu ürünlere olan talebin patlaması ve rekabette güç kazanmak için tedarik zincirini yeniden tasarlaması konusu ele alınmıştır. Firmanın Türkiye genelinde hali hazırda depolama ve sevkiyat için kullandığı 8 dağıtım merkezi mevcuttur ve bu dağıtım merkezleri İstanbul, Bursa, İzmir, Konya, Samsun, Antalya, Gaziantep ve Erzurum illerinde bulunmaktadır. Firma bu lokasyonları geçmiş yıllarda pazarın konumuna göre belirlemiş ve uzun yıllardır kullanmaktadır. Firmanın satışları 2020 yılında 20 katına çıkmıştır ve mevcut 8 dağıtım merkezinin gelecek dönemde yıllık talepleri palet bazlı olarak Tablo 1’de verilmiştir. Her palette 2.000 adet dezenfektan veya kolonya istiflenmektedir. Ayrıca potansiyel üretim tesisleri lokasyonları ile dağıtım merkezleri arasındaki nakliye maliyetleri (TL/palet) de Tablo 1’de verilmiştir. Firmanın mevcutta İstanbul’daki tesisinde, her biri yıllık 6 Milyon adet (3.000 Palet) kapasiteye sahip 6 üretim hattı mevcuttur. Firma hem hammadde ve ambalaj üreticilerine yakın olarak girdi tedarik süresini ve maliyetini azaltmak, hem de mevcut pazarlara daha yakın olarak taşıma maliyetlerini azaltmak istemektedir. Bu stratejinin firmaya, yerel üreticilerle maliyet ve temin süresi anlamında rekabet avantajı katması öngörülmektedir. Bu sebeple mevcutta dağıtım merkezi olarak kullandığı 8 lokasyon içerisinde üretim faaliyeti için yeterli kapalı alana sahip İzmir, Konya ve Gaziantep’teki tesislerinde üretim faaliyeti yapıp yapmama konusunu değerlendirmek istemektedir. Tesis ve Dağıtım Merkezlerinin harita üzerindeki konumları Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Dağıtım Merkezi Bazlı Talepler ve Taşıma Maliyetleri (Table 1. Distribution Center Based Demands and Transport Costs)

Tesisler	Dağıtım Merkezleri ve Birim Taşıma Maliyetleri (TL/palet)							
	İstanbul	Bursa	İzmir	Konya	Samsun	Antalya	Gaziantep	Erzurum
İstanbul	0	30	60	73	91	103	90	157
İzmir	60	40	0	85	140	65	95	175
Konya	73	55	85	0	70	42	55	90
Gaziantep	155	86	145	75	95	80	0	80
Talep (Palet)	3.800	1.900	2.600	2.900	1.400	2.200	1.550	1.250

Karışım ve dolmuş ekipmanlarından oluşan bu likit üretim hatlarının taşınma ve yeniden kurulum maliyetinin göreceli olarak düşük olması ve sökme, taşıma ve yeniden kurulumun

kolay ve çok zaman almaması sebebiyle firma, değişen piyasa koşullarına göre hızlı aksiyon almak adına, her yıl gelecek yılın satış tahminleri ışığında tedarik zincirini bir yıllık süreyle

yeniden tasarlamayı planlamaktadır. Böylelikle pandeminin bitmesi veya yeni virüs varyanlarının etkilerine göre piyasa koşulları yıllık olarak değerlendirilebilecektir. Bu sebeple üretim hatlarının İstanbul ve değerlendirilecek potansiyel lokasyonlardaki makine başına sabit maliyetler; hattı taşıma ve yeniden kurulum maliyetlerinin bir yıllık operasyon maliyetine yansıtılması ve tesis metrekare maliyeti, bakım onarım maliyeti gibi sabit giderleri kapsamakta olup Tablo 2'deki gibi belirlenmiştir.

Şirket bu veriler ışığında toplam sabit maliyetlerini ve taşıma kaynaklı nakliye maliyetlerini minimize etmek için alternatif lokasyonlarda hat kurması gerekip gerekmediğini, gerekiyorsa hangi lokasyonlarda hangi kapasite seviyesinde bir üretim gerektiği sorularına cevap arıyor. Bu çalışma sonucuna göre İstanbul'daki hatlardan tamamının veya bir kısmının diğer potansiyel şehir veya şehirlerdeki tesislere transferi kararı değerlendirilecektir.

Tablo 2. Tesis Bazlı Üretim Hattı Yıllık Sabit Maliyetleri (Table 2. Plant Based Production Line Annual Fixed Costs)

Tesisler	Makine Sabit Maliyet (TL)
İstanbul	200.000
İzmir	260.000
Konya	240.000
Gaziantep	230.000



Şekil 1. Dağıtım Merkezlerinin Türkiye'deki Dağılımı (Figure 1. Distribution Centers in Turkey)

3.1.3. MS Excel Çözücü ile Problemin Çözümü

Bölüm 3.1.2'de paylaşılan veriler ışığında ilk önce mevcut durumun resmini çizmek için, İstanbul tesisinde 6 makine ile yıllık sabit işletme maliyeti 1.200.000 TL olarak hesaplanabilir. Yıllık 17.600 paletin 8 dağıtım merkezine veya bölge deposuna gönderimi için, değişken taşıma maliyeti ise yıllık 1.114.450 TL olup, yıllık toplam maliyet 2.314.450 TL çıkmaktadır.

Bu problemde her üretim hattının belirli bir kapasitesi ve belirli bir sabit maliyetinin olması, kademeli kapasite kavramını ve bu üretim hattı sayısına bağlı kademeli sabit maliyet kavramını karşımıza çıkarmaktadır. Bu hatlardan bir kısmının farklı bir tesisi taşınarak toplam maliyeti düşürme yaklaşımı ise, tesisler arasında kapasite transferi yaklaşımını ele almamıza sebep olmaktadır.

Yine bir önceki bölümde paylaşılan veriler ışığında, Bölüm 2'de tanımlanan matematiksel modele göre Excel Çözücü tablomuzu oluşturarak, Şekil 2'deki optimum çözümü elde ediyoruz. Bu çözüme göre 4 şehirde de tesis kurulumu kararı çıktığını görebilmekteyiz. Buna göre İstanbul'da iki, İzmir'de

bir, Konya'da iki ve Gaziantep'te bir üretim hattının devreye alınması ile sabit işletme maliyetleri toplamı 1.370.000 TL'ye çıkarken, değişken taşıma maliyetleri 358.300 TL'ye inmektedir ve toplam maliyet 1.728.300 TL'ye inecektir. Optimum çözümün ilk durumla kıyaslayacak olursak, sabit maliyetler %14 artarken, taşıma maliyetleri %68 azalacaktır ve toplam maliyet %25 düşerek yıllık 586.150 TL tasarruf sağlanabilecektir. Bu sebeplerle İstanbul fabrikadaki altı üretim hattının 4'ünün, diğer lokasyonlardaki tesislere transferi maliyetleri %25 düşürerek, şirkete bu sektörde ciddi maliyet avantajı sağlayacaktır. Bunun yanında taşıma giderlerinin bu kadar düşmesi, aynı zamanda karbondioksit salınımı azaltarak daha çevre dostu bir tedarik zinciri olacaktır. Ayrıca müşteriye daha yakın olmak teslim sürelerini kısaltacak, dolayısıyla stok seviyelerinin de düşürülmesine katkı sağlanacaktır. Firma daha düşük stok seviyesiyle, müşteri taleplerini daha hızlı karşılayabileceği bir sisteme kavuşacaktır. Diğer yandan, üretimi farklı lokasyonlara bölmek, üretim ve kalite standartları açısından sapma riskleri ortaya çıkarabilir. Ayrıca nihai karar verilirken, diğer maliyetlerdeki değişiklikler ve operasyonu etkileyen diğer unsurlar da dikkate alınmalıdır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3	Tesis Lokasyon	1 Hat için Sabit Maliyet	İstanbul	Bursa	İzmir	Konya	Samsun	Antalya	Gaziantep	Erzurum	Kapasite
4	İstanbul	200.000	0	30	60	73	91	103	90	157	6.000
5	İzmir	260.000	60	40	0	85	140	65	95	175	3.000
6	Konya	240.000	73	55	85	0	70	42	55	90	6.000
7	Gaziantep	230.000	155	86	145	75	95	80	0	80	3.000
8	Talep		3.800	1.900	2.600	2.900	1.400	2.200	1.550	1.250	18.000
9											
10											
11	Lokasyon	Hat Sayısı	Sevkiyatlar							Sevk Miktarı	
12	İstanbul	2	3.800	1.900	0	0	300	0	0	0	6.000
13	İzmir	1	0	0	2.600	0	0	200	0	0	2.800
14	Konya	2	0	0	0	2.900	1.100	2.000	0	0	6.000
15	Gaziantep	1	0	0	0	0	0	0	1.550	1.250	2.800
16	Hat Sayısı	6	3.800	1.900	2.600	2.900	1.400	2.200	1.550	1.250	17.600
17											
18											
19	MinZ=	1.728.300									

Şekil 2. Modelin Uygulanması ve Çözümü ile Yıllık Toplam Maliyet (Figure 2. Annual Total Cost by Using the Model)

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu makalede kademeli kapasite alternatifleri içerisinde, optimum kapasite ile tesis yeri seçimi problemi ele alınmış ve bu probleme ait bir matematiksel model önerilmiştir. Bu model kullanılarak tesislerin sabit işletme maliyetleri ile, bu tesislerin hizmet ettiği dağıtım merkezlerine taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin en aza indirilmesini sağlayacak, kapasite seviyesi ve tesis yeri seçimi gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu model üretim kapasitesini artıracak yeni bir yatırımın hangi tesise yapılması sorusuna cevap bulabileceği gibi, değişen pazar koşullarında mevcut bir kapasitenin optimum şekilde dağılımını sağlayarak kapasite transferi konusundaki sorulara da yanıt verebilecektir. Literatürdeki tesis yer seçimi ile ilgili birçok çalışma vardır. Bunların bir kısmı iki aşamalı tedarik zinciri yapılarında depo kapasiteleri ile birlikte depo yeri seçimi ile ilgili olduğu gibi, bir kısmı da kapasite transferi ile ilgili sorulara odaklanmıştır. Bu çalışma bu iki bakış açısını tek aşamalı bir tedarik zinciri problemine yansıtarak, farklı bir tedarik zinciri probleminin çözümünü sağlamıştır.

Teknoloji ile birlikte gelişen dünyada, artık tedarik zincirleri yine teknolojinin desteği ile daha güçlüdür. Ancak bu gelişmeler, beraberinde rekabeti de arttırmış ve hız, tedarik zincirlerinin maliyetle birlikte en önemli performans kriterlerinden biri olmuştur. Ancak her şey her zaman yolunda gitmemekle beraber, 2020 yılı süresince yaşanan Pandemi tüm sektörlerde olduğu gibi tedarik zincirinde de çözülmesi gereken birçok yeni problemi karşımıza çıkarmıştır. Optimizasyon araçlarını iyi kullanabilen şirketler, daha çevik bir şekilde kararlar alarak rakiplerine karşı hayatta kalma mücadelesinde bir adım öne geçebilmektedirler.

İşte tam da böyle bir ortamda, değişen pazar koşullarına hızlı bir şekilde adapte olma ihtiyacı olan bir dezenfektan üreticisinin, tedarik zinciri ağı ile ilgili bir vaka ele alınmıştır. Örnek problem bu makalede tanıtılan model ile çözümlenerek, firmanın çağımızın en önemli iki performans kriteri olan hız ve maliyet konusunda avantaj yaratarak, daha az çevre kirliliği ile daha fazla insanın daha ekonomik bir şekilde hijyen ürünlerine ulaşmasına katkı sağlamıştır. Firmaların hızlı değişen piyasa koşullarında rekabette ayakta kalabilmek için artık stratejilerini

daha kısa süreli ara değerlendirmelere imkan sağlayan esnek ve kolay uygulamalara yönelmek durumundadır.

Bu model farklı sektörlerdeki benzer problemlere cevap verebilecek nitelikte olup, farklı sektörlerde uygulanabilir. Bunun yanında bu çalışmada sadece eşit kapasitelere sahip üretim hatları konu edilmiştir. Farklı kapasitelerde üretim hatlarını ele alarak, tesis yeri ve tesis kapasitesi seçimi bu makalenin bir uzantısı olabilir.

Kaynakça

- Albareda-Sambola, M., Landete, M., Monge, J., & Sainz-Pardo, J. (2017). Introducing capacities in the location of unreliable facilities. *Eur. J. Oper. Res.*(259), 175–188.
- Contreras, I.A., & Díaz, J.A., (2008). Scatter search for the single source capacitated facility location problem. *Ann. Oper. Res.*(157), 73–89.
- Corberána, A., Landete, M., Peiróa, J., & Saldanha-da-Gamac, F. (2020). The facility location problem with capacity transfers. *Transportation Research*(138), 1-19.
- Correia, I., & Captivo, M. E. (2003). A lagrangean heuristic for a modular capacitated location problem. *Annals of Operations Research*(122), 141-161.
- Cortinhal, M. C. (2003). Upper and lower bounds for the single source capacitated location problem. *ur. J. Oper. Res.*(151), 333–351.
- Gadegaard, S.L., Klose, A., & Nielsen, L.R. (2018). An improved cut-and-solve algorithm for the single-source capacitated facility location problem. *EURO J. Comput.*(6), 1-27.
- Govindan, K., Mina, H., & Alavi, B. (2020). A decision support system for demand management in healthcare supply chains considering the epidemic outbreaks: A case study of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 1-14.
- Grida, M., Mohamed, R., & Zaided, A.N.H. (2020). Evaluate the impact of COVID-19 prevention policies on supply chain

- aspects under uncertainty. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*(8), 1-8.
- Guignard, M., & Spielberg, K.. (1979). A direct dual method for the mixed plant location problem with some side constraints. *Math. Program*, 17, 198–228.
- Hallak , J., & Miç , P. (2021). Multi Criteria Decision Making Approach to the Evaluation of Humanitarian. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 71-80.
- Irawan, C. A., & Jones, D. (2019). Formulation and solution of a two-stage capacitated facility location problem with multilevel capacities. *Ann Oper Res*, 272, 41-67.
- Irawan, C. A., Luis, M., Salhi, S., & Imran, A. (2019). The incorporation of fixed cost and multilevel capacities into the discrete and continuous single source capacitated facility location problem. *Annals of Operations Research*, 275, 367–392
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. *Int. J. Prod. Res.*, 58(10), 2904-2915.
- Linton, T., & Vakil, B. (2020). Coronavirus is proving we need more resilient supply chains. *Harward Business Review*: <https://hbr.org/2020/03/coronavirus-is-proving-that-we-need-more-resilient-supply-chains> adresinden alındı
- Lu, H., Stratton, C.W., & Tang, Y. W. (2020). Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: The mystery and the miracle. *J Med Virol*, 92, 401-402.
- Matos, T., Oliveira, O., & Gamboa, D. (2021). RAMP algorithms for the capacitated facility location problem. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 9, 799–813
- Shokrani, A., Loukaides, E.G., Elias, E., & Lunt, A.J. (2020). Exploration of alternative supply chains and distributed manufacturing in response to COVID-19; a case study of medical face shields. *Materials & Design*(192), 1-3.
- Sridharan, R. (1995). The capacitated plant location problem. *Eur. J. Oper. Res.* (87), 203–213.
- Suoto, G., Morais, I., Mauri, G.R., Riberio, G.M., & Gonzales P.H. (2021). A hybrid matheuristic for the Two-Stage Capacitated Facility Location problem. *Expert Systems with Applications*, 185, 1–12.
- Taş, M. B. H., & Yağanoğlu, M. (2020). Ağır Akut Solunum Yolu Yetersizliği Sendromu Koronavirüsü 2 (SARS-CoV-2) Dünya Çapındaki Analizi ve Gelecekteki Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 248-253.
- Türken, M., & Köse, Ş. (2020). COVID-19 Bulaş Yolları ve Önleme. *Tepecik Eğit. ve Araşt. Hast. Dergisi*, 36-42.
- Uğurlu, Y., Durgun, H., Nemitlu, E., & Kurd, O. (2020). COVID-19 Salgını Sırasında Bireylerin Sosyal El Yıkama Bilgi ve Tutumunun Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Journal of Contemporary Medicine*, 617-624.
- URL_01. (2020, Temmuz 02). Pandemi. T.C. Sağlık Bakanlığı Covid-19 Bilgilendirme Sayfası: <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66494/pandemi.html> adresinden alındı



Duchenne Musküler Distrofi'si olan Çocuklarda Güncel Tıbbi Beslenme Tedavisi ve Önemi

Büşra Yılmaz Ekici^{1*}, Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu²

¹Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0000-0000-0000), yilmazbusra9696@gmail.com

² Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462), sabiha.koseoglu@izu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 29 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1184746)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz Ekici, B. & Köseoğlu, S. Z. A. (2022). Duchenne Musküler Distrofi'si olan Çocuklarda Güncel Tıbbi Beslenme Tedavisi ve Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 436-441.

Öz

İlerleyici bir kas erimesi hastalığı olan Duchenne musküler distrofisi (DMD), distrofin proteini eksikliğine bağlı olarak ortaya çıkan önemli nöromusküler bir hastalıktır. Bu hastalarda ilerleyen yaş dönemlerinde solunum, kalp, beslenme gibi fonksiyonlarında sorunların arttığı dikkati çekmektedir. Yaşla birlikte artan bu sorunlar, obezite ve yetersiz beslenme gelişme riskini artırmakta ve hastalığın prognozunu daha kötüye gitmesine neden olmaktadır. DMD hastalığının kesin tedavisi olmamakla birlikte tedaviye ek olarak, hastaların obezite ve malnütrisyonundan korunması, beslenme ve gastrointestinal sorunların varlığının doğrultusunda diyetel değişikliklerinin yapılması önem taşımaktadır. DMD'li hastalarda kas bütünlüğünü korumaya yardımcı olacak bir beslenme düzeninin oluşturulması, erken yaşta başlayan kemik sağlığı problemlerini ve kilo üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda uygulanan beslenme düzenine, sadece DMD'li hastanın değil tüm ailenin uyması, çocuğun bu düzene daha kolaylıkla alışmasını ve sürdürmesini sağlayacaktır. Bu nedenle DMD'li çocuklarda beslenme sorunları erken dönemde belirlenerek uygun tedavi yaklaşımları planlanmalı ve bu konuda multidisipliner bir ekiple tedavinin sürdürülmesi daha uygun olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Duchenne Musküler Distrofi, çocuk, obezite, malnütrisyon, beslenme sorunu, diyet tedavisi.

Current Medical Nutrition Therapy and Its Importance in Children with Duchenne Muscular Dystrophy

Abstract

Duchenne muscular dystrophy (DMD), a progressive muscle wasting disease, is an important neuromuscular disease that occurs due to dystrophin protein deficiency. It is noteworthy that in these patients, problems in functions such as breathing, heart and nutrition increase in advancing age. These problems, which increase with age, increase the risk of obesity and malnutrition and cause the prognosis of the disease to worsen. Although there is no definitive treatment for DMD, in addition to treatment, it is important to protect patients from obesity and malnutrition, and to make dietary changes in line with the presence of nutrition and gastrointestinal problems. Establishing a diet that will help protect muscle integrity in patients with DMD plays an important role in reducing early-onset bone health problems and their negative effects on weight. At the same time, compliance with the applied diet, not only for the patient with DMD, but also for the whole family, will enable the child to get used to and maintain this order more easily. For this reason, nutritional problems in children with DMD should be determined at an early stage and appropriate treatment approaches should be planned, and it would be more appropriate to continue the treatment with a multidisciplinary team.

Keywords: Duchenne Muscular Dystrophy, child, obesity, malnutrition, nutritional problem, diet therapy.

* Sorumlu Yazar: Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimler Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, yilmazbusra9696@gmail.com

1. Giriş

Distrofik kas hastalıklarından biri olan Duchenne muskuler distrofi hastalığı (DMD), ilk defa Fransız nörolog Guillaume Benjamin Amand Duchenne tarafından 1860'larda teşhis edilmiştir. 3500 erkekte 1'inde görülen X'e bağlı resesif kalıtsal bir hastalıktır (Dooley vd., 2010). Her yıl dünya çapında 20 bin yeni tanı konulmaktadır (Lisak vd., 2016). Kızlar genellikle taşıyıcı olmakla beraber hastalık belirtisi göstermezler (Türken vd., 2021). Teşhis genellikle çocukluk çağında gerçekleşir ve kan testi, kan biyopsisi veya genetik testlerle ile doğrulanır (Davis vd., 2015). DMD'li hastalarda yaygın görülen semptom, kas güçsüzlüğü ve düşük kas tonusunun (hipotoni) varlığıdır. Ek olarak, ortopedik, kardovasküler, nütrisyonel komplikasyonlar ve solunum problemleri sıklıkla mevcuttur ve bu da DMD hastaları ve aileleri için yaşam kalitesinin zorlaşmasına neden olur (Salera vd., 2017).

DMD'li çocuklarda beslenme komplikasyonları sıklıkla mevcuttur ve yaşla birlikte kötüleşir. Genellikle aşırı kilo kazanımı ve kaybı, beslenme ve sıvı dengesizliği, düşük kemik yoğunluğu, çiğneme ve yutma fonksiyon bozukluğu gibi gastrointestinal ve beslenme komplikasyonları bulunur (Davis vd., 2015). Aşırı beslenmenin glukoz metabolizması, hareketlilik, solunum ve kardiyolojik fonksiyonlar üzerindeki zararlı etkilerine ilaveten besinsel açıdan da dikkate alınması gereken diğer konular ise; yetersiz beslenmenin kas fonksiyonu üzerindeki olumsuz etkisi; solunum yolu komplikasyonlarına neden olabilen aspirasyon riskinin artmasıyla çiğneme ve yutma zorlukları ve osteoporozun artmasıyla ilişkili kırık riskinin oluşmasıdır (Salera vd., 2017).

DMD'li hastaların tedavisinde önem taşıyan faktörler arasında; kortikosteroid tedavisi, enerji harcamasının değişimi ve hareket kısıtlılığı yer alır. Kortikosteroidler, ambulasyonun sürekliliğinde etkilidir, ancak büyüme geriliği, obezite ve kemik mineral kaybı gibi birçok istenmeyen yan etkisi vardır. Kortikosteroidlere başlamadan önce kilo yönetimi ile ilgili hastalara mutlaka rehberlik sağlanmalıdır (Karaduman, 2022).

Beslenme açısından tedavi incelendiğinde; uygun beslenme düzeni oluşturmak DMD'li hastalarının ve ailelerinin yaşam kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilir (Bushby vd., 2010). Beslenme tedavisi ve diyet değişiklikleri komplikasyonları önlemeye veya geciktirmeye yöneliktir (Berberoğlu, 2021).

2.DMD'de Görülen Genel Bulgular

DMD'nin zamanında ve doğru bir şekilde teşhis edilmesi, bakımın çok önemli bir yönüdür (Birnkranz vd., 2018). DMD belirtileri genellikle erken çocukluk döneminde başlar. DMD'li çocuklarda üst bacaklar, pelvik bölge, üst kollar ve omuz bölgesi gibi gövdeye en yakın kasların (proksimal kaslar) zayıflığı ve atrofisi gözlenir. Hastalık ilerledikçe, kas zayıflığı ve atrofisi alt bacakları, ön kolları, boynu ve gövdeyi etkileyecek şekilde yayılır. İlerleme hızı kişiden kişiye oldukça benzerdir, ancak bireysel farklılıklar olabilir.

DMD'li çocuklarda, ilk bulgular arasında yardım almadan oturma veya ayakta durma gibi gelişimsel ilerlemelerde gecikmeler yaşanabilir; güçsüzlük, sakarlık, ayağa kalkarken gowers belirtisi gözlenmesi, merdiven çıkma zorluğu veya parmak ucu yürüyüşü görülen semptomlar arasındadır. Yeni yürümeye başlayan çocuklar ve küçük çocuklar garip ve sakar görünebilir ve kasların skarlaşması (psödohipertrofi) nedeniyle

baldırlarda anormal büyüme gösterebilir. Hastalık ilerledikçe, omurganın ilerleyici eğriliği (skolyoz veya lordoz), uyluk ve göğüs kaslarının zayıflaması ve bazı eklemlerin anormal fiksasyonu (kontraktürler) gibi ek anormallikler gelişebilir. Kas lifleri gibi dokuların kalınlaşması ve kısalması deformiteye neden olduğunda ve etkilenen bölgelerin, özellikle eklemlerin hareketini kısıtladığında bir kontraktür oluşur. Fizik tedavi tedavisi olmadan, etkilenen bireylerin yürütmesine yardımcı olmak için 8-9 yaşlarında bacak desteklerine ihtiyaç duyulabilir. Yaklaşık 10 ila 12 yaşlarında, etkilenen bireylerin çoğu tekerlekli sandalyeye ihtiyaç duyar (National Institute, 2021).

3.Duchenne Musküler Distrofide Beslenmeye Dair Görülen Bulgular ve Tedaviye Yaklaşım

3.1. Aşırı Beslenme

DMD'li hastalar, çocukluk çağında özellikle ağırlık yönetimi bakımından risk altında olup sıklıkla obezite veya malnütrisyonla karşılaşmaktadırlar (Birnkranz vd., 2018). DMD'li hastalarda aşırı kilolu olmanın önlenmesi ve tedavisinin temel dayanakları steroid tedavisinin varlığı ve beraberinde diyet kontrolünün sağlanmasıdır (Bianchi vd., 2011). Kortikosteroidler ambulasyonun sürekliliğinde de etkilidir (Karaduman, 2022). Fakat erken çocukluk döneminde, kortikosteroid tedavisi, iştah ve kalori alımının artması ve sodyum ve sıvı tutulması nedeniyle aşırı kilo veya obezite riskini artırır (Birnkranz vd., 2018). Kortikosteroidler iştah ve gıda alımını uyarabilir ve karaciğere etki ederek kan şekeri yükselterek, insülin salgısında artışa neden olup hiperglisemiye yol açar. Bu nedenle kalori, protein, mikro besin ve sıvı alımı için özel öneriler içeren ve düşük glisemik indeksli bir beslenme planı oluşturulması steroid tedavisinin başlamasından önce sağlandığında kalori alımını ve aşırı kilo alımını kontrol etmek için yararlı olabilir (Birnkranz vd., 2018). Düşük glisemik indekse sahip karbonhidrat içeren besinlere örnek olarak kuru fasulye ve baklagiller, nişasta içermeyen sebzeler, tam tahıllı ekmek ve tahıl grubu verilebilir. Ayrıca, kalori alımını sınırlamak için diyet kontrolü ve tavsiyeler yararlıdır. Öneriler arasında şeker içeren içeceklerin ve yüksek kalorili besinlerin alımının azaltılması, ev dışında tüketilen yemeklere dikkat edilmesi, meyve ve sebze tüketiminin artırılması, yağ ve katı yağ ilavesinin sınırlandırılması yer almaktadır (Freeland-Graves vd., 2013).

3.2. Yetersiz Beslenme

DMD'li hastalar genellikle disfajinin (yutma güçlüğü) klinik semptomlarının başlaması sırasında istemeden kilo verirler. Erken çocukluk döneminde, glukokortikoid tedavisi, iştah ve kalori alımının artması ve sodyum ve sıvı tutulması nedeniyle aşırı kilolu veya obezite riskini artırır. Bununla birlikte ambulasyon kaybı, kalori ihtiyaçlarını azaltan ve aşırı kilolu veya obezite riskini artıran aktivitenin azalmasına neden olur. Vücut kütle indeksleri, beslenme zorluklarının ve hastalığın ilerlemesinin bir sonucu olarak aşırı kilolu veya obezite kategoriden normal aralığa veya düşük kilolu (yetersiz beslenme) aralığına düşebilir (Birnkranz vd., 2018). Yetersiz beslenme, göğüs enfeksiyonları riskinin artmasına ve solunum fonksiyonlarının bozulmasına neden olmakla birlikte yaşam kalitesi üzerinde de olumsuz etki bırakabilir (Messina vd., 2008). Tüm bu bulgular göz önüne alındığında, beslenme durumu üzerinde olumsuz bir etkiden kaçınmak için besin alımının azalmış olduğunu gösterebilecek belirtileri anlayabilmek için entegre bir multidisipliner tedavi zorunluluğunun olduğu dikkati çekmektedir (Salera vd., 2017).

3.3. Gastrointestinal (GI) Problemler

DMD hastalarında en sık görülen GİS komplikasyonlar; gecikmiş gastrik boşalma, gastroözofageal reflü (GER) ve kabızlıktır (Davis vd., 2015). Kabızlık, DMD' nin çok sık görülen bir komplikasyonu olup (Kraus vd., 2016), Pane ve ark. DMD'li hastalarının %36'sında kabızlık yaşandığını ve bu sorunun 18 yıl sonra (hastaların %60'ı) daha sık bildirildiğini ifade etmişlerdir (Pane vd., 2006). Yapılan çalışmaların sonucunda, iştah azalmasının kabızlığın bir komplikasyonu olduğu ve özellikle yetersiz beslenen hastalarda kabızlığın erken dönemde tedavi edilmesinin önem taşıdığı gösterilmiştir (Davis vd., 2015). Kabızlık oluşmasının risk faktörleri arasında; hareketsizlik, karın kası güçsüzlüğü ve dehidrasyon sayılabilir (Birnkranz vd., 2018). Kabızlığı önlemek ve tedavi etmek için diyet tavsiyesi, diyet lifi tüketiminin artmasıyla birlikte yeterli sıvı alımı gereklidir (Salera vd., 2017).

DMD'li hastalarda iskelet kası zayıflığı ilerledikçe, gastrik boşalmada gecikme (gastroparezi) meydana gelerek; karın ağrısı, bulantı, kusma, erken tokluk ve iştah kaybına yol açabilmektedir (Borrelli vd., 2005). Gastrik boşalma süresi, sintigrafik gastrik boşalma taraması kullanılarak değerlendirilebilir. Tedavi seçenekleri arasında diyet tedavisi, ilaç tedavisi ve gastrojejunal beslenme tüpü yoluyla gastrik-postpilorik beslenme yer almaktadır (Birnkranz vd., 2018).

DMD'de görülen gastroözofageal reflü (GÖR) için risk faktörleri arasında; gecikmiş gastrik boşalma süresi (Davis vd., 2015), glukokortikoid tedavi ve skolyoz sayılabilir (Borrelli vd., 2005). Pane ve ark. tarafından yapılan çalışmada, hastaların çoğunluğu ara sıra mide ekşimesi atakları yaşamış, ancak DMD'li hastaların sadece %4'ünde farmakolojik tedavi gerektiren GÖR bildirilmiştir (Pane vd., 2006). Diyet yaklaşımları; daha küçük ölçülerde, sık yemek yemeyi ve diyet yağ alımını azaltmayı içerir. Protein içeriği yüksek, yağ içeriği düşük diyet uygulanmalıdır. Yemek yerken sıvı alımı azaltılmalı, sıvı öğün araları için tercih edilmelidir (Birnkranz vd., 2018).

3.4. Yutma Problemleri

Disfaji DMD hastalarında sık görülen ve yaklaşık üçte birini etkileyen önemli bir bulgudur (Toussaint vd., 2016). Bu hastalardaki disfajinin nedeni esas olarak ağız kaslarının zayıflığı ile ilgilidir. DMD' li çocukların çoğunluğu çiğnemeyi öğrenmiştir, ancak zayıf dil hareketleriyle birlikte masseter ve temporal kasların zayıflığının artması nedeniyle çiğneme problemleri ortaya çıkabilir, bu da yemek yeme sürelerinin uzamasına ve boğazda tahriş ve boğulma hissine neden olabilir. Yavaş ilerleyen DMD' lerde beslenme ve yutma problemleri gizli olup gelişimi kolay anlaşılmamakta, bu nedenle erken aşamadan itibaren detaylı profesyonel izlemeye ihtiyaç duyulabilmektedir. Beslenme ve yutma bozukluklarının tedavisinde öncelikli amaç boğulmayı önleyerek aspirasyon pnömonisinin önüne geçmektir. DMD'li çocukların yumuşak ve katı besinleri yönetmeleri daha zor olup, bu tür besinleri tüketirken yutma sonrası kalıntılarla ilgili, sıvı besinleri tüketmeye göre daha fazla sorun yaşarlar. Çiğneme problemlerinin varlığında ise; hastaların yeterli miktarda besin (yani protein, demir, lif ve kalori) alımına sahip olmalarını sağlamak için daha yumuşak yiyecekler ve daha küçük yiyecek parçaları önerilir (Engel-Hoek vd., 2015).

3.5. Azalmış Kemik Kütlesi

DMD' nin doğrudan kemiği etkileyip etkilemediği bilinmemektedir. Fakat DMD' lerdeki kemik sağlığının bozulmasıyla ilgili risk faktörleri arasında; çocuğun fiziksel aktivitesinin azalması ve kas güçsüzlüğü bulunur ve bunun sonucunda kırık, osteopeni, osteoporoz, skolyoz, kemik ağrısı ve düşük yaşam kalitesi gibi sorunlara zemin hazırlayabilir (Bushby, vd., 2010). Bianchi ve ark.'nın çalışmasında, DMD vakalarının yaklaşık üçte ikisinde, kalsifediol takviyesi, diyet kalsiyum alımının önerilen doza ayarlanması ve kalsiyum etkilerden kaçınılması için sodyum alımının azaltılması; kemik rezorpsiyonunun azaltılmasına, D vitamini eksikliğinin düzeltilmesine ve kemik kütlesinin artmasına yol açmıştır (Bianchi, vd., 2011). Çocukluk döneminde önerilen kalsiyum alımının sağlanması, optimum kemik kütlesine ulaşmak için gereklidir. Süt ürünlerine dayanan kalsiyum bakımından zengin bir diyet genellikle çocuklar tarafından sevilir ve kemik sağlığı üzerinde en büyük faydaya sahip olabilir (Bianchi vd., 2011). Böyle bir diyet, düşük kemik kütlesi riski taşıyan tüm hastalar için sağlıklı bir alışkanlık haline gelebilir (Salera vd., 2017).

3.6. DMD Hastalarında Tıbbi Beslenme Tedavisi Yaklaşımları

3.6.1. Genel Tıbbi Beslenme Tedavisi

DMD'li bireylerde sıklıkla bulunan kilo alımı veya kaybı, diyet veya besin dengesizliği, sıvı dengesizliği, düşük kemik yoğunluğu, yutma disfonksiyonu gibi gastrointestinal veya nutrisyonel komplikasyonları (H W van Bruggen vd., 2015), solunum, iskelet kası ve kalp sistemlerini olumsuz yönde etkileyebilir (Brinkranz vd., 2018). Uygun bir beslenme programı, DMD'li hastaların ve aile üyelerinin yaşam kalitesini artırabilir (Bushby vd., 2010). Katkıda bulunan faktörler arasında glukokortikoid tedavisi, azalan enerji harcaması ve hareketsizlik sayılabilir (Shimizu-Fujiwara vd., 2021). Bununla birlikte besin takviyeleri bazı faydalar sağlayabilse de, DMD'li hastalar için besin takviyelerinin etkili kullanımı hakkında sınırlı bilgi vardır ve bu da daha ileri çalışmaları garanti eder.

Uygun beslenme planlamasının amacı, büyüme ve kilonun düzenli olarak değerlendirilmesi yoluyla aşırı kilolu olmanın önüne geçmek ve yetersiz beslenmeyi önlemektir. Aynı zamanda optimum kalori, protein, sıvı ve mikro besin alımı, özellikle kalsiyum ve D vitamini ile sağlıklı, dengeli bir diyeti teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Brinkranz vd., 2018). DMD hastalarının tedavisi multidisipliner yaklaşım gerektiren bir süreçtir ve bu süreçte kardiyologlar, gastroenterolog, fizyoterapistler ve hemşireler, pediatristler ile diyetisyenler aktif rol almaktadırlar (Davis vd., 2015).

Diyetisyen tarafından daha sık izleme, kilo alımı veya kaybının beklendiği dönemlerde gerekli olacaktır. Aşırı kilolu olma riski taşıyan bireyler için güvenli egzersiz programları tasarlamak ve yürürlüğe koymak için bir fizyoterapistle danışılmalıdır. Disfaji şüphesi olan bireyleri değerlendirmek için bir konuşma-dil terapistine danışılmalıdır. Kabızlık, gastroözofageal reflü ve gastrointestinal motilite endişelerinin yönetimi ve gastrotomi tüpünün yerleştirilmesi gerektiğinde bir gastroenteroloğa danışılmalıdır (Brinkranz vd., 2018).

3.6.1.1. Beslenme Değerlendirmesi ve Planlaması

DMD'li bireylerin beslenme düzeninde görülen dengesizlikleri solunum, iskelet kası ve kalp sistemlerini olumsuz yönde etkilemektedir (Brinkrant vd., 2018). Bununla birlikte, uygun bir beslenme programı, DMD'li bireylerin ve aile üyelerinin yaşam kalitesini artırabilir. Hastalık ilerledikçe obezite ve malnütrisyonu önlemek, gastrointestinal sistemi izleyerek beslenme planı uygulanması için diyetisyene başvurulmalıdır (Bushby vd., 2010). DMD hastalarının özel vücut kompozisyonu için, ağırlığa dayalı enerji formülleri sınırlı bir değere sahip olabilir. Ayrıca günlük enerji ve protein alımı için herhangi bir öneri bulunmadığından enerji gereksinimlerini anlamak ve DMD hastalarında değişen enerji ve besin gereksinimlerinin etkisini açıklayabilecek özel kılavuzlar geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Radley-Crabb vd., 2014). Boy ölçülemediği için BKİ hesaplanıyorsa, yaşa göre ağırlık yüzdelik dilimleri kullanılmalıdır. DMD'li bireyler vücut kompozisyonunu değiştirmiştir, bu nedenle standart büyüme çizelgelerinin kullanımı uygun değildir (Brinkrant vd., 2018). Hastalar 1 yıl içinde vücut ağırlıklarının %>10'unu kaybederlerse, besin ve enerjilerin artırılması önerilir (Toussaint vd., 2016). DMD'li bireylerin yeterli protein, kalsiyum, D vitamini ve sıvı

alımını ve hem çözünür hem de çözünmeyen lif formlarını sağlamaları çok önemlidir (Davidson vd., 2016). Birkrant ve ark. tarafından 2018 yılında yayınlanan bir çalışmada, toplam kalorinin %45-65'inin karbonhidratlardan, %20-35'inin yağlardan ve %10-35'inin proteinlerden elde edilmesi gerektiği gösterilmiştir. Çocuklar için kabul edilebilir aralıklar yetişkinlere benzer, ancak bebeklerin ve küçük çocukların diyetlerinde biraz daha yüksek oranda yağa ihtiyaçları vardır (Brinkrant vd., 2018).

3.6.1.1.1. Protein Gereksinimi

Bireylerin tüketmesi gereken protein miktarı hakkında literatürde çok az veri bulunmakla birlikte, alınacak minimum protein miktarı yaşa yönelik DRI önerilerine göre ayarlanmalıdır. 4-18 yaş arası bireylerde tüketilen toplam enerjinin %10-30'unun proteinden gelmesi önerilmektedir. Tablo 1, her yaş grubu için enerji ve protein alım önerileri gösterilmektedir (Davis vd., 2015). 4-13, 14-18 ve 19 yaş arası bireylerin sırasıyla 0.95, 0.85 ve 0.80g / kg ağırlık / gün protein tüketmesi gerektiği bildirilmiştir (Brinkrant vd., 2018). Ek protein alımının hastalık üzerindeki olumlu etkilerine ilişkin sınırlı bulgular, bu hastalarda ek protein alımının gerekli olmadığını düşündürmektedir (Salera vd., 2017).

Tablo 1. 3-18 yaş arası erkekler için tahmini enerji ve protein gereksinimleri (Table 1. Estimated energy and protein requirements for men ages 3-18)

Diyet referans enerji alımı					Diyet referans protein alımı
Yaş	Metabolik Hız (kcal/kg/d)	kcal/d	kcal/kg/d	g/d	g/kg/day
3	57	1020	85	13	1,08
4-5	48	1402	70	19	0,95
6-7	48	1279	64	19	0,95
8	48	1186	59	19	0,95
9-11	36	1756	49	34	0,94
12-13	36	1599	44	34	0,94
14-16	28	2385	39	52	0,85
17-18	28	2230	37	52	0,85
>18	28	2250	36	56	0,80

3.6.1.1.2. Sıvı İhtiyacı

Nöromusküler hastalığı olan bireylerde yaş, günlük fiziksel aktivite, ısı değişkenliği ve beslenme biçimine bağlı olarak günlük su ihtiyaçları önemli oranda değişkenlik göstermekle birlikte bu hastaların tükettiği sıvı miktarı hakkında literatürde sınırlı bilgi vardır. Kabızlık ve böbrek fonksiyon bozukluğu riskini artıran dehidrasyonu önlemek için yeterli sıvı alımı vurgulanmalıdır (Motoki vd., 2015). Yapılan bir çalışmada, önerilen sıvı tüketiminin yaşa bağlı olarak vücut ağırlığına göre de değişebileceği bildirilmiştir. Vücut ağırlığına göre sıvı gereksinimini belirleyen Holliday-Segar yöntemi Tablo 2'de gösterilmiştir. Yaşa bağlı olarak sıvılar için günlük diyet referans alım değerleri; 4-8 yaş arasında 1.2 L, 9-13 yaş arasında 1.8 L, 14-18 yaş arasında 2.6 L ve 19 yaşından büyükler için 3.0 L alınması önerilir (Brinkrant vd., 2018).

Tablo 2. Holliday-Segar Yöntemi (Table 2. The Holliday-Segar Method)

Vücut ağırlığı(kg)	Sıvı gereksinimi
1-10	100mL/kg
11-20	100 mL+10 kg'nin üzerindeki her kg için 50 mL
>20	1500 mL+ 20 kg'nin üzerindeki her kg için 20 mL

3.6.1.1.3. Mikro besinler

DMD'li hastalarda kortikosteroid tedavisi sırasında D vitamini ve kalsiyumun en önemli besin maddeleri olduğu bilinmekle birlikte günlük mikro besin gereksinimi hakkında az bilgi bulunmaktadır. Glukokortikoidlerin kemik oluşumunu baskılayarak osteoporoza neden olduğunu bildirmiştir. Azalan fiziksel aktivitenin kemik sağlığı üzerinde olumsuz etkisi bu kişilerde kırık riskini arttırmaya neden olur (Söderpalm vd., 2007). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, DMD'li çocukların, steroid tedavisine başlamadan önce, tanı esnasında düşük serum 25 (OH) D seviyelerine ve zayıf kemik sağlığına sahip olabileceğini göstermiştir (Bianchi vd., 2011). Kemik sağlığının izlenmesi, diyetteki kalsiyum alımının ve serum 25-hidroksi-D vitamini konsantrasyonunun yıllık değerlendirmelerini gerektirir. Kalsiyum alımı yaş için önerilen alımdan daha azsa veya serum 25-hidroksi-vitamin D vitamini 30 ng / mL'nin altına düşerse, Tıp Enstitüsü kılavuzlarına göre uygun diyet alımı ve besin takviyesi sağlanmalıdır (Ross vd., 2011).

3.6.2. Enteral Beslenme

DMD hastalarında enteral beslenme sıklıkla gereklidir. Enteral beslenmenin hasta ve aile ile hastalık sürecinin erken bir aşamasında tartışılması ve olası daha iyi bir sonuç için zamanında müdahale edilmesi önerilmektedir (Davidson vd., 2009). Toussaint ve ark. yüksek kalorili bir diyet denemesi başarısız olduğunda PEG önermişlerdir (Toussaint vd., 2016). Ramelli ve ark., PEG'in göğüs enfeksiyonlarının sıklığının azalması ve bunun sonucunda hastaneye yatış ile ilişkili olduğunu ve kilo ve boyun iyileştirilmesinde oral takviye kullanımından daha etkili olduğu görülmüştür (Ramelli vd., 2007). Martigne ve ark.'nın sonuçları, PEG yerleştirildikten sonra DMD'li birçok hastada kilo durumunun iyileştiğini ve yaşam süresinin ve kalitesinin arttığını göstermiştir (Martigne vd., 2010). PEG yerleştirildikten sonra, hasta aspirasyon riski olmadan yemek yiyebiliyorsa, oral beslenme sağlanabilir, ancak tüm enerji ihtiyacına ulaşmaya gerek kalmadan alternatif olarak, aspirasyon belirginse, oral beslenme yasaktır ve tüm kalori ve besin hacmi enteral beslenme ile sağlanır (Toussaint vd., 2016).

4. SONUÇ

Duchenne musküler distrofi hastalığı beslenme komplikasyonlarının sık görülebildiği nöromusküler bir hastalıktır. DMD'li hastalarda erken çocukluk çağında uygun beslenme planının oluşturulması beslenme komplikasyonlarını azaltarak hastanın ve ailelerin yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde önemli katkı sağlamaktadır.

Bu hastaların tedavisinde; diyetisyen, gastroenterolog, yutma terapisti ve çocuk psikiyatristi de dahil olmak üzere bir ekiple birlikte aşırı ve yetersiz beslenmeyi önlemek, en iyi beslenme durumunu korumak, gastrointestinal problemleri yönetmek, aspirasyon pnömonisini ve disfajiyi izlemek ve tedavi etmek gibi hastanın beslenme durumunu olumsuz etkileyen komplikasyonları azaltmak konusunda multidisipliner bir tedavi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ayrıca DMD hastalarında toplanan veriler genişletilmeli ve DMD'li hastalar üzerinde daha fazla araştırmalara gidilerek, beslenme durumunun DMD sonuçları (yaşam beklentisi, fonksiyon ve yaşam kalitesi) üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ann-Charlott Söderpalm, M. A.-C.-K.-E. (2007). Low bone mineral density and decreased bone turnover in Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders*, 17(11-12), 919-928.
- Amerikan Pediatri Akademisi Beslenme Komitesi. *Pediatric Obezite*. İçinde: Kleinman RE, Greer FR, editörler. *Pediatric beslenme*. 7. Elk Grove Village, IL: Amerikan Pediatri Akademisi; 2014. s. 827.
- Askeri Türken, S. V. (2021). Duchenne Musküler Distrofi Hastalarda Değerlendirme ve Beslenme. *Fizyoterapide Güncel Yaklaşımlar*, Bölüm 4.
- Beth N Ogata, D. H. (2014). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: nutrition guidance for healthy children ages 2 to 11 years. *J Acad Nutr Diet*, 114(8), 1257-76.
- David J Birnkrant, K. B. (2018). Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 1: diagnosis, and neuromuscular, rehabilitation, endocrine, and gastrointestinal and nutritional management. *Lancet Neurol*, 17(3), 251-267.
- Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). *National Academies Press*, Washington, DC. USA. (2005)
- DiVito, D. M., & Meyers, R. M. (2012). Nutrition Assessment of Children With Neuromuscular Disease at The Children's Hospital of Philadelphia. *Clinical Nutrition*, 27(3), 206-217.
- Dror Kraus, B. L. (2016). Constipation in Duchenne Muscular Dystrophy: Prevalence, Diagnosis, and Treatment. *J Pediatr*, 171, 183-8.
- Elliott SA, Davidson ZE, Davies PS, Truby H. Predicting resting energy expenditure in boys with Duchenne muscular dystrophy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2012;16:631-35.
- Gian Paolo Ramelli, A. A. (2007). Gastrostomy placement in paediatric patients with neuromuscular disorders: indications and outcome. *Dev Med Child Neurol*, 49(5), 367-71.
- Gürcistan E Moore, A. W. (2016). Describing nutrition in spinal muscular atrophy: A systematic review. *Neuromuscul Disord*, 26(7), 395-404.
- Gürsoy S., E. M. (2016). Duchenne Musküler Distrofi Tedavisindeki Stratejiler. *Türkiye Klinikleri Pediatrik Bilimler*, 12(4), 60-66.
- H W van Bruggen, L. V.-H. (2015). Reduced mandibular range of motion in Duchenne Muscular Dystrophy: predictive factors. *J Oral Rehabil*, 42(6), 430-8.
- Hatice Tuğçe Berberoğlu, N. A. (2021). Duchenne Kas Distrofisi Olan Hastalarda Beslenme Sorunları. *Biyomedikal Bilimsel ve Teknik Araştırma Dergisi*, 34(5), 27105-27111.
- Institute of Medicine. *Dietary reference intakes—the essential guide to nutrient requirements*. Washington, DC: The National Academies Press; 2006.
- J Davoodi, C. D. (2012). Nutrition strategies to improve physical capabilities in Duchenne muscular dystrophy. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 23(1), 187-99.
- Jeanne H Freeland-Graves, S. N. (2013). Position of the academy of nutrition and dietetics: total diet approach to healthy eating. *J Acad Nutr Diet*, 113(2), 307-17.
- Jillian Davis, E. S. (2015). Nutrition Considerations in Duchenne Muscular Dystrophy. *Nutrition in Clinical Practice*, 30(4), 511-521.

- Joseph Dooley, K. E. (2010). Duchenne muscular dystrophy: a 30-year population-based incidence study. *Clin Pediatr (Phila)*, 49(2), 177-9.
- Karaduman, S. (2022, 7 20). *Duchenne Musküler Distrofi (DMD) Nedir? Beslenme Tedavisi Nasıl Olmalıdır?* birbes: <https://www.birbes.com/?p=20152>. adresinden alındı
- Katharine Bushby, R. F. (2010). Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 2: implementation of multidisciplinary care. *Lancet Neurol*, 9(2), 177-89.
- L. Martigne, D. S.-M. (2010). Efficacy and tolerance of gastrostomy feeding in Duchenne muscular dystrophy. *Clinical Nutrition*, 29(1), 60-64.
- Lenie van den Engel-Hoek, I. J. (2015). Feeding and Swallowing Disorders in Pediatric Neuromuscular Diseases: An Overview. *J Neuromuscul Dis*, 2(4), 357-369.
- Leslie Cowen, M. M. (2019). Variability and trends in corticosteroid use by male United States participants with Duchenne muscular dystrophy in the Duchenne Registry. *BMC Neurol*, 19(1), 84.
- Lisak, R. P., Truong, D., Carroll, W. M., & Bhidayasiri, R. (2016). *International neurology* (Second edition.). Wiley.
- M L Bianchi, L. M. (2011). Low bone density and bone metabolism alterations in Duchenne muscular dystrophy: response to calcium and vitamin D treatment. *Osteoporos Int*, 22(2), 529-39.
- Mami Shimizu-Fujiwara, H. K.-Y. (2012). Decreased resting energy expenditure in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Brain Dev*, 34(3), 206-12.
- Maria Luisa Bianchi, D. B. (2011). Endocrine aspects of Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord*, 21(4), 298-303.
- Marika Pane, I. V. (2006). Feeding problems and weight gain in Duchenne muscular dystrophy. *Eur J Paediatr Neurol*, 10(5-6), 231-6.
- Michel Toussaint, Z. D. (2016). Dysphagia in Duchenne muscular dystrophy: practical recommendations to guide management. *Disabil Rehabil*, 38(20), 2052-62.
- [Muscular dystrophy: hope through research](#). National Institute of Neurological Disorders and Stroke. Updated February 25, 2021. Accessed May 28, 2021.
- Nahla O. Musa, A. O.-F. (2020). *Duchenne Musküler Distrofisi (DMD) Tanısı: Geçmiş ve Şimdiki Perspektifler*. Zhan He Wu.
- Oriana del Rocío Cruz-Guzmán, M. R.-C. (2015). Systemic Inflammation in Duchenne Muscular Dystrophy: Association with Muscle Function and Nutritional Status. *Biomed Res Int*(3), 891972.
- Osvaldo Borrelli, G. S. (2005). Evolution of gastric electrical features and gastric emptying in children with Duchenne and Becker muscular dystrophy. *Am J Gastroenterol*, 100(3), 695-702.
- Radley-Crabb HG, Marini JC, Sosa HA, Castillo LI, Grounds MD, et al. (2014) Dystrotopathology increases energy expenditure and protein turnover in the Mdx mouse model of Duchenne muscular dystrophy. *PLoS ONE* 9(2).
- Ross AC, Taylor CL, Yaktine AL, Valle HBD, editors. Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for calcium and vitamin D*. Washington, DC: The National Academies Press; 2011.
- Simona Salera, F. M. (2017). Nutritional Challenges in Duchenne Muscular Dystrophy. *Nutrients*, 9(6), 594.
- Sonia Messina, M. P. (2008). Feeding problems and malnutrition in spinal muscular atrophy type II. *Neuromuscul Disord*, 18(5), 389-93.
- Takahiro Motoki, Y. S.-M.-Y. (2015). Treatable renal failure found in non-ambulatory Duchenne muscular dystrophy patients. *Neuromuscul Disord*, 25(10), 754-7.
- Topaloğlu, H. (2020). Duchenne Musküler Distrofisi: Genel Bilgiler Ve Güncel Tedaviler. *Türkiye Klinikleri Fizyoterapi Ve Rehabilitasyon-Özel Konular*, 1-12.
- US Department of Health and Human Services and US Department of Agriculture. *Dietary guidelines for Americans 2015-2020*. (8th) 2015 <https://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/#navigation> (accessed Dec 20, 2017).
- Z E Davidson, H. T. (2009). A review of nutrition in Duchenne muscular dystrophy. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 22(5), 383-393.



Twitter Satış Sürecinin Duygu Analizi ile İncelenmesi: Dijital Pazarlama Açısından Bir Değerlendirme

Volkan Polat^{1*}

^{1*} Yalova Üniversitesi, İ.İ.B.F. Fakültesi, İşletme Bölümü, Yalova, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6606-2528), vpolat@yalova.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 20 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1124740)

ATIF/REFERENCE: Polat, V. (2022). Twitter Satış Sürecinin Duygu Analizi ile İncelenmesi: Dijital Pazarlama Açısından Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 442-448.

Öz

Twitter günümüzde en yaygın kullanılan sosyal medya araçlarından biri olması hasebiyle dijital pazarlama amacıyla bireysel ve kurumsal olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Twitter paylaşımları sadece duyuru ve haberleri içermemekte, artık kişileri ve makro gelişmeleri dahi etkileyebilmektedir. Bu paylaşımları incelen duygu analizi çalışmaları daha çok tüketicilere odaklansa da bu çalışmada Elon Musk'ın Twitter satın alma sürecindeki paylaşımlarının etkileri analiz edilmiştir. 14 Nisan – 28 Mayıs 2022 tarihleri arasında toplanan toplanan 2787 tweet incelenmiştir. Paylaşımların toplanmasında #ElonMuskTwitter, #ElonMuskBuyTwitter, #TeslaStock, #TwitterSold, #TwitterTakeover olarak en yaygın kullanılan hashtagler olarak seçilmiştir. Tweetler “sentiment viz” platformu kullanılarak toplanmış ve Senti Strenght programı ile analiz edilmiştir. Duygu analizi sonuçlarında özellikle Tesla hisse sahip veya takipçilerinin daha çok kullandığı değerlendirilen #TeslaStock hashtaginin daha çok negatif duygulara sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Twitter, Dijital Pazarlama.

Examination of Twitter Takeover Process with Sentiment Analysis: An Evaluation in Terms of Digital Marketing

Abstract

Since Twitter is one of the most widely used social media platforms today, it is also effectively used individually and organizationally for digital marketing purposes. Twitter shares do not only contain announcements and news, but they can also affect people and macro developments. Although sentiment analysis studies examining these shares are mostly focused on consumers, in this study, the effects of Elon Musk's shares on Twitter takeover process have been analyzed. 2787 tweets collected between 14 April and 28 May 2022 were examined. In the collection of shares, #ElonMuskTwitter, #ElonMuskBuyTwitter, #TeslaStock, #TwitterSold, #TwitterTakeover were chosen as the most widely used hasg tags. Tweets were collected using the sentiment viz platform and analyzed with the Senti Strenght program. In the sentiment analysis results, it was seen that the hashtag #TeslaStock has more negative emotions.

Keywords: Sentiment Analysis, Twitter, Digital Marketing.

* Sorumlu Yazar: vpolat@yalova.edu.tr

1. Giriş

Birçok şirket, Twitter'ı müşterileri ve diğer paydaşları ile iletişim kurmanın etkin ve değerli yöntemlerinden biri olarak kullanmaktadır (Kollat & Farache, 2017). Dünyanın en zengin insanlarından biri olan Tesla şirketinin CEO'su Elon Musk Twitter'ı en sık kullanan popüler kişilerden birisidir. Teknoloji ve inovasyonda yaşayan en tanınmış kişiler arasında yer almaktadır ve Twitter'da 100 milyona yakın takipçisi bulunmaktadır. Twitter'da kişisel mesajlarının yanı sıra şirket haberleri ve güncel gelişmeler ile ilgili de paylaşımlar yapmaktadır. Bunlar arasında kendi şirketleri ile ilgili yaptığı paylaşımlar olduğu gibi popüler gündem, kripto para piyasaları veya politik konular hakkında yaptığı paylaşımlar da dünya genelinde büyük ses getirebilmektedir ve finansal piyasalarda dahi değişimlere neden olabilmektedir (Oosterbaan, 2021). Elon Musk, kişisel Twitter hesabını Tesla, SpaceX, OpenAI ve The Boring Company gibi şirketleri hakkında duyurular ve ürün güncelleme haberleri için de kullanmaktadır ve borsala hareketlerini etkileyecek kadar güçlü tweetler atabilmektedir. Günümüzde Twitter en öne çıkan sosyal medya platformlarından birisidir ve birçok araştırma, hisse senetleri, kripto piyasaları ve ekonomik gelişmeler ile atılan tweetler arasındaki ilişkiyi incelemiştir (Ante, 2021; Malhotra & Malhotra, 2016; Strauss & Smith, 2019; Zaman vd., 2022).

Bu çalışma Nisan - Mayıs 2022 döneminde Elon Musk'ın Twitter'ı satın alma girişimi ile ortaya çıkan gelişmeleri, Musk'ın gelişmelere dair attığı tweetlere sosyal medya kullanıcılarının verdikleri tepki çerçevesinde duygu analizi yöntemi ile incelemeyi amaçlamaktadır. Elon Musk'ın Twitter'ı satın alma girişimi hem pazarlama hem de finansal piyasalar açısından incelenmesi gereken birtakım gelişmeleri ortaya çıkarmıştır (Safak, 2022). Twitter'ı daha önce hem kendi şirketleri hem de kripto piyasaları için kullanan ve bunun piyasalarda değişime sebep olabilecek bir seviyede kullanabilen Elon Musk'ın Twitter'ı satın alma girişimi ile farklı paradokslar içeren bir durum ortaya çıkmıştır. Bu girişim bir kısım Twitter kullanıcıları tarafından olumlu karşılanırken, bazı kullanıcılar ve Tesla hisse sahipleri bunu olumlu karşılamamıştır (bbc.com, 2022). Tesla hisseleri kısa sürede ciddi düşüş göstermiştir. 14 Nisan 2022 tarihinde başlayan bu satın alma süreci, 13 Mayıs'da durdurulmuş ve nihayetinde 28 Mayıs 2022'de satın alma sürecinin tamamlandığı Elon Musk tarafından duyurulmuştur. Bu çalışmada satın alma sürecinde kullanıcıların attıkları tweetler bu üç önemli tarih baz alınarak duygu analizi ile incelenmiştir.

2. Literatür

2.1. Bir Dijital Pazarlama Mecrası olarak Twitter

Son yirmi yılda sosyal medya platformlarının gelişmesinden bu yana, milyarlarca insanın bağlantıda kalabileceği, görüşlerini paylaşabileceği ve bireyler, şirketler ve belirli olaylarla ilgili duygularını ifade edebileceği yeni bilgi kaynakları ve iletişim platformları açıldı (Evans vd., 2021). Dünyanın önde gelen sosyal medya platformlarından biri olan Twitter, 450 milyondan fazla aktif kullanıcıya sahiptir. Ağrılıklı olarak kişisel iletişime yönelen diğer sosyal medya platformlarının aksine, Twitter iş dünyası için daha aktif olarak kullanılmaktadır (Sivasangari vd., 2018). Sonuç olarak, marka yöneticileri, müşteri hizmetleri temsilcileri ve yöneticiler, ilgilendikleri bilgi akışlarından haberdar olabilmek ve mevcut ve potansiyel müşterilerle iletişim kurabilmek için Twitter'ı aktif kullananlar arasında yer almaktadır. Twitter'ı daha

çok finansal ve iş dünyasındaki gelişmeler ve pazarlama odaklı kullananlar, gerçek zamanlı bilgi akışı ve kendi paylaşımları için etkin bir araç olarak görmektedirler (Krüger vd., 2012; Malhotra & Malhotra, 2016; Sook Kwon vd., 2014).

Günümüzde iş dünyasında özellikle uluslararası ölçekli şirket CEO'ları da tweet atarak haber paylaşımı, iletişim başlatma ve diğer insanları etkileme fırsatına sahip olmaktadır. CEO'lar kendi şirketleri için gerçekleşen veya potansiyel gelişmeler için medya veya art niyetleri olan kişiler tarafından yönlendirilecek haber ve paylaşımları beklemek yerine, kamuoyu imajını ve şirketlerinin imajını şekillendirme ve yönlendirme amacıyla Twitter'ı kullanmaktadır (Malhotra & Malhotra, 2016). Sosyal medya platformlarının artan kullanımı, kamu tarafından kolayca erişilebilir olduğundan ve yatırımcıların karar vermesini etkileyebileceğinden, hem bahsedilen şirket yöneticileri tarafından kullanılmakta ve aynı zamanda piyasa düzenleyicileri tarafından takip edilmektedir. Finansal anlamda en sık yaşananların başında atılan Tweet'ler sonrasında piyasalarda hisse senedi fiyatların hareketlenmesi gösterilebilir. Buna bir örnek olarak, Elon Musk'ın şirketi Tesla Inc. ile ilgili attığı tweetlerin hisse senedi piyasalarını etkilemesi verilebilir (Kim vd., 2021). 1 Mayıs 2020'de Elon Musk, Tesla'nın hissesinin aşırı değerli olduğunu düşündüğünü belirterek "Tesla's stock price is too high imo." (Bence Tesla hisse senedi fiyatı çok yüksek) tweetini attı. Tweet, Tesla hisse senedi fiyatında keskin bir düşüşle sonuçlandı ve Tweet yayımlandıktan sonraki ilk on dakika içinde yüzde 4,6'lık bir düşüş gerçekleşti (Korosec, 2022). Yine Elon Musk 7 Ağustos 2018'de Tesla için fon sağladığını belirttiği bir başka tweet'i, anında bir fiyat artışına neden oldu ve Tesla'nın hisseleri yüzde 10 arttı (Ferris, 2018). Bunun sonucunda ABD Menkul Kıymetler ve Borsa Komisyonu tarafından Tesla'yı özel hale getirecek olası bir işlem hakkında bir dizi yanlış ve yanıltıcı tweet atıldığı için, Elon Musk menkul kıymet dolandırıcılığıyla suçlandı. Musk, uzlaşma talebi ile toplam 60 milyon ABD doları ceza ödemeyi kabul etti ve Tesla'nın başkanlığından ayrıldı. Nisan 2019'da Tesla CEO'sunun herhangi bir yazılı iletişimden onay çıkmadan önce deneyimli menkul kıymetler avukatı edinmesi gerektiğine dair ayrıntılarla uzlaşma değiştirildi (Zhang & Matousek, 2019). Bunlar iki uç örnek olsa da sosyal medya platformlarının ve etkin kullanıcılarının finansal piyasalar ve hatta şirketlerin marka değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir.

Etkili kişilerin Twitter aracılığıyla yaptığı paylaşımlar, şirketler veya diğer popüler konular ile yaptıkları yorumlar yaygın medya araçları için de haber değeri taşımakta ve özellikle hisse ve kripto borsa yatırımcıları tarafından takip edilmektedir (Edman & Weishaupt, 2020; Kim vd., 2021). Sosyal medya platformlarının artan etkisi, sonuç olarak davranışsal finans ve pazarlama alanındaki araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir. Yeni medya platformlarının borsadaki rolünü incelemeye olan ilginin yanı sıra, paylaşılan çevrimiçi gönderilerin neden olduğu gelişmeler ile marka değerleri, tüketici davranışları, şirket değerleri ve hisse senedi fiyat hareketlerini inceleme açısından önemli ve gelişen bir alan haline geldi (Alwash vd., 2021; Makarem & Jae, 2016; Read vd., 2019; Samala & Raganathan, 2020).

Bu araştırmanın da konusu olan Elon Musk'ın Twitter'ı satın alma girişimi hem sosyal medyada hem de finansal piyasalarda büyük ses getirdi. Musk, 14 Nisan 2022'de Twitter'ı satın alma niyetini duyurdu. Musk 44 milyar dolarlık bir teklif yaparak Twitter'ın tümünü kontrol edecek bir hisse payı için teklifini ilettili ve 25 Nisan 2022 tarihinde Twitter bu teklifi kabul etti (Hawkins, 2022). Aslında öncesinde, 14 Mart 2022'de Musk Twitter'ın %9.2'lik hissesini satın almıştı. Fakat Musk, Twitter'ı kontrol

edebileceği seviyede bir hisse sahipliği için satın alma motivasyonunun insanlara “ifade özgürlüğü” ortamı sağlayacak bir platform sunma olarak ifade etmiş ve Twitter kullanıcılarına bir anket de yapmıştı. Fakat Musk’ın 14 Nisan 2022’de yaptığı teklif sonrası aynı gün Twitter hisseleri %1.68, Tesla hisseleri de %3.6 düşüş gösterdi (Subin, 2022). Devam eden günlerde Tesla hisseleri düşüşüne devam etti ve 14 Nisan 2022 tarihinde 985 dolar olan hisse senedi fiyatı 24 Mayıs 2022 tarihinde 628,16 dolara kadar geriledi. 13 Mayıs 2022 tarihinde Musk attığı tweet ile Twitter’daki gerçek olmayan, sahte hesapların sayısının yüksekliğini gerekçe göstererek Twitter satın alma sürecini beklemeyle ilgili duyurdu. Bu duyurunun ardından aynı gün Twitter hisseleri %10’luk bir düşüş gösterdi (Milmo vd., 2022). 28 Mayıs 2022 tarihinde de Musk, Twitter’ın satın alma sürecinin tamamlandığını duyurmuştur.

2.2. Duygu Analizi ve Twitter

Duygu analizi bir metin madenciliği yöntemidir ve insanlar tarafından üretilen metinlerin analiz edilerek farklı amaçlar doğrultusunda yorumlanabilir ve anlamlı sonuçlar çıkarma çabalarını içeren yöntem ve araçları kapsamaktadır (Atlı & İlhan, 2021). Özellikle sosyal medya üzerine yapılan çalışmalarda duygu analizi en çok kullanılan analiz yöntemlerinden biridir. Duygu analizinin temel amacı insanların ürettikleri metinlerde yer alan duyguların anlaşılması ve ortaya çıkarılması olarak ifade edilebilir (Çelik vd., 2021). Pazarlama alanında yapılan çalışmalarda örneğin tüketicilerin bir ürün veya markaya ait sosyal medya paylaşımları incelenir, tutumları ölçülmeye çalışılır ve metinlerin içerdiği duygular pozitif, negatif veya nötr olarak sınıflandırılabilir (Göçgün & Aytuğ, 2021). İşletmeler açısından tüketicilerin analizi, pazar analizi, finansal analizler ve insan kaynakları için farklı amaçlar ile de kullanılmaktadır.

Twitter paylaşımları kullanılarak yapılan duygu analizleri 2009 yılına kadar gitmektedir (Go vd., 2009). Bollen vd. (2011), gelecekteki hisse senedi fiyat hareketlerini tahmin etmek için Twitter tabanlı verileri kullanan ilk araştırmacılardan biridir. Duygu analizlerinde tweetlerde ifade edilen fikirlere, duygulara ve ruh hallerine dayalı duyguları ortaya çıkarmak ve sınıflandırmak için sözlük tabanlı bir yaklaşım kullanılmaktadır. Smailovic ve ark. (2014) ve Sul ve ark. (2017), Twitter duyarlılığının bireysel hisse senedi getirileri üzerindeki etkisini incelemiştir. Smailovi’c ve ark. (2014), 2011’de dokuz ay boyunca sekiz ayrı hisse senedi üzerinde iki farklı duygu sınıflandırması yapmış, pozitif ve negatif sınıflandırılmış duygular arasındaki korelasyonu incelemiştir. Sul ve ark. (2017), gelecekteki hisse senedi getirilerini tahmin etmek için Twitter duyarlılığını, kullanıcı boyutlarını da dikkate alarak analiz etmiştir. Sul ve ark.

(2017), bir Twitter kullanıcısının çok sayıda takipçisinin ve retweetinin hisse senedi fiyatı üzerinde önemli ve anında bir etkisi olduğunu öne sürmektedir. Sinoplu ve Ceyhan’da (2022) turistik yerler ile ilgili sosyal medya paylaşımlarının duygu analizini Twitter verileri üzerinde yapmışlardır.

3. Materyal ve Metot

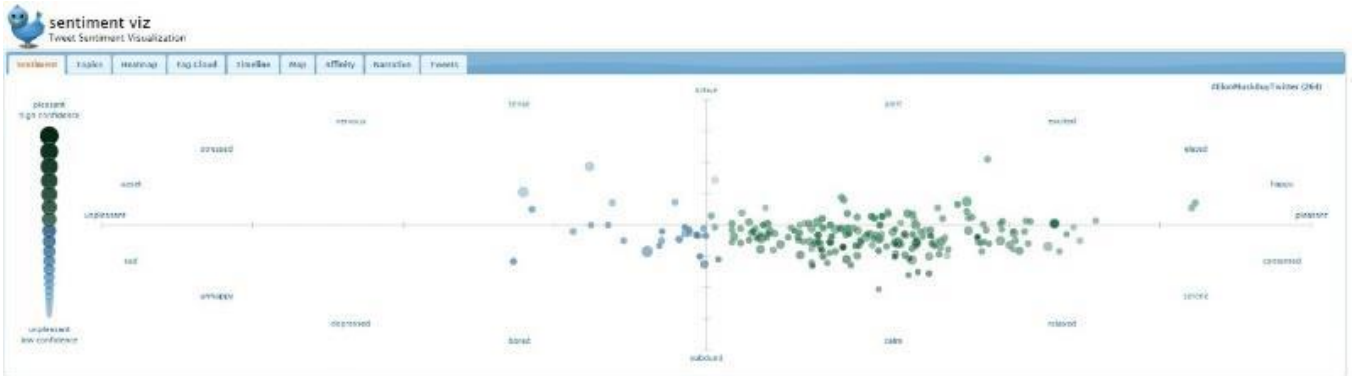
3.1. Yöntem

Bu araştırmada analiz edilen tweetler 14 Nisan – 28 Mayıs 2022 tarih aralığında yer almaktadır. Tweetler sentiment viz platformu kullanılarak toplanmış ve Senti Strenght programı ile analiz edilmiştir (Sivasangari vd., 2018; Yang vd., 2019). Sentiment viz uygulaması, metinde bulunan temel duygusal özelliklerin hem analizini hem de görselleştirilmesini sağlayan bir web arayüzü aracılığıyla kullanılabilir. Kullanıcı, giriş alanına bir anahtar kelime veya hashtag girebilir. Twitter arama API’si tweet’leri toplar. Her tweet’in İngilizce yazılmış metninden, duygusal boyutların yanı sıra 1.034 İngilizce kelimenin duyarlılığını bildiren bir sözlük olan The Affective Norms for English Words (ANEW) kullanılarak bir duygu tahmin edilir (Ciullo vd., 2016).

Bu çalışmada farklı kullanıcı bakış açılarından araştırma konusunu incelemek için farklı hashtagler kullanılarak arama yapılmıştır. Bu hashtagler, #ElonMuskTwitter, #ElonMuskBuyTwitter, #TeslaStock, #TwitterSold, #TwitterTakeover olarak en yaygın kullanılanları olarak seçilmiştir (Chaturvedi, 2022). Toplanan tweetler konu ile ilgili olmayanlar temizlendikten sonra Senti Strenght programı ile analize dahil edilmiştir. Senti strength programı kısa metinlerdeki duyguları tahmin eden bir uygulamadır (Hammad & Al-awadi, 2016; Koto & Adriani, 2015). Algoritma tarafından verilen duyguya (pozitif, nötr, negatif) dayalı olarak, her bir tweete kapsamlı bir duygu puanı atanır. Tweetler, satın alma sürecindeki üç önemli gün baz alınarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Birinci grup 14 Nisan 2022 tarihinde Elon Musk’ın satın almayı ilk duyurduğu gün. İkinci grup 13 Mayıs 2022 tarihinde Musk’ın satın alma sürecini durdurduğunu duyurduğu gün. Ve son olarak 28 Mayıs 2022 tarihinde Musk’ın satın alma sürecinin tamamlanarak Twitter’ı satın aldığı ilan ettiği günlerde yukarıda belirtilen hashtagler doğrultusunda kullanıcıların attıkları tweetlere duygu analizi yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Analiz



Şekil 1 Sentiment viz duygu analiz dağılımı #ElonMuskBuyTwitter hashtagi için (Figure 1 Sentiment viz distribution for #ElonMuskBuyTwitter hashtag)

4. Sonuç

Bu araştırmada dünyada en yaygın ve etkin kullanılan sosyal medya araçlarından Twitter'ın satın alma süreci duygu analizi yöntemi ile incelenmeye çalışılmıştır. Twitter ve Elon Musk hem kullanıcı hem de platform olarak dünyadaki makro gelişmelere doğrudan etki edebilen taraflar olarak, Musk'ın Twitter'ı satın alma süreci ve bu süreç içerisinde yaşanan gelişmeler hem akademik hem de uygulamacılar açısından ilgi çekici sonuçları ortaya çıkarmıştır (Safak, 2022). Musk'ın Twitter üzerinden yaptığı paylaşımlar finansal ve kripto borsaları etkilemektedir ve kullanıcılar tarafından yakından takip edilmektedir. Kendisinin Twitter'ı satın alma süreci de geniş yelpazede hem kendi şirketlerini hem de sosyal medya platformlarını etkilemiştir.

Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde kullanılan hashtagler için ortak bir duygu kümelenmesinin oluştuğunu söylemek çok da mümkün gözükmemektedir. Fakat özellikle hashtagler özelinde bakıldığında #TeslaStock hashtagi haricindekilerde daha çok Twitter odaklı kullanıcıların tweetlerinin yer aldığı göz önüne alındığında satın alma sürecine pozitif bir yaklaşımdan söz edilebilir. Elon Musk'ın Twitter'ı satın almadaki temel motivasyonun "ifade özgürlüğü" olduğunu ifade etmesi bunu destekleyen bir unsur olarak değerlendirilebilir. Musk'ın yenilikçi imajı Twitter'ın daha özgür bir platform haline getirilmesi açısından destek görmüş olabilir.

Diğer taraftan hashtaglerde nötr duygu yoğunluğu da göze çarpmaktadır. Bunun nedeni de Elon Musk'ın "ifade özgürlüğü" iddiasının yanı sıra özellikle 13 Mayıs 2022 tarihinde satın alma sürecini durdurmasına neden olarak gösterdiği sahte ve bot hesapların beklediğinden çok olmasını öne sürmesi olabilir. Çünkü Musk'ın sahte ve bot hesaplara izin vermeme düşüncesi, anonim hesaplarla Twitter kullanan kişileri tedirgin etmiştir. Bu kullanıcılar anonim kullanıma izin verilmemesinin, ifade özgürlüğünden ziyade bir tür kısıtlama olacağını öne sürmüşlerdir. Dolayısıyla nötr ve negatif duygularda yoğunlaşmanın temel nedenlerinden birinin de bu olduğu düşünülmektedir.

Hashtagler arasında diğerlerinden en çok ayrılan sonuçlar #TeslaStock hashtagi için gözlemlenmiştir. Bu hashtag için sonuçların diğerlerine nazaran negatif duyguda daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeninin bu tagi kullanan kullanıcıların daha çok Tesla yatırımcısı veya takipçisi olduğu değerlendirilebilir. 14 Nisan 2022 tarihinde Musk'ın satın almayı duyurması ile birlikte başlayan Tesla hisselerindeki ciddi düşüş de bu bağlamda değerlendirilebilir. Musk'ın Twitter'ı satın alma girişimi özellikle Tesla yatırımcısı ve takipçileri tarafından çok hoş karşılanmamıştır (Subin, 2022). Medyada çıkan tartışmalarda da Musk'ın Twitter'ı satın alması sonrasında odağının Tesla'dan kayıp kaymayacağı da yer almıştır. Tesla yatırımcısı ve takipçilerinin de bu endişe içerisinde olması hem Tesla'nın hisse fiyatlarına hem de sosyal medyadaki tartışma ve paylaşımlarına yansdığı söylenebilir. Tarihler açısından da bu husus değerlendirildiğinde 14 Nisan tarihinde bu #TeslaStock hashtagindeki negatif duygu oranı %39 çıkarken, 13 Nisan tarihinde satın almanın durdurulduğu haberinden sonra %32'ye gerilediği görülmektedir. Fakat 28 Mayıs tarihinde satın alma sürecinin tamamlandığının duyurulması ile negatif duygu oranı #TeslaStock hashtagi için %46'ya yükselmiştir. Bu sonuçlar Tesla takipçi ve yatırımcılarının bu satın alma sürecinden çok da memnun olmadığı şeklindeki tartışmaları destekler nitelikte sayılabilir.

Sosyal medya platformları çoğunlukla ücretsiz, kullanımı kolay ve çok fazla kişiye hızlıca ulaşma imkanı verse de risksiz değildir. Twitter hızlı hareket eden bir iletişim ortamıdır ve bilgileri gerçek zamanlı olarak paylaşmanın doğasında var olan bir risk içermektedir. Günümüzde organizasyonların gerçek zamanlı ve işletmelere ulaşabilecek küçük sinyallerin dahi değerlendirilerek tedbir alınması, cevap verilmesi veya hazırlıklı olunması pazarlama stratejileri geliştirilirken göz önüne alınması gereken noktalardan olduğuna dair tartışmalar devam etmektedir. Twitter satın alma sürecinin duyurulması ile Tesla hisselerindeki ciddi düşüş yüz milyarca dolarlık bir değer kaybına çok kısa sürede neden olmuştur. Bu açıdan değerlendirildiğinde sosyal medya sadece işletmelerin tüketici seviyesinde çift yönlü iletişim kurduğu bir mecra olarak değerlendirmek eksik kalacaktır. Endüstri seviyesinde de dijital kanalların etkisi, oldukça hızlı ve ciddi sonuçlara neden olabilmektedir. Pazarlama planlayıcıları ve uygulayıcıları stratejiler geliştirirken bu hususu göz önüne almalıdırlar. Sosyal medya işletmeler için sağladıkları kolaylıkların yanı sıra, beklenmedik bir anda kontrolleri dışına çıkabilecek durumların ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Bu araştırmada da görüldüğü üzere özellikle büyük organizasyonlar veya onların toplumu etkileme gücü olan yöneticileri buldukları konumun verdiği avantaj ile kendileri için fayda sağlayabilecek yönelim ve uygulamalarda bulunabilmektedirler. Fakat sonucunun farklı şekilde planlandığı hamleler, bu organizasyon veya kişilerin bekledikleri şekilde nihayete erememekte veya süreç kontrolden çıkabilmektedir. Sonrası süreçte ortaya çıkan olumsuz durumun tekrar düzeltilmesi veya eski haline gelmesi zor veya çok maliyetli bir hal alabilmektedir. Sonuç olarak organizasyonlar dijital pazarlama kanallarını kullanırken alabilecekleri beklenmedik tepkileri ve sonuçları doğru bir şekilde değerlendirmeli ve yönetmelidirler.

4.1. Kısıtlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu araştırma birtakım kısıtlara sahiptir. Öncelikle incelenen veriler Twitter satın alma sürecindeki üç önemli tarih için incelenmiştir. Dolayısıyla daha çok anlık tepki olarak nitelendirilebilecek sonuçlar elde edilmesinden dolayı genellebilirlik açısından daha geniş zaman dilimindeki tweetler gelecek çalışmalar için incelenebilir.

Gelecek çalışmalarda incelenecek tweetler için kullanıcıların profillerine dair çıkarımların yapıldığı gruplamalara göre incelemeler yapılabilir. Bu şekilde kullanıcıların bakış açılarının daha net bir şekilde ortaya konması açısından faydalı olabilir.

Bu çalışmada verilerin incelenmesi için kullanılan araçlar haricinde yeni metod ve araçlar kullanılarak disiplinler arası çalışmalar daha geniş ve etkin çıkarımlar yapılabilmesi açısından faydalı olacaktır. Günümüzde her ne kadar kamuya açık analiz platform ve araçlarının araştırmacılar için katkısı yadsınmasa da her platformun sahip olabileceği birtakım kısıtlar, bu araçlar için de geçerli olacaktır. Dolayısıyla daha yüksek sayı da verilere ulaşma imkanı sağlayan ve bu verilerin analizi için daha fazla seçenek ve esneklik sağlayan metodların kullanılmasının faydalı olacağı aşikardır.

Kaynakça

Alwash, M., Savarimuthu, B. T. R., & Parackal, M. (2021). Mining brand value propositions on Twitter: Exploring the link between marketer-generated content and eWOM outcomes. *Social Network Analysis and Mining, 11*(1), 1-25.

- Ante, L. (2021). How Elon Musk's twitter activity moves cryptocurrency markets. *Available at SSRN 3778844*.
- Atlı, Y., & İlhan, N. (2021). Duygu Analizi İçin Yeni Bir Sözlük; NAYALex Duygu Sözlüğü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 1050-1060.
- Bollen, J., Mao, H., & Zeng, X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of computational science*, 2(1), 1-8.
- Chaturvedi, A. (2022, Nisan 27). Twitter abuzz with posts, memes, hashtags after Elon Musk takeover. *The Economic Times*. <https://economictimes.indiatimes.com/tech/tech-bytes/twitter-abuzz-with-posts-memes-hashtags-after-elon-musk-takeover/articleshow/91108575.cms?from=mdr>
- Ciullo, F., Zucco, C., Calabrese, B., Agapito, G., Guzzi, P. H., & Cannataro, M. (2016). Computational challenges for sentiment analysis in life sciences. *2016 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*, 419-426. <https://doi.org/10.1109/HPCSim.2016.7568365>
- Çelik, E., Deniz, D. A. L., & AYDİN, T. (2021). Duygu Analizi İçin Veri Madenciliği Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 880-889.
- Edman, G., & Weishaupt, M. (2020). *Predicting Tesla Stock Return Using Twitter Data*.
- Evans, D., Bratton, S., & McKee, J. (2021). *Social media marketing*. AG Printing & Publishing.
- Ferris, R. (2018, Ağustos 7). *Tesla shares surge 10% after Elon Musk shocks market with tweet about going private*. CNBC. <https://www.cnbc.com/2018/08/07/tesla-says-no-final-decision-has-been-made-to-take-company-private.html>
- Go, A., Huang, L., & Bhayani, R. (2009). Twitter sentiment analysis. *Entropy*, 17, 252.
- Göçgün, Ö. F., & Aytuğ, O. (2021). Amazon Ürün Değerlendirmeleri Üzerinde Derin Öğrenme/Makine Öğrenmesi Tabanlı Duygu Analizi Yapılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 445-448.
- Hammad, M., & Al-awadi, M. (2016). Sentiment analysis for arabic reviews in social networks using machine learning. *Çinde Information technology: New generations* (ss. 131-139). Springer.
- Hawkins, A. J. (2022, Nisan 16). *Elon Musk buys Twitter: All the news you need on one of the biggest tech deals of all time*. The Verge. <https://www.theverge.com/23026874/elon-musk-twitter-buyout-news-updates>
- Kim, D. P. K., Lee, J., Lee, J., & Suh, J. (2021). Elon Musk's twitter and its correlation with Tesla's stock market. *International Journal of Data Science and Analysis*, 7(1), 13-19.
- Kollat, J., & Farache, F. (2017). Achieving consumer trust on Twitter via CSR communication. *Journal of consumer marketing*.
- Korosec, K. (2022). Tesla shares fall on Elon Musk 'stock price too high' tweet. *TechCrunch*. <https://social.techcrunch.com/2020/05/01/tesla-shares-fall-on-elon-musk-stock-price-too-high-tweet/>
- Koto, F., & Adriani, M. (2015). A comparative study on twitter sentiment analysis: Which features are good? *International Conference on Applications of natural language to information systems*, 453-457.
- Krüger, N., Stieglitz, S., & Potthoff, T. (2012). Brand Communication In Twitter-A Case Study On Adidas. *PACIS*, 161.
- Makarem, S. C., & Jae, H. (2016). Consumer boycott behavior: An exploratory analysis of twitter feeds. *Journal of consumer affairs*, 50(1), 193-223.
- Malhotra, C. K., & Malhotra, A. (2016). How CEOs can leverage twitter. *MIT Sloan Management Review*, 57(2), 73.
- Milmo, D., Hern, A., & Anguiano, D. (2022, Mayıs 13). Twitter takeover temporarily on hold, says Elon Musk. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/technology/2022/may/13/twitter-takeover-temporarily-hold-elon-musk>
- Oosterbaan, E. (2021, Aralık 14). *The Elon Effect: How Musk's Tweets Move Crypto Markets*. <https://www.coindesk.com/layer2/culture-week/2021/12/14/the-elon-effect-how-musks-tweets-move-crypto-markets/>
- Read, W., Robertson, N., McQuilken, L., & Ferdous, A. S. (2019). Consumer engagement on Twitter: Perceptions of the brand matter. *European Journal of Marketing*.
- Safak, V. (2022). Elon Musk's Twitter Takeover: Politician Accounts. *arXiv preprint arXiv:2205.08491*.
- Samala, N., & Raganathan, K. M. S. (2020). Applications of AI and ML Techniques on Twitter Data to Understand Consumer Behavior: Critical Insights. *Asian Journal of Research in Marketing*, 9(3), 1-8.
- Sinoplu, M., & Ceyhan, E. B. (2022). Sentiment Analysis of Social Media Posts about Tourist Attractions: Black Sea Region Sample. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 36, 305-315.
- Sivasangari, V., Mohan, A. K., Suthendran, K., & Sethumadhavan, M. (2018). Isolating rumors using sentiment analysis. *Journal of Cyber Security and Mobility*, 181-200.
- Smailović, J., Grčar, M., Lavrač, N., & Žnidaršič, M. (2014). Stream-based active learning for sentiment analysis in the financial domain. *Information sciences*, 285, 181-203.
- Sook Kwon, E., Kim, E., Sung, Y., & Yun Yoo, C. (2014). Brand followers: Consumer motivation and attitude towards brand communications on Twitter. *International Journal of Advertising*, 33(4), 657-680.
- Strauss, N., & Smith, C. H. (2019). Buying on rumors: How financial news flows affect the share price of Tesla. *Corporate Communications: An International Journal*.
- Subin, S. (2022, Nisan 14). *Elon Musk offers to buy Twitter for \$43 billion, so it can be "transformed as private company"*. CNBC. <https://www.cnbc.com/2022/04/14/elon-musk-offers-to-buy-twitter-for-54point20-a-share-saying-it-needs-to-be-transformed-as-private-company.html>
- Sul, H. K., Dennis, A. R., & Yuan, L. (2017). Trading on twitter: Using social media sentiment to predict stock returns. *Decision Sciences*, 48(3), 454-488.
- Twitter investor sues Elon Musk and platform over takeover bid. (2022, Mayıs 27). *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/business-61589229>
- Yang, L., Marmolejo Duarte, C. R., & Martí Ciriquián, P. (2019). Emotion detection in public space: A multilanguage comparison in Barcelona. *XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city": UPC, Barcelona, October 2-4, 2019*.
- Zaman, S., Yaqub, U., & Saleem, T. (2022). Analysis of bitcoin's price spike in context of Elon Musk's twitter activity. *Global Knowledge, Memory and Communication*.
- Zhang, B., & Matousek, M. (2019). *Elon Musk and the SEC reach agreement requiring him to have an "experienced securities lawyer" preapprove his tweets about Tesla's business*.

Business Insider. <https://www.businessinsider.com/elon-musk-sec-reach-settlement-agreement-tesla-ceo-social-media-use-2019-4>



Türkiye'de Buğdayın Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Değerlendirilmesi

Alptekin Mert Yılmaz^{1*}, Oktay Tomar²

^{1*} Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7062-4770), alptekin.yilmaz@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5761-7157), oktay.tomar@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1192874)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, A.M., Tomar, O. (2022). Türkiye'de Buğdayın Kendi Kendine Yeterlilik ve İthalata Bağımlılık Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 449-456.

Öz

Türkiye'de en çok üretilen tahıl olan ve daha çok ekmek üretiminde kullanılan buğday önemli bir konumda yer almaktadır. Gıda güvencesinde önemli bir yer edinen buğday Türkiye'nin stratejik ürünleri arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, 2010-2020 döneminde Türkiye'de buğdayda kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık derecesinin belirlenmesidir. Öncelikle Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen buğday üretim, tüketim, ihracat ve ithalat verileri incelenmiştir. Daha sonra Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından tavsiye edilen formüller kullanılarak buğdayda kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık dereceleri hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Türkiye'de; 2010-2020 yılları arasında buğday üretim alanlarının azalma eğiliminde olduğu, ihracat ve ithalatın ise artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. 2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik oranının ortalama %96,90, ithalata bağımlılık oranının ise ortalama %27,38 olduğu belirlenmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik oranının %96,90, ithalata bağımlılık oranının %38,94 olduğu ortaya konmuştur. Buğday ithalatının giderek artacağı tahmin edilmekle birlikte bu durumun uzun vadede sürdürülebilir olmayacağı düşünülmektedir. Ekim alanlarının azalması ve iklim değişikliği gibi etkilerden dolayı buğday veriminin artırılması amacıyla sıcaklığa, hastalık ve zararlılara daha dayanıklı çeşitlerin ve sertifikalı tohumluk kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Buğday, Kendi Kendine Yeterlilik, İthalata Bağımlılık Oranı, Gıda Güvencesi.

Evaluation of Wheat in Türkiye in Terms of Self-sufficiency and Import Dependence

Abstract

Wheat, which is the most produced grain in Türkiye and is mainly used for bread making, occupies an important position. Wheat, which occupies an important place in food security, is one of the strategic products of Türkiye. The objective of this study is to determine the degree of self-sufficiency and import dependence in wheat in Türkiye during 2010-2020. First, the Turkish Statistical Institute's data on wheat production, consumption, export and import were examined. Then, using the formulas recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the degree of self-sufficiency and import dependence in wheat was calculated. According to the results of the research, it was found that wheat cultivation areas in Türkiye tend to decrease between 2010 and 2020, while exports and imports tend to increase. It was found that Türkiye's self-sufficiency rate for wheat between 2010 and 2020 is 96.90% on average and import dependence is 27.38% on average. It was found that Türkiye's self-sufficiency level in wheat in 2020 will be 96.90% and import dependence will be 38.94%. While it is expected that wheat imports will gradually increase, it is believed that this situation will not be sustainable in the long term. To increase wheat yields due to impacts such as acreage decline and climate change, it is necessary to expand the use of varieties that are more resistant to heat, diseases, and pests, and the use of certified seed.

Keywords: Türkiye, Wheat, Self-sufficiency, Import Dependency Ratio, Food Security

* Corresponding Author: alptekin.yilmaz@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

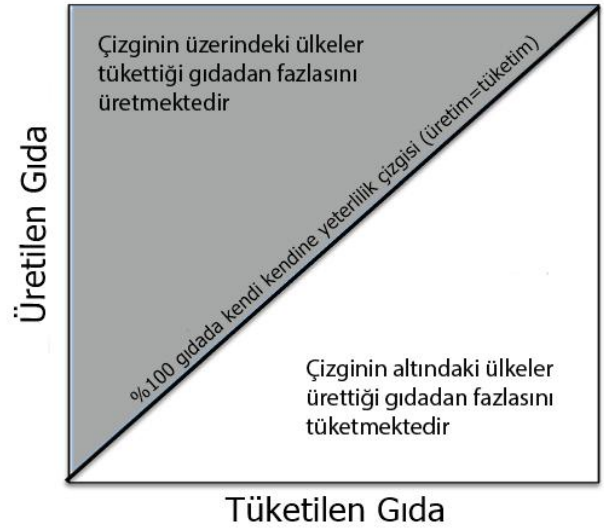
Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte tarımsal ürünlere olan talep artışını sınırlı kaynaklarla karşılamak büyük zorluk yaratmaktadır (Godfray ve ark., 2010; Foley ve ark., 2011; Beltran-Peña ve ark., 2020). Artan nüfusu beslemek için tarımsal üretimin 2050 yılına kadar en az iki katına çıkartılması gerektiği tahmin edilmektedir (Tilman ve ark., 2011). Fakat tarımsal üretimdeki mevcut verimlilik 2050 yılına kadar üretimde yaşanacak iki kat artıştan oldukça uzaktır (Ray ve ark., 2013).

Un ve dolayısıyla ekmek üretiminde kullanılan buğday özellikle gelişmekte olan ülkelerde stratejik bir ürün olarak kabul edilmektedir (Shiferaw ve ark., 2013; Ostojic ve ark., 2020). Dünya genelinde protein ihtiyacının yaklaşık %20'sini karşılayan buğday (Shiferaw ve ark., 2013), Türkiye'de yetiştirilen tahıllar arasında ilk sırada yer almaktadır (TÜİK, 2022). Buğday üretimi, kuraklık ve girdi teminindeki sıkıntılardan dolayı son yıllarda önemli ölçüde değişmiştir. Buğday başta olmak üzere tahılların yeterli miktarda ve kalitede üretilmesi hem insan beslenmesi hem de hayvan beslenmesi açısından önem arz etmektedir (Paunović ve ark., 2016). Dünya çapında üretilen buğdayın buğdayın üçte ikisinden fazlası gıda, %20'si hayvan yemi ve %3-5'i tohum, endüstriyel kullanım ve diğer kullanımlar için kullanılmaktadır (Vogel, 2017). Türkiye'deki buğday kullanımının %78,1'ini gıda, %12,4'ünü yem ve %6,6'sını tohumluk amaçlı kullanım oluşturmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a).

Gıda güvencesi, "tüm insanların, aktif ve sağlıklı bir yaşam için beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya her zaman fiziksel ve ekonomik erişimi" şeklinde tanımlanmaktadır (World Food Summit, 1996). Gıda güvencesinin; mevcudiyet, erişim, kullanım ve istikrar olmak üzere dört boyutu bulunmaktadır (FAO, 2006). Bir ülkede, gıdanın güvencesinin tüm boyutlarının sağlanması durumunda gıda güvencesinin var olduğu kabul edilmektedir (FAO, 2008). Ancak gıda güvencesi kavramı olarak gıdanın yurt dışından ithal edilip edilmediği veya yurt içinde yetiştirildiği arasında ayırım yapmamaktadır (Clapp, 2014). Gıdada kendi kendine yeterlilik arza odaklanmakta ve ülkenin kendi ihtiyaçlarını karşılayacak miktarda gıda üretme kapasitesine sahip olmasını sağlamakta ilgilenebilir (Clapp, 2017). Gıda güvencesi kavramıyla sıklıkla karıştırılsa da kendi kendine yeterlilik oranı, bir ülkenin yerel üretimi ile tüketicilerin tüm ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini ölçmektedir (Slaboch ve ark., 2018). Bir diğer tanıma göre, gıdada kendi kendine yeterlilik kavramı genellikle bir ülkenin gıda ihtiyaçlarını kendi yerli üretiminden ne ölçüde karşılayabildiği anlamına gelmektedir (FAO, 1999). Yeterli miktarda gıdanın mevcudiyetinin ve gıda güvencesinin sağlanması özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük zorluk oluşturmaktadır. Bundan dolayı özellikle Asya'da başta olmak üzere hükümetler tahıl sektörüne müdahalelerde bulunmaktadır (Tyagi, 1990; Rahman ve ark., 2005). Dolayısıyla buğdayda kendine yeterlilik birçok ülkenin tarım politikasında önemli bir yer edinmiştir (Amid, 2007). Türkiye'de de planlı kalkınma dönemiyle birlikte halkın ihtiyacı olan besin maddelerinin yurtiçi imkanlarla üretilmesi tarım politikalarının birincil hedefleri arasında yer almıştır (Demirbaş ve Atış, 2005). Gıdada kendi kendine yeterlilik hesaplamaları genel olarak pirinç, buğday ve mısır gibi belirli ürünlerde yoğunlaşmıştır (Shiferaw ve ark., 2013). 2007-2008 gıda krizinden sonra

gıdada kendi kendine yeterlilik birçok ülkenin tarım politikasında yer edinmiştir (Clapp, 2017).

Bazı analistlere göre gıdada kendi kendine yeterlilik, gıda ticaretinden kaçınan ve gıda ihtiyaçlarını karşılamak için %100 yerli gıda üretim yapan ülkeler olarak tanımlansa da bu tarz bir politika çok nadir olarak uygulanmaktadır. Tüm ülkeler, tükettiklerinden çok daha fazla gıda üreten büyük gıda ihracatçıları da dahil olmak üzere, gıda ithalatı yapmaktadır. Hatta Kuzey Kore bile gıda ithal etmekte ve uluslararası gıda yardımını kabul etmektedir (FAO, 2015). Bazı ülkeler tarafından uygulanan ithalatın durdurulmasıyla kendine yeterliliğin sağlanması amacı başarıya ulaşamamıştır (Amid, 2007). Aynı şekilde ticaret kısıtlamalarının gıda fiyatlarını daha fazla artıracığına yönelik eleştirilerde bulunmaktadır (Shadidi, 2020; Laborde ve ark., 2020). Küreselleşen ekonomi göz önüne alındığında gıdada kendine yeterlilik gıda tüketimine eşit veya daha fazla üretimdir. Dolayısıyla gıdada kendi kendine yeterlilik, üretilen gıdanın yerel düzeyde tüketilen gıdaya oranı ile tanımlandığından, ticaret bu denklem içinde yer almaktadır.



Şekil 1. Gıdada kendi kendine yeterlilik (Clapp, 2015; Clapp, 2017). (Figure 1. Self-sufficiency in food)

Eğer bir ülke gıdada kendi kendine yetiyorsa, tükettiği gıda miktarına eşit veya daha fazla miktarda gıda üretmektedir (Şekil 1). Şekilde gıda üretiminin gıda tüketimine eşit olduğu yeri gösteren orjinle sağ üst köşeyi birleştiren 45 derecelik doğru %100 gıdada kendi kendine yeterliliği temsil etmektedir. Tükettiği gıdadan fazlasını üreten ülkeler çizginin üstünde yer alırken, ürettiğinden fazlasını tüketen ülkeler çizginin altında yer almaktadır (Clapp, 2017). Gıdada kendi kendine yeterliliği ölçmede kullanılan bir diğer yöntem ise kişi başına düşen kalori miktarıdır. Buna göre günlük kişi başına 2500 kcal veya daha fazla üreten ülkeler kendi kendine yeterli olarak kabul edilir. Kişi başı günlük 2000 ile 2500 kcal arası gıda üretimi yetersiz, 2000 kcal altı üretim ise düşük olarak sınıflandırılmıştır (Porkka et al., 2013).

Artan dünya nüfusu kaynakların daha fazla tüketilmesine sebep olmaktadır. Nüfusun beslenmesi amacıyla daha fazla buğdaya ihtiyaç duyulacağı açıktır. Tarihsel süreçte buğday fiyatlarının yüksekliği ve buğdaya erişimin zorlaşması çeşitli huzursuzluklara yol açmıştır (Hibbert, 1980; Bush, 2010; Trego, 2011). Ayrıca 1980 yılından bu yana sıcaklık artışının buğday

verimini yaklaşık %5 düşürdüğü tespit edilmiştir (Lobell ve ark., 2011). Tüm bu faktörler stratejik ürünlerde ülkelerin ithalata yüksek oranda bağımlı olmadan kendi kendine yeterli olmasının önemini göstermektedir. Türkiye’de tarımsal ürünlerde gıda güvenmesine ve kendi kendine yeterliliğe yönelik birçok çalışma bulunmaktadır (Demirbaş ve Atış, 2005; Demirbaş ve ark., 2017; Aydın Can ve ark., 2021). Türk halkının beslenmesinde tahılların önemi büyük olduğundan (Aktaş, 2013), tahıllarda gıda güvenmesinin sağlanmasının oldukça önemli olduğu düşünülmektedir (Niyaz ve İnan, 2016).

Bu çalışmanın amacı, 2010-2020 yıllarında Türkiye’de buğdayın kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık derecesini analiz etmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyali ikincil verilerden oluşmaktadır. Çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’nden -Food and Agriculture Organization of the United Nations- (FAO) elde edilen buğday üretim, tüketim, ithalat ve ihracat verileri kullanılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak buğday için kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık dereceleri FAO tarafından tavsiye edilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Ulaşılan sonuçlar literatür taramasıyla desteklenmiştir.

2.2. Metot

Kendi kendine yeterlilik seviyesi, FAO (2012) tarafından önerilen ve kullanılan aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

Kendi kendine yeterlilik seviyesi = $(\text{Üretim} \times 100) / (\text{üretim} + \text{ithalat} - \text{ihracat})$

İthalata bağımlılık seviyesi FAO (2012) tarafından önerilen ve kullanılan aşağıdaki formüle göre tahmin edilmiştir:

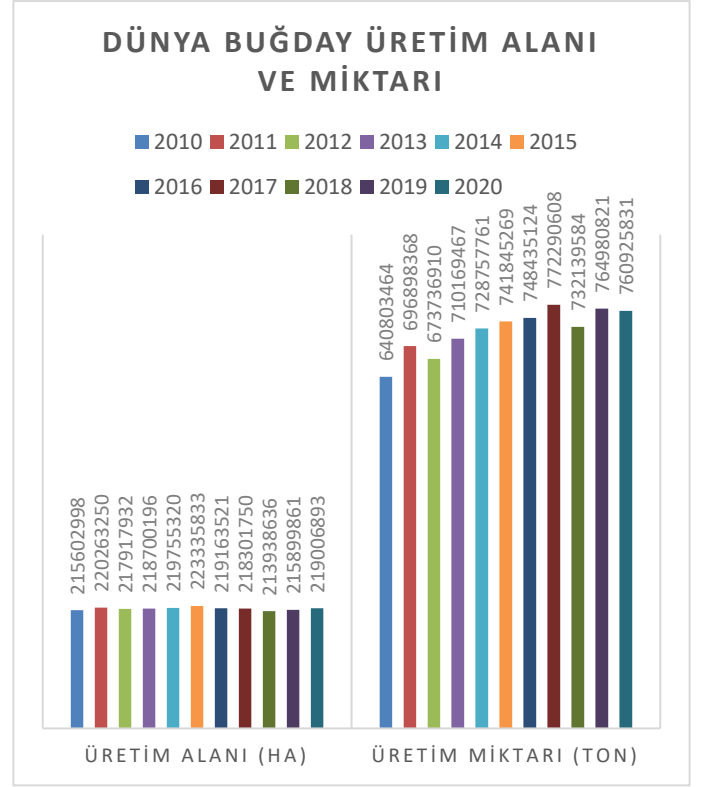
İthalata bağımlılık seviyesi = $(\text{ithalat} \times 100) / (\text{üretim} + \text{ithalat} - \text{ihracat})$

Kişi başına buğday tüketimi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

Kişi başına buğday tüketimi = $(\text{üretim} + \text{ithalat} - \text{ihracat}) / \text{nüfus}$

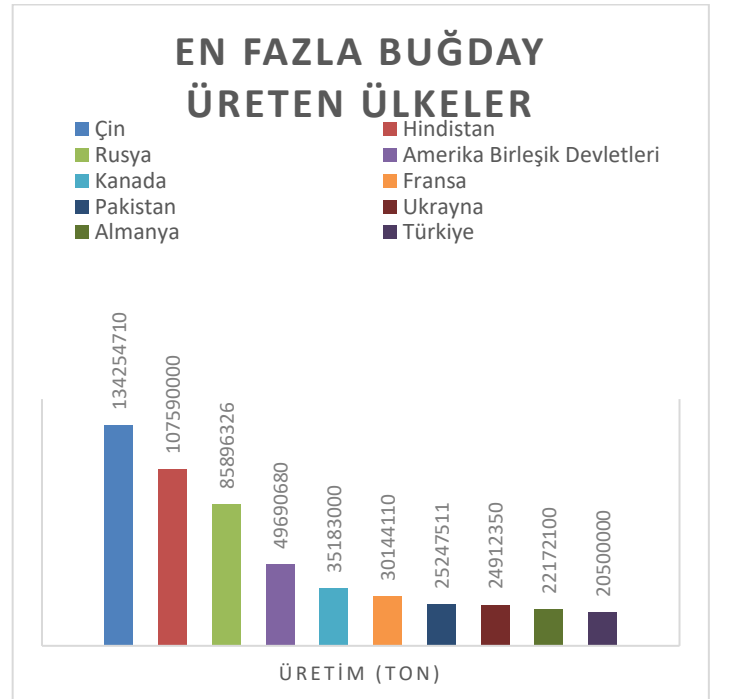
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Dünya Buğday Verileri



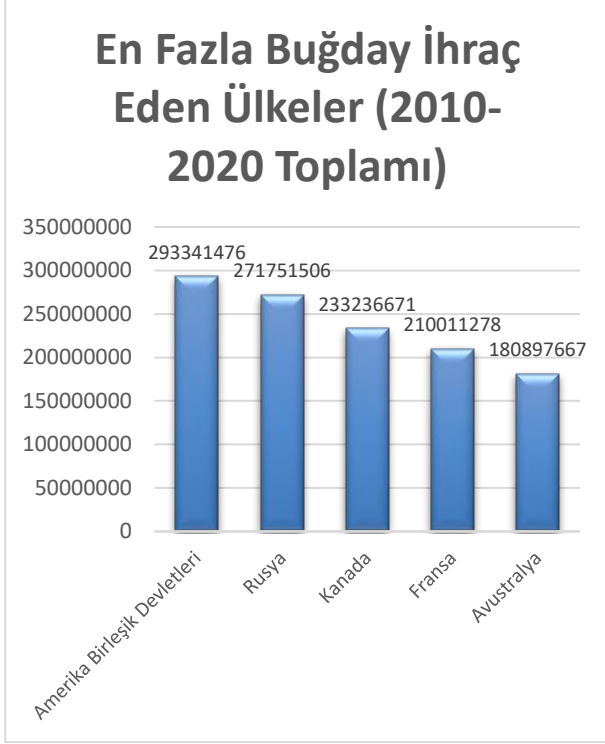
Şekil 2. Dünya Buğday Üretimi Alanı (ha) ve Üretim Miktarı (ton) (FAO, 2022a) [Figure 2. World Wheat Production Area (ha) and Production Amount (tonnes)]

Dünya buğday üretim alanı ve üretim miktarı Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre 2020 yılı itibariyle toplam 219006893 ha alanda 760925831 ton üretim gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında 2010 yılı ile kıyaslandığında buğday üretim miktarında %15,78 artış olduğu görülmektedir. 2022 yılında küresel buğday üretiminde %0,8’lik düşüş öngörülmektedir (FAO, 2022b).



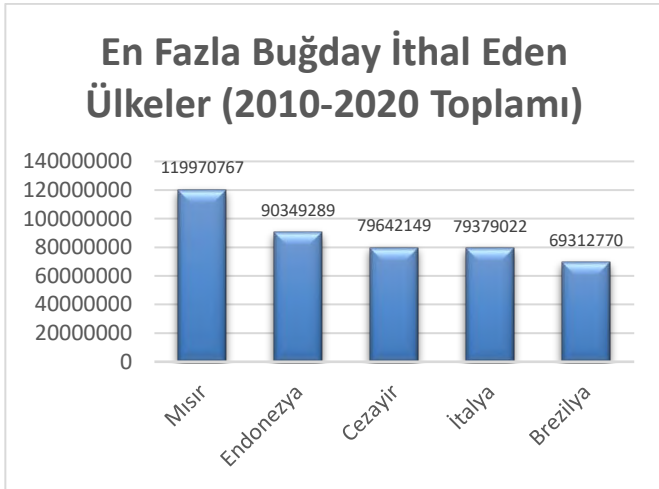
Şekil 3. En Fazla Buğday Üreten Ülkeler (2020) (FAO, 2022a) [Figure 3. Top Wheat Producing Countries (2020)]

2020 yılında en fazla buğday üreten ülkeler Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre 2020 yılında en fazla buğdayı 134254710 ton ile Çin üretirken bunu sırasıyla Hindistan, Rusya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Fransa, Pakistan, Ukrayna, Almanya ve Türkiye izlemektedir. Dünya genelindeki buğday üretimi incelendiğinde Türkiye'nin sayılı ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir (Demirbaş ve Atış, 2005).



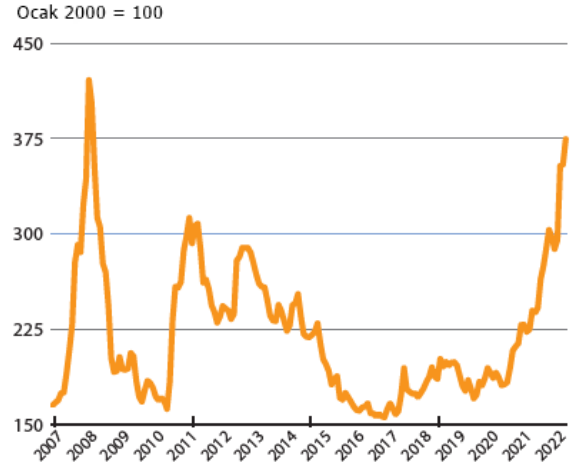
Şekil 4. En Fazla Buğday İhraç Eden Ülkeler (Figure 4. Top Wheat Exporting Countries)

2010-2020 döneminde en fazla buğday ihraç eden ülkeler Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre en fazla buğday ihraç eden ülke 293341476 tonluk ihracat miktarı ile Amerika Birleşik Devletleri'dir. Bunu sırasıyla Rusya, Kanada, Fransa ve Avustralya takip etmektedir. Bunun yanı sıra en büyük ihracatçılar arasında yer alan Ukrayna'nın buğday ihracatının yaklaşık %50 (9 milyon ton) azalacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2022b).



Şekil 5. En Fazla Buğday İthal Eden Ülkeler (2010-2020 Toplamı) (FAO, 2022a) (Figure 5. Top Wheat-Importing Countries)

2010-2020 döneminde en fazla buğday ithal eden ülkeler Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre en fazla buğday ithal eden ülke 119970767 tonluk ithalat miktarı ile Mısır'dır. Bunu sırasıyla Endonezya, Cezayir, İtalya ve Brezilya izlemektedir.



Şekil 6. Buğday Fiyat Endeksi (FAO, 2022b) (Figure 6. Figure 6. Wheat Price Index)

Şekil 6'da küresel buğday fiyat endeksi yer almaktadır. Uluslararası Hububat Konseyi -International Grains Council-(IGC) verilerine göre 2021/2022 sezonunda buğday fiyatları 2008'den beri ulaşılmayan seviyelere yükselmiştir. 2021/2022'nin ilk yarısında %23 artış gösteren buğday fiyatları Ukrayna-Rusya savaşı sebebiyle Ukrayna'dan yapılan ihracatın ani olarak askıya alınmasıyla birlikte keskin bir şekilde artış göstermiştir. 2022 Mayıs fiyatları bir önceki yılın fiyatlarına göre %55 daha fazlayken bu oran 2008 Şubat döneminde ulaşılan rekor seviyenin %12 altındadır (FAO, 2022b).

3.2. Türkiye Buğday Verileri

Türkiye'de 2010-2020 dönemi buğday üretim alanı Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre 2010 yılında 8103400 ha olan buğday üretim alanının 2020 yılında 6922237 olduğu tespit edilmiştir. Azalış eğiliminde olan buğday üretim alanının 2010 ve 2020 yılları arasında %17 azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 1. Türkiye'deki buğday üretim alanı (ha) (TÜİK, 2022) [Table 1. Wheat production area in Türkiye (ha)]

Yıl	Üretim Alanı
2010	8103400
2011	8096000
2012	7529639
2013	7772600
2014	7919209
2015	7866887
2016	7671945
2017	7668879
2018	7299271
2019	6846327
2020	6922237

Türkiye'nin buğday üretim miktarı Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre 2020 yılında Türkiye'de 20500000 ton buğday üretildiği görülmektedir. Türkiye'de buğday üretim alanları azalırken üretim miktarının artmasının verimdeki artıştan kaynaklandığı söylenebilmektedir (Demirbaş ve Atış, 2005).

Tablo 2. Türkiye'nin buğday üretimi miktarı (ton) (TÜİK, 2022)
[Table 2. Türkiye's wheat production amount (tons)]

Yıl	Üretim
2010	19674000
2011	21800000
2012	20100000
2013	22050000
2014	19000000
2015	22600000
2016	20600000
2017	21500000
2018	20000000
2019	19000000
2020	20500000

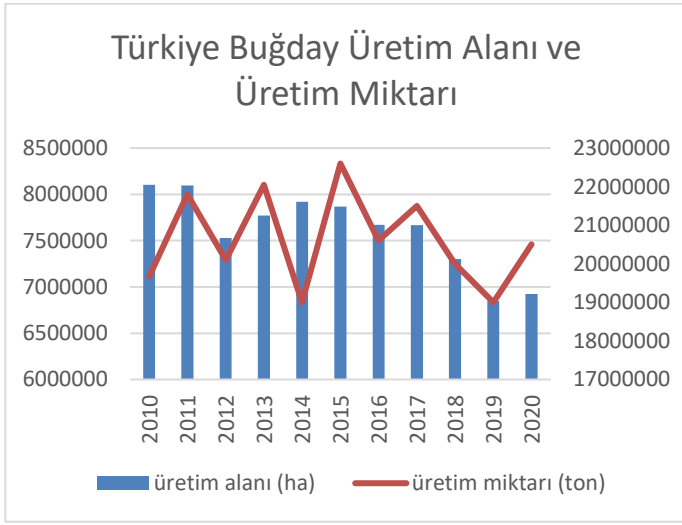
Tablo 3. Türkiye'nin buğday ihracat miktarı (ton) (TÜİK, 2022)
[Table 3. Türkiye's wheat export amount (tons)]

Yıl	İhracat
2010	3228101
2011	3977079
2012	3700742
2013	4677855
2014	4358527
2015	5918407
2016	7463969
2017	7489664
2018	7873454
2019	7530767
2020	7583765

Türkiye'nin buğday ithalat miktarı Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre 2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin buğday ithalatının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2019 yılında 10793317 ton seviyesinde ithalat miktarı rekor kırarken bu miktar 2020 yılı itibariyle 8237981 ton olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Türkiye'nin buğday ithalat miktarı (ton) (TÜİK, 2022)
[Table 4. Türkiye's wheat import amount (tons)]

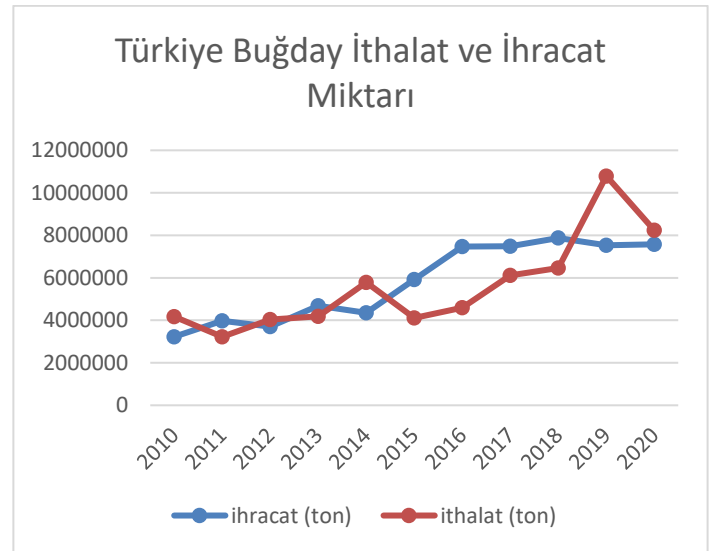
Yıl	İthalat
2010	4174105
2011	3224535
2012	4029699
2013	4185189
2014	5780716
2015	4109527
2016	4586405
2017	6109569
2018	6467562
2019	10793317
2020	8237981



Şekil 7. Türkiye'nin Buğday Üretim Alanı ve Üretim Miktarı (TÜİK, 2022) [Figure 7. Türkiye's Wheat Production Area and Production Amount]

Türkiye'nin buğday üretim alanı ve üretim miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de verilmiştir. Buna göre buğday üretim miktarının 2015 yılında 2010-2022 döneminin rekor seviyesine ulaştığı görülmektedir. Buğday üretim alanlarının ise giderek azaldığı tespit edilmiştir. 2021 verilerine göre Türkiye'de 14,5 milyon ton ekmeclik buğday ve 3,2 milyon ton makarnalık buğday üretildiği belirtilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022b).

Türkiye'nin buğday ihracat miktarı Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre 2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin buğday ihracatının giderek arttığı tespit edilmiştir. 2020 yılı itibariyle 7583765 tonluk ihracat seviyesine ulaşılmıştır. 2020 yılı verilerine göre 7512232 ton buğday karşılığında gelen 2989555 ton un, 1472454 ton makarna, 282486 ton bulgur, 80266 ton irmik, 535823 ton bisküvi olmak üzere toplam 5239584 ton mamul madde ihraç edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022b).



Şekil 8. Türkiye'nin Buğday İthalat ve İhracat Miktarı (TÜİK, 2022) [Figure 8. Türkiye's Wheat Import and Export Quantity]

Türkiye'nin buğday ithalat ve ihracat miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre 2015-2018 yılları arasında buğday ihracat miktarının, buğday ithalat miktarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Aksine 2019 yılı itibariyle buğday

ithalat miktarının, buğday ihracat miktarından daha fazla olduğu görülmektedir.

Türkiye'nin 2010-2020 yılları arasındaki buğday tüketim miktarı Tablo 5'te verilmiştir. Buna göre 2010-2020 yılları arasında ortalama 14054072 ton buğday tüketiminin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Türkiye'de buğday tüketimi (ton) (TÜİK, 2022) [Table 5. Wheat consumption in Türkiye (tonnes)]

Yıl	Tüketim
2010	15766287
2011	17089529
2012	17042330
2013	16329709
2014	15604364
2015	14399259
2016	14490086
2017	14107643
2018	14714796
2019	16034511
2020	14782565

Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik düzeyi Tablo 7'de verilmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik düzeyi %96,90 olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin 2010-2020 döneminde buğday için ortalama kendi kendine yeterlilik düzeyi ise %101,30 olarak belirlenmiştir. Buna göre Türkiye'nin yıllara göre değişmekle birlikte genel olarak buğday için %85-115 arasında tanımlanan "tükettiği gıda miktarına yakın üreten ve %5 gibi düşük açlık düzeyinde ihtiyaçlarını kolayca karşılayan" seviyede kendi kendine yeterliliğe sahip olduğu söylenebilmektedir. Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik oranının bazı yıllarda yüzün altına düşmesinin sebebinin gıda sanayisinin buğday kullanımı olduğu belirtilmektedir (Demirbaş ve Atış, 2005).

Tablo 7. Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik düzeyi (%) [Table 7. Türkiye's self-sufficiency level in wheat (%)]

Yıl	Yeterlilik*
2010	95,41
2011	103,57
2012	98,38
2013	102,28
2014	93,03
2015	108,70
2016	116,23
2017	106,85
2018	107,56
2019	85,34
2020	96,90

TÜİK verilerinden yararlanarak yazar tarafından hesaplanmıştır. *TÜİK buğday tüketim verisi ve FAO tarafından tavsiye edilen formül dikkate alınmış olup yemlik kullanım ve stok değişimi dikkate alınmamıştır.

Türkiye'de kişi başına düşen buğday tüketim miktarı Tablo 8'de verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin 2010-2020 yılları arasında kişi başına buğday tüketiminin ortalama 259,81 kg olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılı itibarıyla ise kişi başına düşen buğday tüketiminin 252,99 kg olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Türkiye'de kişi başına düşen buğday tüketimi (kg) [Table 8. Per capita wheat consumption in Türkiye (kg)]

Yıl	Kişi Başı Tüketim
2010	279,69
2011	281,66
2012	270,12
2013	281,17
2014	262,84
2015	264,04
2016	222,04
2017	248,97
2018	226,74
2019	267,72
2020	252,99

TÜİK verilerinden yararlanarak yazar tarafından hesaplanmıştır.

Türkiye'nin buğdayda ithalata bağımlılık oranı Tablo 9'da verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin 2010-2020 yılları arasında buğdayda ithalata bağımlılık oranının ortalama %27,38 olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin buğdayda ithalata bağımlılık oranı ise %38,94 olarak saptanmıştır.

Tablo 9. Türkiye'nin buğdayda ithalata bağımlılık oranı (%) [Table 9. Import dependency ratio of Türkiye in wheat (%)]

Yıl	İthalata Bağımlılık Oranı
2010	20,24
2011	15,32
2012	19,72
2013	19,41
2014	28,30
2015	19,76
2016	25,87
2017	30,36
2018	34,78
2019	48,48
2020	38,94

TÜİK verilerinden yararlanarak yazar tarafından hesaplanmıştır

4. Sonuç

Açlığın sonlandırılması, sorumlu üretim ve tüketim Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin merkezinde yer almaktadır. Bu çalışma, nüfus, üretim, tüketim, ihracat ve ithalat bağlamında Türkiye'nin buğdayda kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık derecesini değerlendirmektedir. Buğday, Türkiye'de stratejik ürünler arasında yer almaktadır. Türkiye'de buğday üretim alanları 2010-2020 yılları arasında azalma eğilimi göstermektedir. Bunun yanında en yüksek buğday üretim miktarına 2015 yılı itibarıyla 22600000 ton seviyesinde ulaşılmıştır. Kendine kendine yeterlilik derecesi 2010 yılında %95,41 iken 2020 yılında %96,90 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ithalata bağımlılık oranı 2010 yılında %20,24 iken 2020 yılında %38,94'e çıkmıştır. Bu sonuçlar Türkiye'de buğday bitkisel üretimde önemli bir paya sahip olmasına rağmen, buğday ithalatına bağımlılığının giderek arttığını göstermektedir. 2020 yılında 7512232 ton buğday karşılığında denk gelen mamul madde ihraç edilmiştir. Bu durum buğdayın ham olarak ihraç edilmesinin yanında işlenerek de büyük miktarda ihraç edildiğini göstermektedir.

Türkiye genelinde yağışların geçtiğimiz yıllara göre oldukça düşük olması üretimi büyük oranda etkilemiştir. Bunun yanında dünyanın en büyük tahıl ihracatçılarından Rusya ve Ukrayna arasında yaşanan savaş tarım piyasalarının etkilenmesine sebep

olmuştur. Her iki ülkenin de gerek buğday üretimi gerekse gübre üretimi açısından oldukça önemli konumda yer alması tüm dünyayı etkilemiştir. Bu durum ithalata bağımlı olan ülkelerde gıda güvencesinin olumsuz etkilenmesine sebep olmuştur. Birleşmiş Milletler ve Türkiye'nin çabalarıyla Ukrayna-Rusya-Türkiye'nin oluşturduğu tahıl koridoru ile gıda güvencesizliği yaşayan ülkelerin buğday ihtiyaçları karşılanmıştır.

Türkiye, en çok buğday üreten ülkeler arasında yer almasına rağmen aynı zamanda en çok buğday ithal eden ülkeler arasında da yer almaktadır. Bu durum ihracata yönelik üretimde hammadde olarak kullanım amacıyla ithalat yapıldığını göstermektedir. Türkiye'nin buğdaya dayalı gıda sanayisindeki üretim potansiyelinin yüksek oluşu ve avantajlı konumda yer almasından dolayı toplam buğday kullanım düzeyi, buğday üretim düzeyinden fazladır. Dolayısıyla buğday ithalatının fazla olmasının makarna, bisküvi, bulgur ve diğer unlu mamüllerin üretimini karşılamak amacıyla olduğu söylenebilmektedir.

Pestisit, gübre, su ve akaryakıt gibi birçok girdinin fiyatının artması, çiftçilerin üretimden uzaklaşmasına ve birçok çiftçinin gübre kullanmadan üretim yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum üretimin azalması anlamına gelmektedir. Bundan dolayı sübvansiyon uygulamaları, gelişmekte olan ülkelerde yoksul kesimleri desteklemek ve siyasi istikrar açısından oldukça önemlidir. İklim değişikliği, gıda güvencesinin dört boyutunu da etkileyecektir. Aşırı hava olaylarının gelecekte daha sık yaşanacağı muhtemel görüldüğünden küresel gıda sistemlerine yönelik risk ve belirsizlikler artış gösterecektir. Özellikle iklim değişikliğinin etkilerine karşı kendi kendine yeterliliğin sağlanması amacıyla sürdürülebilir sulama sistemleri başta olmak üzere sürdürülebilir tarımın yaygınlaştırılması gerekmektedir. Buğday ekim alanlarının azalmasından ve iklim değişikliğinin etkilerinden dolayı hastalık ve zararlılara dayanıklı, sıcak iklime uyumlu, sertifikalı tohum kullanımıyla verim artışının sağlanmasına yönelik politikaların yaygınlaştırılması gerekmektedir. Daha az su tüketimine sahip, sıcaklık ve kuraklığa karşı daha dayanıklı çeşitler ile iklim değişikliğinin etkileri hafifletilebilir. Ayrıca iklim değişikliğine karşı tarım sektöründe sürdürülebilirlik için çiftçilerin iklim uyumlu tarıma adaptasyonu sağlanmalıdır.

Kaynakça

Amid, J. (2007). The dilemma of cheap food and self-sufficiency: The case of wheat in Iran. *Food Policy*, 32(4), 537-552.

Aydın Can, B. , Tomar, O. & Yılmaz, A. M. (2021). Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Ayçiçek Yağının Gıda Güvencesi ve Kendine Yeterlilik Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat 2021 Ek Sayı 1 , 640-654.

Beltran-Peña, A., Rosa, L., & D'Odorico, P. (2020). Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. *Environmental Research Letters*, 15(9), 095004.

Bush, R. (2010). Food Riots: Poverty, Power and Protest. *Journal of Agrarian Change* 10 (1): 119–129.

Clapp, J. (2014). Food Security and Food Sovereignty: Getting Past the Binary. *Dialogues Human Geogr.* 4 (2), 106–211.

Clapp, J. (2015). Food Self-Sufficiency and International Trade: A False Dichotomy? *State of Agricultural Commodity Markets – In Depth*. FAO, e-ISSN: 2148-2683

Rome. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5222e.pdf>

Clapp, J. (2017). Food self-sufficiency: Making sense of it, and when it makes sense, *Food Policy* 66, 88–96.

Demirbaş, N., & Atış, E. (2005). Türkiye Tarımında Gıda Güvencesi Sorununun Buğday Örneğinde İrdelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 179-190.

Demirbaş, N., Niyaz, Ö. C., & Daysal, H. (2017). Evaluation of self-sufficiency in lentil production in Turkey. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(3), 280-289.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1999). *Implications of Economic Policy for Food Security: A Training Manual*. Erişim Adresi: <http://www.fao.org/docrep/004/x3936e/x3936e03.htm>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2008). *An Introduction to the Basic Concepts of Food Security*. Erişim Adresi: <http://www.fao.org/docrep/013/al936e/al936e00.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012). *FAO Statistical Yearbook 2012 – World Food and Agriculture*. Erişim adresi: <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015). *The Democratic People's Republic of Korea: Outlook for Food Supply and Demand in 2014/15* GIEWS Update, February 3. Erişim adresi: <http://www.fao.org/3/a-i4363e.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2022a). <https://www.fao.org/faostat/en/#data>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006). *Policy Brief, Food Security*. Erişim Adresi: https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Cocept_Note.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2022b). *Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets*.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.

Hibbert, C. (1980). *The days of the french revolution*. New York: William Morrow and Co. Institute.

Laborde, D., Martin, W., Swinnen, J., & Vos, R. (2020). COVID-19 risks to global food security. *Science*, 369(6503), 500-502.

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333, 616.

Niyaz, Ö. C., & İnan, İ. H. (2016). Türkiye'de Gıda Güvencesinin Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2), 1-7.

Ostojic, A., Vaško, Ž., & Brković, D. (2020). Assessment of wheat self-sufficiency in Bosnia and Herzegovina. In *IX International Symposium on Agricultural Sciences* (p. 171).

- Paunović, A., Madić, M., Dugalić, G., Knežević, D., Jelić, M., Stupar V., Živić, M., Tadić Z., (2016). Situation and possibilities of improving the production of small grains in Gruža and Rudnička Morava, XXI Savetovanje o Biotehnologiji Zbornik radova, 21(23), 53-58.
- Porkka, M., Kummu, M., Siebert, S., Varis, O., (2013). From food insufficiency towards trade dependency: A historical analysis of global food availability. PLoS ONE 8 (12), e82714 (12pp).
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PloS one, 8(6), e66428.
- Shahidi F. (2020). Does COVID-19 Affect Food Safety and Security?. Journal of Food Bioactives, 9.
- Shiferaw, B., M. Smale, H.-J. Braun, E. Duveiller, M. Reynolds, and G. Muricho. (2013). Crops that Feed the World 10. Past Successes and Future Challenges to the Role Played by Wheat in Global Food Security. Food Security 5 (3): 291–317.
- Slaboch J., I Kotyza P., Elisová K. (2018). Self-sufficiency in selected agricultural commodities in Central European countries, Agrarian perspectives XXVII. Food safety –food security proceedings of the 27th International Scientific Conference September 19-20, 2018 Prague, Czech Republic, 318-325.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2022a). 2022 - Temmuz Tarım Ürünleri Piyasa Raporu, Buğday. Erişim Adresi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2022-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/7-BU%C4%9EDAY%20T%C3%9CP%20Temmuz%202022.pdf> Erişim Tarihi: 17.10.2022
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2022b). Buğday Mayıs Bülteni. Erişim Adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/YATIRIMCI%20REHBER%20B0/Bu%C4%9Fday%20May%C4%B1s%20B%C3%BClteni.pdf> Erişim Tarihi: 21.10.2022
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the national academy of sciences, 108(50), 20260-20264.
- Trego, R. (2011). The Functioning of the Egyptian Food-subsidy System during Food Price Shocks. Development in Practice 21 (4–5): 666–678.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). Bitkisel Üretim 2. Tahmini, 2022. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2.Tahmini-2022-45503>
- Tyagi, D.S. (1990). Managing India's Food Economy: Problems and Alternatives. Sage, New Delhi.
- Vogel, S. (2017). Global wheat Demand, Rabo Research.
- World Food Summit (1996). Rome Declaration on World Food Security.



Social Entrepreneurial Projects Evaluation in Crisis Areas Through Multi-Criteria Decision Making

Jamil Hallak¹, Pınar Özkurt^{2*}, Sidar Ağduk³

¹ University of South Wales Cara Fellow, Newport, Wales, (ORCID: 0000-0001-5975-4075), jamil.hallak@southwales.ac.uk

² Tarsus University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9655-0319), pinarozkurt@tarsus.edu.tr

³ Tarsus University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2927-0077), sidaragduk@tarsus.edu.tr

(First received 5 November 2022 and in final form 30 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1198943)

ATIF/REFERENCE: Hallak, J., Özkurt, P. & Ağduk, S. (2022). Social Entrepreneurial Projects Evaluation in Crisis Areas Through Multi-Criteria Decision Making. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 457-470.

Abstract

The aim of this article is to examine humanitarian actors' attitudes towards the factors that should be considered and the methodology that should be applied in the evaluation process of social entrepreneurial projects. In line with this, an online questionnaire was conducted on attitudes towards the current way utilized in the crisis areas. The results indicate that the majority of actors are using the methodology of the sum weighted model and the more-experienced actors are tending to include more criteria compared with the less-experienced actors. The article concludes that more awareness should be raised among the humanitarian actors to enable them to conduct the evaluation more effectively. In order to develop the effectiveness of the studies in this area, it is recommended that a more dedicated policy should be created and training should be conducted in place.

Keywords: Social, Entrepreneurial, Projects Evaluation, Crisis Areas, Multi Criteria Decision Making.

Kriz Bölgelerinde Sosyal Girişimcilik Projelerinin Çok Kriterli Karar Verme ile Değerlendirilmesi

Öz

Bu makalenin amacı, sosyal girişimcilik projelerinin değerlendirilme sürecinde insani yardım aktörlerinin dikkate alınması gereken faktörlere yönelik tutumlarını ve uygulanması gereken metodolojiyi araştırmaktır. Bu doğrultuda, kriz bölgelerinde kullanılan mevcut yola yönelik tutumlar hakkında çevrimiçi bir anket yapılmıştır. Sonuçlar, aktörlerin çoğunluğunun toplam ağırlıklı modelin metodolojisini kullandığını ve daha deneyimli aktörlerin daha az deneyimli aktörlere kıyasla daha fazla kriter içermeye eğiliminde olduğunu göstermektedir. Makale, değerlendirmeyi daha etkin bir şekilde yürütebilmeleri için insani yardım aktörleri arasında daha fazla farkındalık yaratılması gerektiği sonucuna varmaktadır. Bu alandaki çalışmaların etkinliğini arttırmak için daha özel bir politikanın oluşturulması ve eğitimin yerinde yürütülmesi tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sosyal, Girişimci, Proje Değerlendirme, Kriz Alanları, Çok Kriterli Karar Verme.

* Corresponding Author: pinarozkurt@tarsus.edu.tr

1. Introduction

Since 2011, Syria has been at the center of a catastrophic mix of economic crisis and conflict; over half the population has been enforced to leave their homes, and many have been displaced numerous times. About 13.8 million people are facing difficulties, and they endure the worst economic crisis since the conflict started, with record levels of food insecurity and rapidly rising prices of the most in-need goods (Humanitarian Programme Cycle, 2022).

To alleviate this suffering, different solutions have been suggested, of those, social entrepreneurship projects (SEPs) which are a rather fresh concept seem to be a strong emerging phenomenon to solve social problems in the community. SEPs emerged as a response to unmet social needs and the limitations of traditional social and employment policies to combat social exclusion in recent years (Gandhi, 2018). This phenomenon grew from the desire of some voluntary associations to develop jobs for people excluded from the traditional labor market and from individual entrepreneurs who wanted to operate businesses but with pronounced social aims.

Social entrepreneurial projects are encouraged by numerous networks and organizations around the world, which have been initiating major initiatives for several years to determine and promote social entrepreneurs and social enterprises (International Labour Organization, 2017).

Operating the social projects in the crisis areas runs a vital role in addressing the social problems and improving the income-generating project for those who have suffered from the consequences of the crisis in Syria, nevertheless, not all social projects are able to achieve their outcomes and lead to a real improvement to society or even to the investors. From this perspective, the evaluation and selection of social entrepreneurship projects are crucial to ensure the maximum benefits for all parties.

For decades, SEPs have played a real role inside stable societies but when it comes to the crisis areas, most supported projects are focusing on the relief and dependencies on others which have many harmful effects, while social entrepreneurship projects are seeking to move people from the state of social care to the state of production, achieving independence and self-reliance on providing appropriate income (Martin, 2007). In line with this, the purpose of this study is to propose a novel methodology for the assessment and selection of social projects that reflect positively on the whole society in crisis areas.

The business environment consists of many factors. In this context, the continuation of an organization's activities depends on many factors such as growth rate, sales, profitability, the state of the industrial sector, economic changes in the current and past periods (Akram, 2001; Arias et al., 2015). Along with environmental factors; needs in communities are increasing the number of startups in the market day by day (Salazar-Carvajal et al., 2014; Echeverri-Sánchez et al., 2018). In this direction, social entrepreneurship is creating social value in non-profit private or public sector activities (Thompson, 2002; Austin et al., 2006; Zahra & Wright, 2016). The social value effect that emerges as a result of social entrepreneurship activities is reflected in economic and social development (Aspelund et al., 2005; Bresciani & Eppler, 2013; Valencia et al., 2015). According to Bikse and Riemere (2013), the focus of social entrepreneurship is

transformation, but it faces severe resource constraints that limit its strategic activities and development (Aspelund et al., 2005; Bresciani & Eppler, 2013; Valencia et al., 2015). Entrepreneurship, which is a popular field of study in scientific research, is of critical importance and vital because identifying new entrepreneurial behaviors in the new world order and determining which ways are best for these behaviors are important problems to be solved (Zahra, 2021).

According to Moein (2014), the role of social entrepreneurship, which has strategic importance in social and economic development, is also very significant for the improvement of tourism activities. In this direction, the affects of social entrepreneurship on the development of tourism activities were investigated with the TOPSIS technique in their study. As a result, it has been determined that "Mission", "Opportunity", "Capital", "People", "Idea Generation" and "Contextual Factors" have a positive and important effect on the development of tourism activities. With the TOPSIS technique, the components of social entrepreneurship have been ranked according to their importance and effectiveness on tourism activities. As a result, it has been stated that "Human", "Idea Generation" and "Contextual Factors" have a higher and more significant impact rate on the tourism sector (Moein, 2014).

Lee et al. (2016) states that there are many differences in the definition of entrepreneurial competencies. In this context, a literature review on previous entrepreneurial competencies was conducted in order to identify entrepreneurial characteristics and define competencies. For this purpose, 14 articles on entrepreneurial characteristics published in journals at the SSCI level were included in the study. As a result of the study, it was stated that the entrepreneurship competency framework consists of five dimensions: "Opportunity Competencies", "Management Competencies", "Relationship Competencies", "Personal Competencies" and "Commitment Competencies" (Lee et al., 2016).

The concept of entrepreneurship as an indicator of economic development and social welfare is very popular today. Similarly, the interest in the issue of immigration is increasing day by day. The participation of immigrants in the labor market is one of the most important issues. Baltacı (2017) conducted a study with the participation of 12 Syrian immigrant high school students studying in Turkey and 13 Syrian immigrant high school students studying in Germany, in order to determine the entrepreneurial tendencies and career expectations of immigrants. As a result of the study, the inadequacy of socio-cultural and economic areas is among the obstacles to entrepreneurial tendency. In the study, it was also determined that immigrant students have a high level of entrepreneurship in Germany and their future career prospects in Turkey are low.

Durmuşoğlu (2018) used the Analytical Hierarchy Process (AHP) to discover the components that should be utilized in the evaluation phase of techno-entrepreneurship projects that many governments support via various policy tools such as incentives. In the study, the AHP model, which was created in line with expert opinions, was tested with the help of real data containing the characteristics and results (successful/unsuccessful) of ten techno-entrepreneurship projects. Afterwards, these projects included in the study were graded and the proposed AHP model was confirmed by determining that three projects that actually not succeeded were at the end of the list. As a result of the study, the most significant factors in the selection of an entrepreneurship

project had been revealed that “Market”, “Budget”, “Location” and “Staff”. Among these factors, it was stated that considering the market factor, which is the target audience in techno-entrepreneurship projects, is the most critical success key (Durmuşoğlu, 2018).

Ranasinghe et al. (2018) included 15 empirical studies and 126 articles published in ISI, Scopus and Google Scholar between 2000-2018 in their study in which they examined the relationship between entrepreneurial orientation and job performance. With the study, a conceptual model consisting of five dimensions, including entrepreneurial desire, innovativeness, proactivity, risk taking and networking ability, which is included in the scope of entrepreneurial orientation, has been proposed.

Kaçaroğlu and Organ (2020) states that the main purpose of social entrepreneurship (which includes activities aimed at combating poverty, environmental problems, and realizing permanent change in artistic and sports fields by public institutions, private institutions or individuals) is to generate social value and maintain it in a sustainable way. With respect to such a goal, in their study, they stated that there are various economic, social, structural or legal obstacles to the sustainability of social entrepreneurship. In this context, it is targeted to determine the risks related to the sustainability of social entrepreneurship with the AHP by evaluating the obstacles in front of social entrepreneurship with its sub-factors. As a result of the study, the factors with respect to the sustainability of social entrepreneurship were assessed under four titles: “Management”, “Resources and Expertise”, “Government Support and Policies” and “Stakeholders” (Kaçaroğlu & Organ, 2020).

Solana-Gonzales et al. (2022) aimed to build up a layout for selecting accounting entrepreneurship projects applying the AHP. In the study, it was stated that decision-making processes which are based on intuition or oversimplify the variables to be taken into consideration should be avoided. By applying the appropriate AHP multi-criteria decision-making method in the study, it is possible to create an appropriate design to organisms which provide grants and financing in response to such a request, which includes a criterion definition, sub-criteria and alternatives to develop the selection of entrepreneurial projects. In this way, the decision-making processes of the institutions and organizations responsible for financing the projects are optimized (Solana-Gonzales et al., 2022).

2. Material and Method

This research was conducted through designing a questionnaire focusing on evaluation of the SEPs to understand and analyze the context. We aimed to collect data about the factors and criteria that have been considered in these projects to investigate the actors’ attitudes in the non-profit organizations (NGOs) and international non-profit organizations (INGs) in the crisis areas. Moreover, information was gathered about the methodologies that have been in place in the areas and the actor’s attitudes to utilizing these methodologies.

A total of 23 questionnaires (see Appendix 1) were distributed online among NGOs/INGOs active actors from July to August 2022. Various types of questions were used such as closed questions, the Likert scale, and multiple questions to assess actors’ attitudes to the way evaluation is used to select the SEPs and there

was an option to give open responses for additional comments or feedback about the method utilized. During this process, no personal information was collected; the questionnaire was 100% voluntary, anonymous and had specific objectives without any harmful effects on the respondents. These clarifications were mentioned clearly in the questionnaire to protect the participants especially since the research is conducted in crisis areas. In addition to not including any points related to political parties or armed groups, furthermore, all participants are located in a safe country (Turkey) and they manage projects inside the north of Syria. Therefore, this research considers the ethical implications and it is complying with the university of South Wales guidelines.

3. Results and Discussion

3.1. Results

There was a 100% response rate to the questionnaire. The results indicated that the majority of humanitarian actors are between 35 and 44 years old and most of them have been dealing with funding entrepreneurial projects to beneficiaries for more than 4 years as shown in Table 1.

Table 2 states that the most selected criteria by the humanitarian actors are sequentially: Fund required (cost), Economic feasibility, Technical/operational feasibility, Risk associated, and Urgency while the generality of selected risks are: Away from the frontlines, away from conflict areas, away from intervention of armed groups. The ranking of criteria according to the actors have indicated that the first three criteria to be sequentially as follows: Economic feasibility, Fund required (cost), Technical/operational feasibility as shown in Table 3.

Through an open-ended question, the questionnaire also allowed participants to identify the current methodology utilized in the process of projects’ evaluation in the north of Syria. The results show that the significant majority of actors are using the weighted sum model which is probably the most commonly used approach, particularly in single-dimensional problems to evaluate and rank the alternatives (Triantaphyllou, 2000). Furthermore, it can be applied in different contexts as stated in Table 4.

Table 1. Humanitarian Actors’ Characteristics

Working in NGOs/INGOs?	Less than 2 years	2 - 5	6 - 10
	6%	22%	72%
How old are you?	25-35	35-44	Over 45
	39%	50%	11%
Dealing with funding entrepreneurial projects to beneficiaries?	Less than 1 one year	1 - 3	4 - 6
	11%	22%	67%

Table 2. Criteria and Risk Factors Selected by Actors

Criteria selected	Selection
Fund required (cost)	19
Net present value (NPV)/ROI... (Economic feasibility)	18
Technical/operational feasibility	17
Risk associated	16

Urgency	16
Vulnerability (disability, women headed-family...)	12
#No of beneficiaries	9
Training/Sessions Attendance	5
Risks selected	Selection
Away from the frontlines	20
Away from conflict areas	19
Away from intervention of armed groups	18
Away from implementing areas (Related to the NGO intervention area)	16
Away from areas that have faced stolen incident reports	13

Table 3. Ranking of Criteria

Criterion	Ranking
Net present value (NPV)/ROI... (Economic feasibility)	1
Fund required (cost)	2
Technical/operational feasibility	3
Urgency	4
Risk associated	5
Vulnerability (disability, women headed-family...)	6
#No of beneficiaries	7
Training/Sessions Attendance	8

Table 4. Methodology Utilized Currently by the Actors

Current utilized methodology	Ranking
Weighted Sum Model (WSM)	95%
Provided be Donor	2%
Group of Experts	3%

3.2. Discussion

The purpose of this study was to examine the methods which NGO/INGO actors utilize and evaluate the SEPs and whether they need to be improved or generalized, in addition to the factors that should be considered including those associated with possible risks in the crisis areas.

The results clearly show that more risk-based and non-risk-based criteria should be considered in the evaluation process and more reliable and academic background-based methods should be applied in the crisis areas to evaluate these types of projects to ensure accountability and transparency towards the the beneficiaries.

More precisely, this study was focused on the humanitarian actors in the NGOs/INGOs investigating how they utilize the methods to evaluate the projects and according to which factors. Despite the difference in the number of criteria used among the different age groups, most of them (70%) suggested that the more the criteria are utilized the more effective the evaluation process is. A difference between the less-experienced actors and more-experienced actors can be noticed as shown in Figure 1 where a classification of these groups has been made to investigate whether this difference is statistically significant or not. Table1 showed the relation between years experienced and the number of criteria selected where the trendline is going up at the more years experienced.

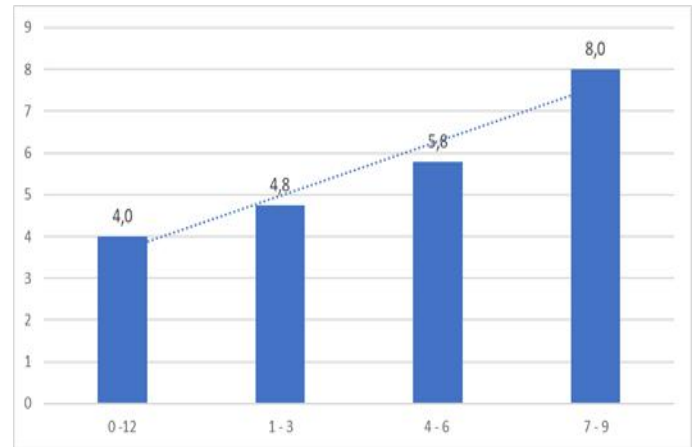


Figure 1. Relation between Years Experienced and the Number of Criteria Selected

To examine this difference statistically, a T-test has been conducted and the P-value of .008 was obtained which means that the difference is statistically significant and the means are different between the less-experienced and more-experienced actors. Possible reasons for this could be due to the fact that the more criteria are used the more differentiated the outputs, and that leads to evaluating the projects more effectively and actors with more experience can recognize these outputs more than the less-experienced ones.

Similarly, an investigation was conducted to examine the relation between the years experienced and the number of risk criteria selected (Figure 2) where a T-test was calculated and the P-value of less than .001 was obtained which means that the difference is statistically significant. Possible reasons for this in addition to the previous reasons could be due to the more experienced actors having worked in this sector since the Syrian crisis started and that they may have come across many different stages of the risks in their long experience which is not the case when it comes to less-experienced actors.

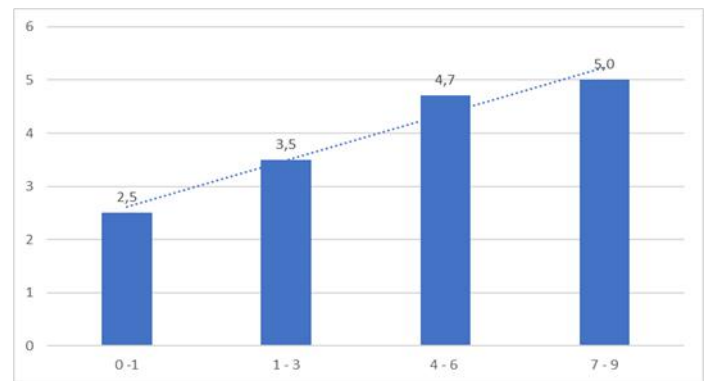


Figure 2. Relation between Years Experienced and Number of Risk Criteria

The first four ranked criteria among all age groups are sequentially: Economic feasibility, fund required, technical feasibility and urgency. A variance can be noticed between the less-experienced and more-experienced actors in this context which is shown in Figure 3 where an analysis for each age group was conducted to investigate each age groups' attitude towards ranking the different factors. The less-experienced actors defined the first four criteria sequentially as Cost, urgency, number of beneficiaries, and vulnerability while the more-experienced actors ranked it in a different way starting with cost to urgency, economic feasibility, technical feasibility, and risk associated.

The reason behind this difference could be that the more-experienced actors rely on more professional criteria to evaluate the projects which come from their wider best practices their investigation of the most technical factors to handle this this evaluation properly, however, this could be limited in the case of the less-experienced actors.

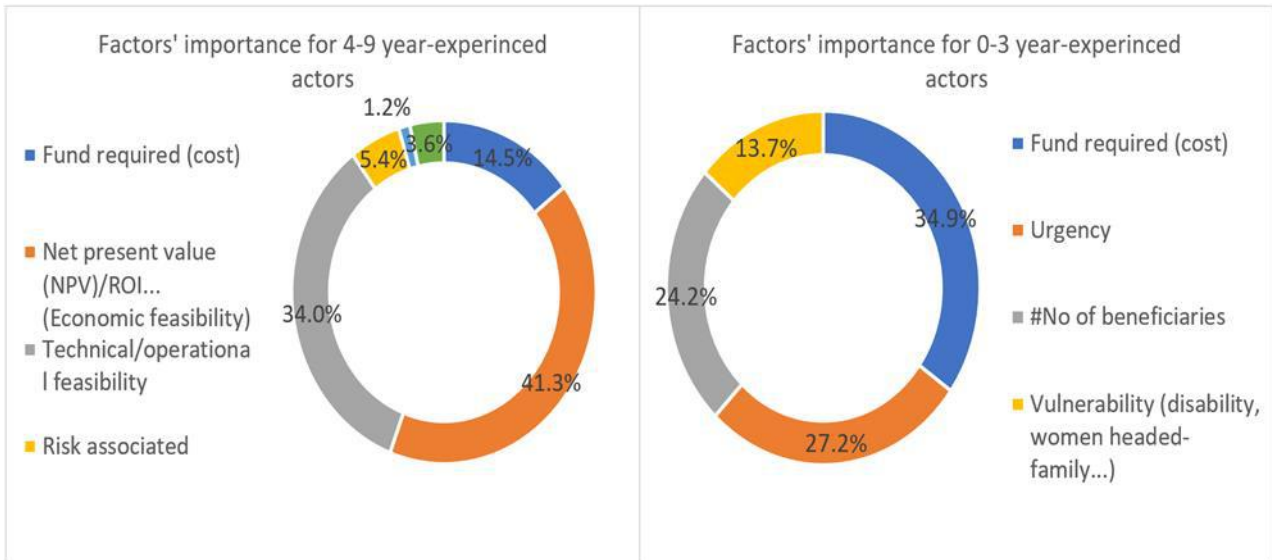


Figure 3. The First Four Factors Selected According to Each Age Group

Even though all respondents (100%) expressed the possibility of utilizing other new methodologies and they agree that their current methodologies are effective in the most aspects as shown in Figure 3, most of them are not satisfied with it in terms of the academic background aspect and this is supported by most participants as they showed that they will be led to apply a new methodology if it is more accurate and has more academically robust.

These findings are consistent with other studies which indicate that the evaluation of projects should be systematic and avoid decision-making processes that rely on intuition or that oversimplify the variables to be considered (Lee, 2016; Nasip, 2017; Solana González, 2022). The criteria utilized in this study are consistent with other studies (Santalova, 2015; Lee et al., 2016) in terms of most factors, but it is different in terms of unique innovation and relationship competencies.

Also, it is noteworthy to point out that findings are not consistent with the other studies according to some studies which utilize criteria and sub-criteria that apply characteristics of entrepreneurial success which depend on psychological characteristics (Nasip, 2017; Solana González, 2022). While Barba-Sánchez (2017) highlights the need for self-employment and the creation of new businesses to support the creation of wealth, employment, well-being, and motivation being presented as highlighted characteristics when explaining the ability of the entrepreneur to start a business.

Despite the Weighted Sum model (WSM) being utilized to compare several options according to various factors that are expressed in a single unit, it has difficulties with multidimensional problems (Fishburn, 1967; Qin et al., 2008; Velasquez, 2013; Aruldoss, 2013). A few studies utilize this method such as Santalova (2015), however, many other studies apply different methodologies, for instance: Solana González (2022) applied the AHP methodology to evaluation of entrepreneurship projects while Mukherjee (1995) utilized goal programming in project

selection decision and Amiri (2010) implement the AHP and fuzzy TOPSIS methods in project selection. Similarly, Kiraz et al (2018) applied Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods for the selection decision of R&D projects, which are very effective for companies to gain competitive advantage. When the relevant literature is examined, it is seen that the TOPSIS method is also used in the selection of facility location in health services (Miç & Antmen, 2019), personnel selection (Elmas, 2022), determination of warehouse locations (Ak & Acar, 2021), determination of the region for the factory (Kayadelen, 2022), and evaluation of financial performances (Gül & Erdem, 2022).

None of the previous studies have discussed the evaluation process in crisis areas but they applied their research to stable communities where there are not many uncertainties. However, when it comes to crisis areas where there are many uncertainties and the severe urgent situation requires a different type of intervention.

Although the questionnaire results were clearly to include more factors in the evaluation process of SEPs and utilize more effective methods to handle this problem, there are some limits that must be taken into account. Firstly, the type of organization as local or international has not been considered in the questionnaire as well the participants represent only the Syrian context and not the other similar context like in Iraq or other neighbouring countries. Another important factor is that the questionnaire provides only one open question about the methodology which does not allow the analysing process to be conducted deeply in detail and does not allow for an understanding of the current way of utilizing and dealing with this type of projects' evaluation. For these reasons, it is suggested that another study could be conducted to examine the utilized methodology in detail and to attempt to include another similar crisis context.

4. Conclusions and Recommendations

In conclusion, finally, this research has examined the factors and methods that should be considered in evaluation of social entrepreneurial projects. From the point of view of the actual results, the first noticeable evidence from research shows that more criteria should be taken into account in addition to risk-based factors and methods based on academic background should be applied in this regard. Furthermore, a dedicated awareness about these outputs should be conducted and shared with all stakeholders. Most experienced humanitarian actors have suggested more criteria to be included to ensure that the evaluation is made in an accurate and accountable way, for these reasons, a more detailed policy and procedures can be created to allow decision makers to evaluate and select projects effectively.

It is recommended that a comprehensive framework with detailed procedures should be developed for the social entrepreneurial projects' evaluation including the following key points in future studies. These are summarized in the following:

- Risk-based factors should be taken into account to evaluate the projects, in addition to the standard factors.
- Implementation steps of each methodology, the field of application, advantages, and disadvantages should be clearly indicated in the guidelines to avoid any misapplication.
- Awareness sessions should be conducted to allow the humanitarian actors to utilize it effectively.
- The outputs should be shared more widely to allow the humanitarian actors in other regions to benefit from these outputs.
- A web-based application should be created to allow the actors to utilize these outputs without having trouble in terms of miscalculation or burdensome processes.

References

Ak, M. F. & Acar, D. (2021). Selection of Humanitarian Supply Chain Warehouse Location: A Case Study Based on the MCDM Methodology. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 400-409. doi: 10.31590/ejosat.849896

Akram, T. (2001). A Prolegomenon to the Economics of Net Entry and Net Exit Patterns of Bangladesh's Manufacturing Industries. Available at SSRN 262646. doi: 10.2139/ssrn.262646

Amiri, M. P. (2010). Project Selection for Oil-Fields Development by using the AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6218-6224. doi: 10.1016/j.eswa.2010.02.103

Arias, J. A. V., Restrepo, I. M., & Restrepo, A. M. (2015). Factores Explicativos de las Intenciones Emprendedoras en Estudiantes Universitarios. *Espacios*, 36(05).

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. doi: 10.12691/ajis-1-1-5

Aspelund, A., Berg-Utby, T., & Skjevda, R. (2005). Initial Resources' Influence on New Venture Survival: A Longitudinal Study of New Technology-Based Firms. *Technovation*, 25(11), 1337-1347. doi: 10.1016/j.technovation.2004.06.004

Austin, J., Stevenson, H., & Wei-Skillern, J. (2006). Social and Commercial Entrepreneurship: Same, Different, or Both?.

Entrepreneurship Theory and Practice, 30(1), 1-22. doi: 10.1111/j.1540-6520.2006.00107.x

Baltaci, A. (2017). A Comparison of Syrian Migrant Students in Turkey and Germany: Entrepreneurial Tendencies and Career Expectations. *European Journal of Educational Research*, 6(1), 15-27. doi: 10.12973/eu-jer.6.1.15

Barba-Sánchez, V., & Atienza-Sahuquillo, C. (2017). Entrepreneurial motivation and Self-Employment: Evidence from Expectancy Theory. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 13(4), 1097-1115. doi: 10.1007/s11365-017-0441-z

Bikse, V., & Riemere, I. (2013). The Development of Entrepreneurial Competences for Students of Mathematics and the Science Subjects: The Latvian Experience. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 82, 511-519. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.06.301

Bresciani, S., & Eppler, M. J. (2013, July). Knowledge Visualization for Social Entrepreneurs. In *2013 17th International Conference on Information Visualisation* (pp. 319-324). IEEE. doi: 10.1109/IV.2013.41

Durmuşoğlu, Z. D. U. (2018). Assessment of Techno-Entrepreneurship Projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Technology in Society*, 54, 41-46. doi: 10.1016/j.techsoc.2018.02.001

Echeverri-Sánchez, L., Valencia-Arias, A., Benjumea-Arias, M., & Toro, A. B. D. (2018). Factores que Inciden en la Intención Emprendedora del Estudiantado Universitario: Un Análisis Cualitativo. *Revista Electrónica Educare*, 22(2), 160-178. doi: 10.15359/ree.22-2.10

Elmas, G. (2022). Bulanik TOPSIS Yöntemi ile Personel Seçimi: Bir Freight Forwarder Şirketinde Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 595-602. doi: 10.31590/ejosat.1092978

Fishburn, P. C. (1967). Additive Utilities with Incomplete Product Sets: Application to Priorities and Assignments. *Operations Research*, 15(3), 537-542. doi: 10.1287/opre.15.3.537

Gandhi, T., & Raina, R. (2018). Social Entrepreneurship: The Need, Relevance, Facets and Constraints. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, 8(1), 1-13. doi: 10.1186/s40497-018-0094-6

Gül, A. & Erdem, M. (2022). Gıda Perakende Firmalarının Finansal Performanslarının Entropi-TOPSIS Yöntemiyle Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 25-33. doi: 10.31590/ejosat.1029907

Humanitarian Programme Cycle. (2022). *Humanitarian Needs Overview Syrian Arab Republic*. Available at: www.unocha.org/syria. (Accessed: 11 July 2022).

International Labour Organization. (2017). *Promoting Social Entrepreneurship and Social Capital. A Practice Guide to Supporting Social Entrepreneurship and Inclusiveness in Rural Communities*. Available at: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---africa/---ro-abidjan/---sro-cairo/documents/publication/wcms_589097.pdf. (Accessed: 11 July 2022).

Kaçaroğlu, M. O., & Organ, A. (2020). Evaluation of Factors Affecting Sustainability of Social Entrepreneurship by AHP Method. *Alanya Academic Review Journal*, 4(1), 157-171. doi: 10.29023/alanyaakademik.634788

Kayadelen, A. N. (2021). Bulanik TOPSIS Yöntemi ile Bir Mobilya Fabrikası için Bölge Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 71-76. doi: 10.31590/ejosat.1009377

- Kiraz, A. , Canpolat, O. , Erkan, E. F. & Albayrak, F. (2018). Evaluating R&D Projects Using Two Phases Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 49-53. doi: 10.31590/ejosat.428343
- Lee, H., Lee, J., & Shim, K. (2016). Entrepreneurial Characteristics: A Systematic Literature Review. In *20th Pacific Asia Conference on Information Systems, PACIS 2016*. Pacific Asia Conference on Information Systems.
- Martin, R. L., & Osberg, S. (2007). Social Entrepreneurship: The Case for Definition. *Stanford Social Innovation Review*, 5(2), 29–39. doi: 10.48558/TSAV-FG11
- Miç, P. & Antmen, Z. F. (2019). A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 750-757. doi: 10.31590/ejosat.584217
- Moein, R. (2014). Investigation and Prioritization of Social Entrepreneurship Components based on Tourism Industry Development Approach using TOPSIS Technique. *International Journal of Scientific Management and Development*, 2(11), 602-612.
- Mukherjee, K., & Bera, A. (1995). Application of Goal Programming in Project Selection Decision—A Case Study from the Indian Coal Mining Industry. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 18-25. doi: 10.1016/0377-2217(94)00197-K
- Nasip, S., Amirul, S. R., Sondoh Jr, S. L., & Tanakinjal, G. H. (2017). Psychological Characteristics and Entrepreneurial Intention: A Study among University Students in North Borneo, Malaysia. *Education + Training*, 59(78), 825-840. doi: 10.1108/ET-10-2015-0092
- Qin, X. S., Huang, G. H., Chakma, A., Nie, X. H., & Lin, Q. G. (2008). A MCDM-Based Expert System for Climate-Change Impact Assessment and Adaptation Planning—A Case Study for the Georgia Basin, Canada. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 2164-2179. doi: 10.1016/j.eswa.2007.02.024
- Ranasinghe, H. K. G. S. , Yajid, M. S. A. , Khatibi, A. & Azam, S. M. F. (2018). A Systematic Literature Analysis on Entrepreneurial Orientation and Business Performance. *Journal of Business Economics and Finance*, 7(3), 269-287. doi: 10.17261/Pressacademia.2018.955
- Salazar-Carvajal, P. F., Herrera-Sánchez, I. M., Rueda-Méndez, S., & León-Rubio, J. M. (2014). El Efecto de la Conservación de Recursos Sobre la Intención Emprendedora en el Contexto de Crisis Económica: el rol Moderador de la Autoeficacia y la Creatividad. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 30(2), 549-559. doi: 10.6018/analesps.30.2.159281
- Santalova, M. S., Lesnikova, E. P., & Chudakova, E. A. (2015). Expert Models for the Evaluation of Innovative Entrepreneurial Projects. *Asian Social Science*, 11(20), 119-126. doi: 10.5539/ass.v11n20p119
- Solana González, P., Vanti, A. A., & Rudolfo Kreutz, R. (2022). Decision-Making Process by Multi-Criteria Hierarchical Analysis for the Appraisal of Entrepreneurial Projects. *REMIPE - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec-Osasco*, 8(1), 3-23. doi: 10.21574/remipe.v8i1.374
- Thompson, J. L. (2002). The World of the Social Entrepreneur. *International Journal of Public Sector Management*, 15(5), 412-431. doi: 10.1108/09513550210435746
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-Criteria Decision Making Methods. In: *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Applied Optimization, vol 44. Springer, Boston, MA. doi: 10.1007/978-1-4757-3157-6_2
- Valencia, J., Macias, J., & Valencia, A. (2015). Formative Research in Higher Education: Some Reflections. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 176, 940-945. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.562
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Zahra, S. A. (2021). International Entrepreneurship in the Post Covid World. *Journal of World Business*, 56(1), 101143. doi: 10.1016/j.jwb.2020.101143
- Zahra, S. A., & Wright, M. (2016). Understanding the Social Role of Entrepreneurship. *Journal of Management Studies*, 53(4), 610-629. doi: 10.1111/joms.12149

Appendix 1

Entrepreneurial Projects Evaluation

We hope you will have as much fun filling as we did organizing it.

We want to hear your valuable opinion/feedback so the improving of Entrepreneurial project evaluation can be achieved in the crisis areas. Please fill this quick survey (3-5 minutes) and let us know your thoughts (your answers will be anonymous).

* Required

1. How old are you? *

- Under 25
- 25-35
- 35-44
- Over 45
- Prefer not to say

2. How long have you been working in NGOs/INGOs? *

- Less than 2 years
- 2 - 5
- 6 - 10
- Over 10 years

3. How long have you been dealing with funding entrepreneurial projects to beneficiaries ? *

- Less than 1 one year
- 1 - 3
- 4 - 6
- 7 - 9
- Over 9 years

4. Which criteria should be taken into consideration to fund the entrepreneurial projects in north of Syria? *

- Fund required (cost)
- #No of beneficiaries
- Net present value (NPV)/ROI... (Economic feasibility)
- Urgency
- Risk associated
- Vulnerability (disability, women headed-family...)
- Training/Sessions Attendance
- Technical/operational feasibility
- Other

5. Can you rank these factors? (Using arrows or drag and drop) *

Fund required (cost)
#No of beneficiaries
Net present value (NPV)/ROI... (Economic feasibility)
Urgency
Risk associated
Vulnerability (disability, women headed-family...)
Training/Sessions Attendance
Technical/operational feasibility
The "other" as if you selected in the previous question.

6. What do you think the RISK factors that should be taken into consideration in this regard? *

- Away from the frontlines
- Away from conflict areas
- Away from implementing areas (Related to the NGO intervention area)
- Away from areas that have faced stolen incident reports
- Away from intervention of armed groups
- Other

7. How to identify the "risk value" and the other "Criteria" in Q4 associated with each of the previous risks? *

- One expert
- Group of experts
- Classification into groups
- based on Calculation
- Given by the donor
- Other

8. What's the methodology you have selected to evaluate the entrepreneurial projects submitted by beneficiaries? *

9. What do you think about your selected methodology ? *

	Strongly agree	Agree	Neutral	Disagree	Strongly disagree
Accurate	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Easy to apply	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fast to get results	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Academic background	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Based on group of decision makers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Accountable and Transparent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Are you open to using any other new methodologies? *

- Yes
- No
- Maybe

11. What would lead you to utilize a new methodology? *

- If it's more Accurate
- Faster
- Easier
- More based on Group of decision maker
- Has Academic background
- More Accountable and Transparent
- Other

12. Any other comments/feedback in this regards?

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.

 Microsoft Forms



Bir Mikrokanaldaki Kayma Akışında Basınç Kaybı Analizi

Erhan Öztürk¹, Ramazan Çoştı^{2*}, Kenan Kaya³

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil MYO, Otomotiv Teknolojisi Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5221-9843), erhanozturk@aydin.edu.tr

^{2*} İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil MYO, Otomotiv Teknolojisi Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0547-7655), ramazancostu@aydin.edu.tr

⁴ İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6897-4077), kenankaya@aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200616)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, E., Çoştı, R. & Kaya, K. (2022). Bir Mikrokanaldaki Kayma Akışında Basınç Kaybı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (45), 471-484.

Öz

Karakteristik boyutları 1 µm'den 1 mm'ye kadar değişen mikro cihazlar, günümüzde kalp pilinden mürekkep püskürtmeli yazıcılara kadar birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların içinde mikro pompalar veya mikro ısı eşanjörleri gibi mikro akışkanlı cihazlar (Micro Fluidic Device, MFD) çok önemli bir yere sahiptir. MFD'lerin ana kullanıcıları, otomotiv ile uçak firmalarını içeren mikro elektronik, ecza, kimya, tıbbi ve gıda teknolojileri gibi sanayilerdir. Çalışmada, öncelikle projenin tanımı ve amacı hakkında bilgi verilmiş, mikrokanallar, kayma akışı ve hesaplamalı akışkan dinamiği hakkında literatür araştırması yapıp genel bilgiler verilmiş, daha sonra yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde gösterilip sonuçlandırılmıştır. Bu projede, bir mikrokanalda nitrojen gazının kayma akışı ANSYS Fluent 15.0 yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, yakınsaklık açılarına ve hidrolik çapa bağlı olarak üçerli iki gruba ayrılıp, altı farklı mikrokanal kullanılmıştır. İlk üç çözüm aynı uzunluk, derinlik ve hidrolik çap kullanılırken, sırasıyla 4°, 8° ve 12°'lik yakınsaklık açıları ile yapılmıştır. Diğer gruptaki üç çözüm ise aynı uzunluk, derinlik ve yakınsaklık açısı kullanılırken sırasıyla 118, 147 ve 177 µm hidrolik çaplarda mikrokanallar kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen basınç kayıpları kendi aralarında karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kayma Akışı, Basınç Kaybı, Hidrolik Çap, Yakınsaklık Açısı, Mikrokanal.

Pressure Loss Analysis in Shear Flow in a Microchannel

Abstract

Micro devices with a characteristic size ranging from 1 µm to 1 mm are used successfully in many fields from pacemakers to inkjet printers. Among these, micro fluid devices such as micro pumps or micro heat exchangers (Micro Fluidic Device, MFD) have a very important place. The main users of MFDs are industries such as micro electronics including automotive and aircraft companies, pharmaceuticals, chemistry, medical and food technologies. In the study, firstly, information was given about the definition and purpose of the project, literature research was made and general information was given about microchannels, slip flow and computational fluid dynamics, and then the studies were shown and concluded in detail. In this project, the slip flow of nitrogen gas in a microchannel was investigated numerically using ANSYS Fluent 15.0 software. In the study, depending on the convergence angles and hydraulic diameters, they were divided into two groups of three and six different microchannels were used. The first three solutions were made with convergence angles of 4°, 8° and 12°, while using the same length, depth and hydraulic diameter. Three solutions in the other group were made using microchannels with hydraulic diameters of 118, 147 and 177 µm respectively, while using the same length, depth and convergence angle. The obtained pressure losses were compared and interpreted among themselves.

Keywords: Slip Flow, Pressure Losses, Hydraulic Diameters, Convergence Angles, Microchannels.

* Sorumlu Yazar: ramazancostu@aydin.edu.tr

1. Giriş

Günden güne teknolojinin hızla gelişmesiyle, günlük yaşamımızda yer alan cihazlar ile birlikte tıp, uzay, elektronik, kimya ve birçok diğer teknoloji alanında kullanılan cihaz boyutlarının küçüldüğünü görebiliriz. İmalat ile malzeme teknolojisindeki gelişmeler, mikro ölçekli ısı pompaları, ısı makineleri, yakma sistemleri ve algılayıcı gibi cihazların gelişimine, yaygınlaşmasına ve yeni cihazların icat edilmesine olanak sağlamıştır. Bu cihazlar biyoloji, tıp, uzay, havacılık, bilişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılmakta olup, Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS), Mikro-Opto-Elektronik Sistemler (MOEMS), Mikro-Akış Cihazları (MFD) olmak üzere genel olarak üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Mikro akışkan cihazlarının içinde birbiri ile bağlantılı olan mikrokanallar bulunmaktadır. Yüksek verimlilikte bir cihaz üretimi, mikrokanal içindeki akışkan akışı ve ısı geçişi özelliklerinin iyi bir şekilde anlaşılmasına bağlıdır [1, 2].

Karakteristik boyutları 1 µm'den 1 mm'ye kadar değişen mikro cihazlar, günümüzde kalp pilinden mürekkep püskürtmeli yazıcılara kadar birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların içinde mikro pompalar veya mikro ısı eşanjörleri gibi mikro akışkanlı cihazlar (Micro Fluidic Device, MFD) çok önemli bir yere sahiptir. MFD'lerin ana kullanıcıları, otomotiv ile uçak firmalarını içeren mikro elektronik, ecza, kimya, tıbbi ve gıda teknolojileri gibi sanayilerdir [1].

Bu farklı cihazların çoğunun özü, karakteristik ölçüleri mikron mertebesinde olan ve çeşitli kesit alanlarına (en yaygınları dikdörtgen, yamuk ve daire) sahip bir veya daha çok mikrokanala dayanmaktadır. MFD'lerin başarısı küçük hacim ile yüzeylerde yüksek ısı akışı geçişi kapasiteleri ile ilgilidir. MFD'lerde kullanılmakta olan mikrokanalların hidrolik çapları 1 µm ile 2 mm arasında değişkenlik gösterir [1-7].

Pek çok makale, hidrolik çapı 100 mm'den daha küçük olan mikrokanalların tek fazlı akışkan akışı ile ısı geçişini analiz eden ilk çalışmayı Wu ve Little (1983) tarafından yazılmış makaleyi göstermektedir. Bu doğru değildir. Gerçekte, ilk deneysel çalışma Poiseuille (1840) tarafından cam mikro tüplerin testi ile başlanmıştır [1].

Bileşenlerin küçültülmesi bir miktar ölçek etkisi (scaling effect) ve gerçek mikro etkiler (micro effect) ortaya koyabilmektedir. Bu iki kavramın ayırt edilmesi çok önemlidir. Herwig ve Haussner (2003)'ün tanımlamasına göre ölçek etkisi, referans geometrik ölçeğinde ihmal edilebilen, ölçek değiştiğinde ise önemli olan bir etkidir. Örneğin, bir kanalın hidrolik çapının azalması, hacminde mevcut alanından daha büyük azalmaya neden olmaktadır, yani mikro akışkanlı sistemlerde alan ile hacim oranı çok yüksek olma eğilimi gösterirler. Bu nedenle, mikro akışkanların davranışı, diğer normal boyutlu borulardaki akışlardan tamamiyle farklıdır [1].

Aynı zamanda, bir mekanik sistemi mikro ölçeklere küçültmenin pek çok yararı vardır. Böyle bir sistemde hacim ile ilgili kuvvetlerin (ağırlık/atalet) önemi kalmaz. Bunun sonucunda mikro ölçekli mekanik sistemlerin çok hızlı olduğu gözlemlenir. Böylelikle anlık hareket edip, durabilen mekanizmalardan; büyük ivmeli hareketlere dayanabilen duyuçulara kadar birçok sistem (mikro ölçekli dünyada) hayata geçirilebilir. Ayrıca bu sistemler, büyük ölçekli makine sistemlerine göre daha az güç harcayıp, daha az yer kaplarlar. Seri üretimin uygun koşullarda yapılmasıyla

da bu tip sistemlerin çok ucuza imal edilebilecekleri önemli bir gerçektir [1-5].

Cihazların küçülmesi, hayatımızı pek çok anlamda kolaylaştırmış olsa bile bazı sorunları beraberinde getirmiştir. Bunlardan bazıları malzeme yetersizliği ve üretim tekniklerinin yetersizliği gibi önemli sorunlardır. Günümüzde bu sorunlar ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bir diğer sorun ise, mikro cihazların çalışırken açığa çıkardıkları ısıdır. Bunun sonucunda mikro akış karakterlerinin incelenmesi gereklidir [1].

1.1. Problem Tanımı

Son yıllarda cihaz boyutlarının küçültülmesi ile minyatürleşme alanında yaşanan gelişmeler sonucunda, karakteristik boyutları 1 µm'den 1 mm'ye kadar değişen Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) adında bir alan ortaya çıkmış ve ısı ile akış transferi konusundaki araştırmaları hızlandırmıştır. MEMS üretimi ve kullanımı, mikro akışkan adı verilen, olağandışı ve keşfedilmemiş koşullar altında çalışan yeni bir disiplin ile ortaya çıkmıştır. Tıp, uzay, biyoloji ve havacılık gibi alanlarda kullanılan MEMS cihazları, içlerinde birbirine bağlı ve mikron ölçülerinde olan ve mikrokanal adı verilen kanallar bulundurmaktadır. Yüksek verimliliğe sahip bir cihazın üretimi, mikrokanal içerisindeki akışkanın akışı ve ısı transferi özelliklerinin tam anlamıyla anlaşılmasına bağlıdır [1-5].

Bileşenlerin minyatürleştirilmesi bir miktar ölçek etkisi (scaling effect) ve gerçek mikro-etkiler (micro-effect) ortaya koyabilmektedir. Örneğin, bir kanalın hidrolik çapındaki azalma, hacminde söz konusu alanındakinden daha büyük bir azalma meydana getirmektedir, yani mikro-akışkanlı sistemlerde alan-hacim oranı çok yüksek olma eğilimindedir. Bu sayede, mikro-akışkanların davranışı, normal boyutlu borulardaki akışlardan tamamen farklı olabilir [2-8].

Bu projede amaç, bir mikrokanalda nitrojen gazının kayma akışının ANSYS Fluent 15.0 yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, yakınsalık açılarına ve hidrolik çapa bağlı olarak üçerli iki gruba ayrılıp, altı farklı mikrokanal kullanılmıştır. İlk üç çözüm aynı uzunluk, derinlik ve hidrolik çap kullanılırken, sırasıyla 4°, 8° ve 12°'lik yakınsaklık açıları ile yapılmıştır. Diğer gruptaki üç çözüm ise aynı uzunluk, derinlik ve yakınsaklık açısı kullanılırken sırasıyla 118, 147 ve 177 µm hidrolik çaplarda mikrokanallar kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen basınç kayıpları kendi aralarında karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

1.2. Problemin Seçilme Amacı

Pahalı ve uzun süren deney sistemleri kurmak yerine, daha az maliyetli bir yöntem olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği sayesinde, deneylerde uygulanması zor olan koşulların incelenmesi mümkün olmuştur. Böylece literatüre bilimsel katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Ayrıca ANSYS FLUENT yazılımının günümüzde yaygın olmamasından dolayı, programın işlevselliği ve programda yapılabilecek çalışmalar gösterilmeye çalışılmış, böylece programın kullanımının yaygınlaşması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Yöntemi

Öncelikle literatür araştırmaları yaparak kayma akışı modeli hakkında bilgi edinilecektir. Daha önce bu konuyla ilgili yapılan araştırmalar, çalışmalarımızda bize yol gösterecektir. ANSYS FLUENT yazılımında yapılan araştırmalarla altyapı oluşturulup, edinilen bilgilerden yola çıkarak farklı yakınsaklık açıları ve

hidrolik çaplarda mikrokannallardaki basınç kayıpları bulunup kıyaslanacaktır.

1.4. Planlama

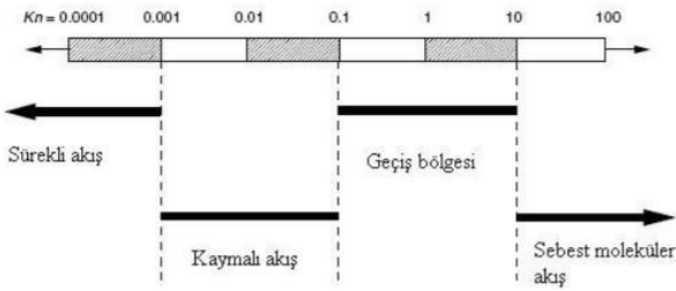
- Kaynak araştırması yapılması.
- Kayma akışı modellerinin incelenmesi.
- Kayma akışı modellerinin araştırılması.
- ANSYS programının modüllerinin seçilmesi.

2. Kaynak Araştırması

2.1. Knudsen Sayısı

Geometrik ölçeğin azalması nedeniyle, gaz moleküllerinin ortalama serbest yolu, cihazın uzunluk ölçeği ile karşılaştırılabilir. Akışın etki derecesini ölçme amacıyla, moleküllerin ortalama serbest yolunun, cihazın karakteristik uzunluğuna oranı olarak tanımlanan boyutsuz Knudsen Sayısı (Kn) parametresine bakılır. Knudsen sayısı aşağıda gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır [1, 3, 6].

$$Kn = \frac{\lambda mfp}{L} \quad (1)$$



Şekil 2.1 Knudsen Sayısına Bağlı Olarak Akış Karakteri [1].

2.2. Akış Çeşitleri

Knudsen sayısının 10-3'ten küçük olduğu bölgeye sürekli akış bölgesi (continuum flow region) ismi verilir. Süreklilik ve termodinamik denge kabulleri geçerlidir. Bir sistemin termodinamik dengede olabilmesi için sırasıyla ısı denge, mekanik denge, faz dengesi ve kimyasal denge şartlarını sağlaması gerekir. Bunu kısaca açıklayacak olursak, sistemin sıcaklık değerlerinin her noktada aynı olması ısı dengede olduğunu gösterir. Sistemin herhangi bir noktasında basıncın değişmemesi mekanik dengede olduğunu gösterir. Bir sistemin iki faza sahip olup, her fazın kütlesi dengelendiğinde fazlar değişmiyor ise bu sistem faz dengesi şartını sağlıyor demektir. Son olarak bir sistemin kimyasal dengede olabilmesi için, kimyasal bileşiminin zamanla değişmemesi gereklidir. Dolayısıyla, sınır şartı olarak cidarda kaymama sınır şartı geçerlidir ve bu sınır şartı altında Navier-Stokes denklemi kullanılarak akışın çözümü yapılır. Yüzeğe yakın yerdeki akışın sıcaklığı yüzey sıcaklığına eşittir [1, 3, 6, 16-18].

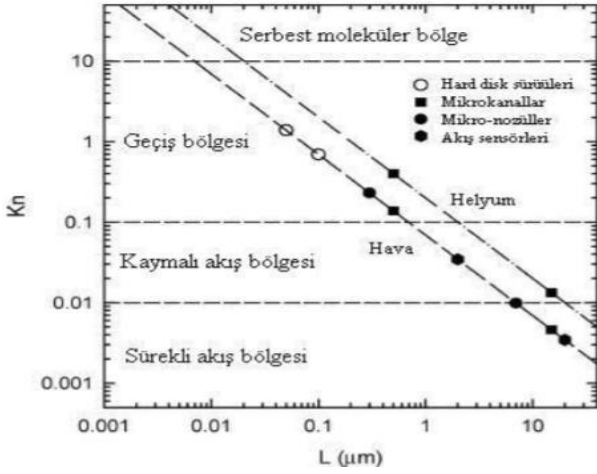
Knudsen sayısının 10-1 ile 10 arasında olduğu bölgeye geçiş akışı bölgesi (transition flow region) ismi verilir. Bu bölgede süreklilik ve termodinamik denge kabulleri geçerli değildir ve dolayısıyla Navier-Stokes denklemi kullanılamayacaktır. Bu bölge için alternatif analiz metotları geliştirilmiştir. Burnet denklemleri veya partikül tabanlı doğrudan Monte Carlo

simülasyonu metodunun kullanılmasıyla çözüme gidilebilir. Bunların yanı sıra bu bölgenin başlangıcında hız ve ısı sınır şartlarının ikinci mertebeden (second-order) hale getirilmesi ile Navier-Stokes denklemlerinin kullanılacağı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir [1, 3, 6, 12].

Knudsen sayısının 10-3 ile 10-1 arasında olduğu bölgeye kaymalı akış bölgesi (slip flow region) adı verilmektedir. Navier-Stokes denklemleri, bu bölgede sürekli ortam fiziği geçerli olmadığı için, geçiş akışı bölgesinde olduğu gibi, hız ve sınır şartlarının yeniden düzenlenmesi şartı ile kullanılabilir. Bu bölgede hız sınır şartı için sürekli ortamda geçerli olan geleneksel cidarda kaymama sınır şartı yerine, kayma hızı sınır şartı (slip velocity boundary condition) kullanılır. Isıl sınır şartı için ise, sürekli ortamda geçerli olan akışkanın sıcaklığının duvar sıcaklığına eşit olduğunu söyleyen ısı sınır şartı yerine cidarda sıcaklık sıçraması sınır şartı kullanılır. Bu değişiklikler sayesinde Navier-Stokes denklemi kullanılabilir hale gelir. Fakat, sınır şartlarının yeniden düzenlenmesi ile Navier-Stokes denkleminin kullanılmasının küçük hataları beraberinde getireceği göz önüne alınmalıdır. Kaymalı akışın meydana gelebilmesi için akış basıncının çok küçük olması veya akış karakteristik uzunluğunun çok küçük olması gerekir. Sürekli akışta yüzeydeki akış hızı sıfır ve ihmal edilebilir mertebede iken kaymalı akışta hız sıfırdan farklıdır [1, 3, 6, 9].

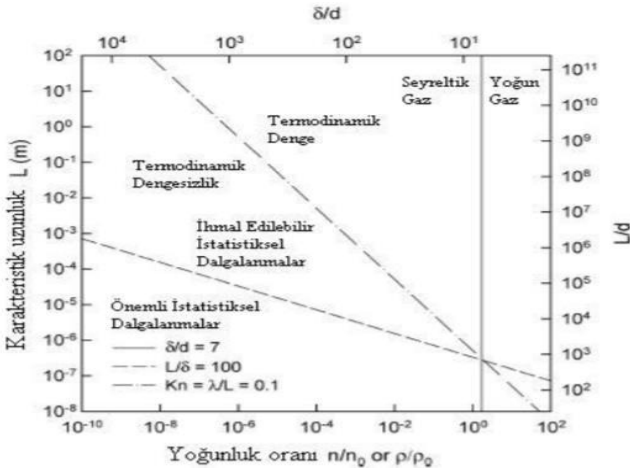
Knudsen sayısının 10'dan büyük olduğu bölgeye serbest moleküler akış (free molecular flow) bölgesi adı verilmektedir. Bu bölgede moleküllerin ortalama serbest uzaklıkları akışın karakteristik uzunluğundan oldukça büyüktür ve sonuç olarak yüzeye çarpıp yansıyan moleküller diğer moleküllere çarpmadan önce çok uzun yol almaktadır. Bu bölgede moleküller arası çarpışma, moleküllerin duvar ile çarpışması göz önüne alındığında ihmal edilebilir mertebededir [1, 3, 6].

Şekil 2.2 bazı mikro-akış elemanlarının Knudsen (Kn) sayısına ve karakteristik uzunluğa (L) bağlı olarak hangi akış rejiminde olduğunu göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere birçok mikro-sistem elemanının kaymalı akış bölgesinde ya da geçiş akışı bölgesinin hemen başlangıcında çalıştığı görülmektedir. Bunun dışında hard disk sürücülerinin Kn sayısının 1'i aştığı bölgede çalıştığı görülmektedir. Son zamanlarda mikro-üretim tekniklerindeki hızlı gelişmeler mikro-sistemlerin boyutlarının mikron mertebelerinin oldukça altına rahatlıkla düşürebilmektedir. Bu ölçeklere inilmesi ile geçiş akışı bölgesinin üstlerine doğru yaklaşmaktadır.



Şekil 2.2 Standart atmosferik şartlarda karakteristik uzunluk (L) ve Knudsen sayısına (Kn) göre mikro-akış elemanlarının akış rejimlerinin gösterilmesi [1].

Termodinamik denge koşulları Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Başka bir deyişle bu grafik Navier-Stokes denkleminin geçerli olduğu bölgeleri göstermektedir. Bu grafik molekül çapı $d = 4.10 \cdot 10^{-10}$ [m] olan gazların durumunu simgelemektedir. Yaklaşık olarak hava moleküllerinin çapı da bu mertebelerde olduğundan, bu grafik akışkanın hava olması durumu için de bilgi vermektedir. Grafiğin sol ordinatı karakteristik uzunluğu (L) göstermektedir. Sağ ordinat ise karakteristik uzunluk ile molekül çapının birbirlerine oranını (L/d) göstermektedir. Grafiğin alt apsisi gaz yoğunluğunun referans yoğunluğa oranını (ρ/ρ_0) ya da bu orana eşit olan birim hacimdeki molekül sayısının referans durumdaki birim hacimdeki molekül sayısına oranını (n/n_0) göstermektedir. Son olarak grafiğin üst apsisi moleküller arasındaki ortalama uzaklığın molekül çapına oranını (δ/d) göstermektedir.[1]



Şekil 2.3 Navier-Stokes denkleminin geçerli olduğu bölgelerin gösterimi [1].

2.3. Navier-Stokes Denklemleri

Kütlenin Korunumu:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

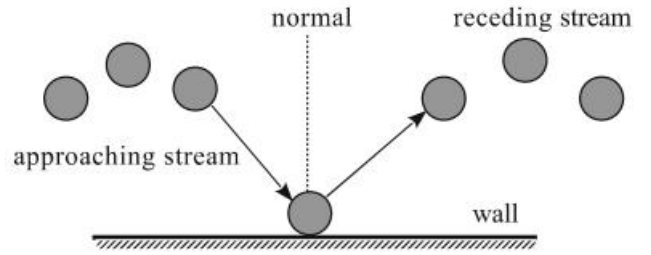
Momentumun Korunumu:
$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j v_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} - \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (3)$$

Enerjinin Korunumu:
$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j E)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ij}) \quad (4)$$

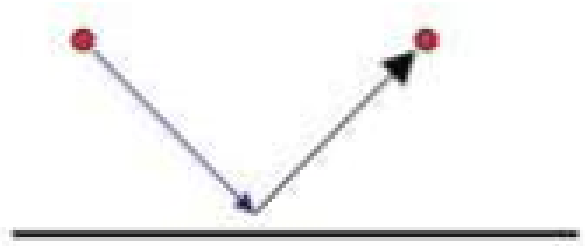
2.4. Kayma Akışı Modelleri

2.4.1 Maxwell'in Kayma Teorisi ve Birinci Dereceden Kayma Sınır Koşulu

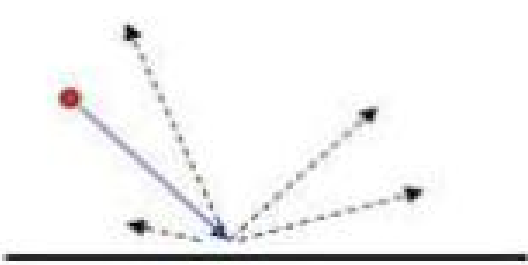
Maxwell kayma kavramı üzerinde çalışmış ve duvarın yanındaki kayma uzunluğunu ölçmüştür. Gaz-duvar etkileşimi sırasında, gaz molekülleri, duvara yaklaşan ve uzaklaşan iki akış olarak ayrılır.



Şekil 2.4 Gaz-duvar etkileşimi.



Şekil 2.5 Aynasal etkileşim.



Şekil 2.6 Dağınık etkileşim.

Maxwell tüm etkileşimlerin aynasal ya da dağınık olarak sınıflandırılabilirliğini ve etkileşimi ölçmek için teğetsel momentum barındırma katsayısı (TMBK) olarak bir parametre tanımlayabildiğini varsaydı;

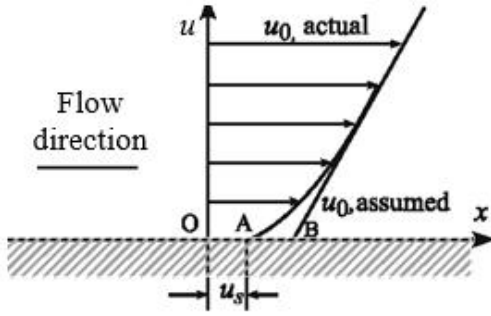
$$\sigma_v = \frac{\tau_i - \tau_r}{\tau_i - \tau_w} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitlikte, sırasıyla τ_i ve τ_r gelen ve yansıyan moleküllerin teğetsel momentumu; τ_w ise duvarın teğetsel momentumudur. Sabit bir duvar için $\tau_w = 0$ olur ve ayrıca τ_w yüzeyde adsorbe edilmiş olabilecek, yeniden yayılan moleküllerin teğetsel momentumudur. σ' da bulunan v alt indisi,

hızın yerleşimine atıfta bulunduğumuzu vurgulamaktadır. Aynasal etkileşim sırasında gelen ve yansıtılan moleküllerin teğetsel momentumu eşittir ancak momentumlarının normal bileşeni tersine çevrilir. Yani aynasal etkileşim için, $\tau_i = \tau_r$ ve $\sigma_v = 0$ 'dır. Öte yandan, dağınmık etkileşim sırasında, molekül duvarla etkileşimden sonra herhangi bir rastgele yönde hareket edebildiğinden, sabit bir duvar için momentumu ortalama olarak sıfırdır ve aksi taktirde τ_w 'ye eşittir. Yani dağınmık etkileşim için, $\tau_r = \tau_w$ ve $\sigma_v = 1$ 'dir. Aynasal ve dağınmık etkileşimler bu nedenle σ_v sınırlarını güzel bir şekilde tanımlar ve tüm pratik değerlerin bu iki sınır dahilinde olması beklenir. Bir molekül geldiği yöne geri yansıtılırsa, σ_v birlikten daha büyük olabilir ve bu duruma saçılma adı verilir. Ancak, bu durumla sık sık karşılaşılabilir. Herhangi bir akışta, f toplam etkileşimlerin dışındaki dağınmık etkileşimin bir parçasıysa TMBK'nın etkin değeri;

$$\sigma_v = f x \sigma_{v,dağınmık} + (1 - f) x \sigma_{v,aynasal} = f x 1 + (1 - f) x 0 = f \quad (6)$$

Bu nedenle, σ_v dağınmık etkileşimlerin oranını da belirtir. Bu etkileşimler sırasında, duvar yaklaşmakta olan akımın teğetsel momentumu ile uzaklaşan akım tarafından taşınan arasındaki farktan dolayı viskoz bir sürüklenme yaşar.



Şekil 2.7 Duvara doğrusal olarak uzatılan gerçek hız profili.

Maxwell, yaklaşan akımın u_0 'a eşit olarak uzanan bir hız gradyanı sergilediğini varsayarken, u_s , Şekil 2.4.4'te gösterildiği gibi duvardaki kayma hızıdır. Duvara yaklaşan akımın oluşturduğu teğetsel momentum şu şekilde analiz edilebilir: Duvara getirilen momentum, karşılık gelen moleküler akım tarafından gazın başka bir yerine iletilen momentumun büyüklüğüne eşittir. Bu nedenle, gelen momentum birim zaman başına birim alan başına $\frac{\mu}{2} \frac{du_0}{dy}$ 'dir, burada μ viskozite katsayısıdır ve y duvar için normaldir. Gazların kinetik teorisinden, birim duvar alanı başına düşen molekül sayısı, ortalama $\frac{1}{4} n \bar{v}$ hızına sahip birim hacim başına n molekülü olan bir gaz için \bar{v} 'dir. Bu moleküller, m 'nin molekülün kütlesi olduğu bir mu_s momentumu taşıyacaktır. Bu nedenle, kayma hızı u_s nedeniyle birim zaman başına birim alan başına gaz tarafından taşınan momentum, akış yönü $\frac{1}{4} n m \bar{v}$ çarpı u_s 'dir. Dolayısıyla gelen momentum bu iki bileşenin toplamıdır. Yukarıdaki argüman sadece dağınmık olarak yansıyan moleküller için geçerliken, aynasal yansıyan moleküller Şekil 2.4.3'ten anlaşıldığı üzere sürüklemeye katkıda bulunmazlar. Duvardaki sürüklenme, gelen ve giden momentumun farkı olduğundan, $p = mn$ yoğunluğunu kullandığımız yerde,

$$\sigma_s \left(\frac{1}{2} \mu \frac{du_0}{dy} + \frac{1}{4} \rho u_s \bar{v} \right) = \mu \frac{du_0}{dy} \quad (7)$$

eşitliğini elde ederiz. Bu nedenle, kayma hızı u_s ,

$$u_s = 2 \left(\frac{2 - \sigma_v}{\sigma_v} \right) \frac{\mu}{\rho \bar{v}} \frac{du_0}{dy} \quad (8)$$

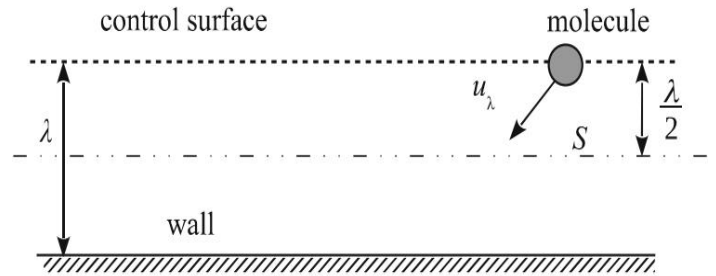
şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki denkleme kinetik teorisinin standart bir sonucu olan $\bar{v} = 2 \left(\frac{2RT}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$ eklendikten sonra,

$$u_s = \left(\frac{2 - \sigma_v}{\sigma_v} \right) \lambda \frac{du}{dy} \Big|_w \quad (9)$$

elde edilir (Ayrıca burada ortalama serbest yol $\lambda = \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \sqrt{\frac{\pi RT}{2}}$ için ifadeler kullandık.). Hızın ilk y türevi ile sadece bir kayma katsayısı σ_v 'nin (ya da $C_1 = \frac{2 - \sigma_v}{\sigma_v}$) yukarıdaki denkleme dahil edildiği unutulmamalıdır. Bu nedenle yukarıdaki model, "birinci dereceden" kayma sınırı koşulu olarak bilinir.

2.4.2 İkinci Dereceden Kayma Sınır Koşulu

Bu bölümde ikinci dereceden bir hız kayma modeli türetilmiştir. Türetme biraz sezgisel olmasına rağmen, yukarıda türetilen modelin nasıl genişletilebileceği hakkında önemli ipuçları verir. $\lambda/2$ 'nin duvardan uzakta bulunan bir kontrol yüzeyinin momentumunu geçtiği düşünülürse " λ " gazın ortalama serbest yoludur (Şekil 2.4.5).



Şekil 2.8 İkinci dereceden sınır kayma koşulu.

Bu kontrol yüzeyini geçen momentumun yarısı, yüzeyden λ mesafesinden gazla (gaz hızının u_λ olduğu yerde), diğer yarısı duvardan etkileşimden sonra gazla getirilir. Bu son momentumun büyüklüğü, duvardaki hem aynasal hem de dağınmık yansımalar nedeniyle bileşenler içerir. Dağınmık bileşen $\sigma_v u_w$ 'ye katkıda bulunurken, aynasal bileşen $(1 - \sigma_v) u_\lambda$ 'ya katkıda bulunur. Dolayısıyla,

$$u_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{u_\lambda}{2} + \frac{\sigma_v u_w + (1 - \sigma_v) u_\lambda}{2} \quad (8)$$

eşitliğini elde ederiz. Taylor serisinde u_λ 'yi $\frac{\lambda}{2}$ kadar genişletirsek

$$u_\lambda = u_{\frac{\lambda}{2}} + \frac{\lambda}{2} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \frac{\lambda^2}{8} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \dots \quad (9)$$

ve bu seriyi elde ettiğimiz denklemin içine yerleştirirsek;

$$\left(u_{\frac{\lambda}{2}} - u_w \right) = \frac{\lambda}{2} \frac{2 - \sigma_v}{\sigma_v} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \frac{\lambda^2}{8} \frac{2 - \sigma_v}{\sigma_v} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \dots \quad (10)$$

Şimdi kontrol yüzeyini $\frac{\lambda}{2}$ mesafesinden duvara doğru hareket ettirirsek,

$$\left(u_{\frac{\lambda}{2}} - u_{\omega}\right) = \lambda \frac{2-\sigma_v}{\sigma_v} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \lambda^2 \frac{2-\sigma_v}{\sigma_v} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \dots \quad (11)$$

elde ederiz. $u_g - u_{\omega} = u_s$ Olarak tanımlar ve u_g 'yi $u_{\lambda/2}$ ile yer değiştirirsek, genel ikinci dereceden kayma sınır koşulu olan

$$u_s = \frac{2-\sigma_v}{\sigma_v} \left(\lambda \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\frac{\lambda}{2}} + \lambda^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \Big|_{\frac{\lambda}{2}}\right) \quad (12)$$

eşitliğini elde ederiz.

2.5 HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)

CFD (Computational Fluid Dynamics), yani HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) anlamına gelen akışkan akışı, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi sistemlerin bilgisayar üzerinden simülasyonu analizine verilen isimdir. Bu metot pek çok endüstriyel ve endüstriyel olmayan uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

HAD, matematiksel metotlar ve belirli algoritmalar ile akışkanların analizini, bilgisayar üzerinde gerçekleştirerek sonuçları simülasyon şeklinde aktaran bir disiplindir. HAD bir bilgisayar programı veya yazılımı değildir. Sadece ANSYS gibi akış analizi yapılabilen programlarda kullanılan bir metottur. Örneğin bir mühendis, otomobil veya uçak tasarlamak istediğinde aerodinamik, mühendislik prosesinde çok önemli yere sahiptir. Ancak, aerodinamik prosesler kolaylıkla ölçülemez. Genel olarak mühendislerin tek yolu, tasarımlarını optimize ederek, ürünün prototipini teste tabi tutmalarıdır. Geçmişten günümüze bilgisayar teknolojisinin yaygınlaşması ile hesaplamalı akışkan dinamiği yani HAD, yaygın olarak akışkan akışlarında kullanılmaya başlanmıştır. HAD analizinde akışın basıncı, sıcaklığı, hızı, yoğunluğu ve viskozitesi gibi fiziksel özelliklerine göre incelemeler yapılmıştır. HAD uygulamaları, ANSYS-Fluent gibi bilgisayar uygulamalarıyla günümüzde artmaya devam etmektedir. HAD ile gerçeğe çok yakın analizler yapıldığı için, deney ve prototip testlerinin maliyetleri de büyük oranda azalmıştır. Bunun doğal sonucu olarak da ürünlerin fiyatı düşmüştür [8-15].

2.5 Kayma ve Kaymama Sınır Koşullarında Akış

Kaymama sınır koşulu, sıvı hızının, sınır tabakası ile doğrudan teması halinde sınırın hızı ile aynı olduğunu varsayar. Sınır ve bu sıvı arasında göreceli bir katman olmadığı için kayma olmaz. Kayma sınır koşulu hız fonksiyonunda bir süreksizlik olduğunu, başka bir deyişle, sıvı ile sınır arasında göreceli bir hareket olduğunu varsayar. Bu nedenle kayma vardır. Hız fonksiyonunun, sınırın hızına erişebileceği sınır içindeki varsayımsal mesafeye kayma uzunluğu (L_s) denir. Sıvı alanının son katmanının hızı ile sınırdaki hız arasındaki tutarsızlığın;

$$\Delta v_{boundary} = \frac{\partial v_x}{\partial z} \Big|_{boundary} L_s \quad (13)$$

olduğu varsayılabilir [6].

Kayma uzunluğu sadece sıvı ve katının eşleşmesine bağlıdır. Bu nedenle deneylerle teorik olarak belirlenebilir. Kaymama sınır koşulu, genel olarak 300nm üstündeki karakteristik uzunluk ölçeklerinde katı sınırlar ve sıkılaştırılmayan sıvılarla çalışılan mikroakışkanlardaki çoğu uygulamada uygulanabilir.

Kaymama sınır koşulu uygulanmadığı zaman, kayma dikkate alınmalıdır. Bu durumlarda sınırdaki hız sıfırdan farklıdır.

3. Bir Mikrokanalda 3 Boyutlu Kayma Akışı

Bu projede; yakınsak bir mikrokanalda, gaz olarak nitrojen gazının kullanıldığı (Şekil 3.1) ve mikrokanal malzemesinin alüminyum seçildiği bir kayma akışının deneysel ve sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmamızda parametre değerleri olarak yakınsama açıları 40, 80, 120, 80, 80 ve 80, hidrolik çapları 143, 147, 150, 118, 147 ve 177 μm , uzunlukları birbirine eşit (20 mm) olan 6 farklı mikrokanal kullanılmıştır. Bu mikrokanallar, üçerli gruplar olmak üzere iki gruba ayrılarak, ilk grupta (Çözüm I, Çözüm II, Çözüm III) nozüldeki basınç farkının (ΔP) yakınsaklık açısıyla değişimi, ikinci grupta ise (Çözüm IV, Çözüm V, Çözüm VI) yine basınç farkının hidrolik çap ile (D_h) değişimi incelenmiştir.

Name	nitrogen	Material Type	fluid
Chemical Formula	n2	Fluent Fluid Materials	nitrogen (n2)
		Mixture	none
Properties			
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...	0.0242
Viscosity (kg/m-s)	constant	Edit...	1.663e-05
Molecular Weight (kg/kgmol)	constant	Edit...	28.0134
L-J Characteristic Length (angstrom)	constant	Edit...	3.621

Şekil 3.1 Nitrojen gazının özellikleri.

Maxwell, yaklaşan akımın u_0 'a eşit olarak uzanan bir hız gradyanı sergilediğini varsayarken, u_s , Şekil 2.4.4'te gösterildiği gibi duvardaki kayma hızıdır. Duvara yaklaşan akımın oluşturduğu teğetsel momentum şu şekilde analiz edilebilir: Duvara getirilen momentum, karşılık gelen moleküler akım tarafından gazın başka bir yerine iletilen momentumun büyüklüğüne eşittir. Bu nedenle, gelen momentum birim zaman başına birim alan başına $\frac{\mu}{2} \frac{du_0}{dy}$ dir,

3.1 Açının Etkisi

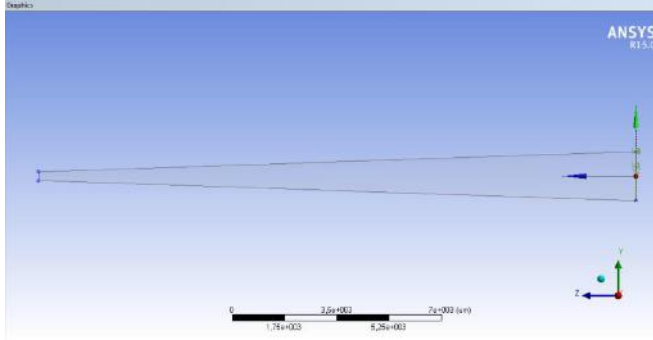
I, II ve III çözümlerinde, nozüldeki basınç farkının yakınsaklık açısıyla değişiminin analizleri aşağıda adım adım sunulmuştur. Mikrokanaldaki akışın, mikrokanalın ve nitrojen gazının özellikleri aşağıdaki Tablo 3.1'de belirtilmiştir. Nitrojenin gazının girdiği kısım (inlet), mikrokanalın alanı daha büyük olan kısmı olarak seçilmiştir.

Tablo 3.1 Çözüm I, Çözüm II ve Çözüm III parametreleri.

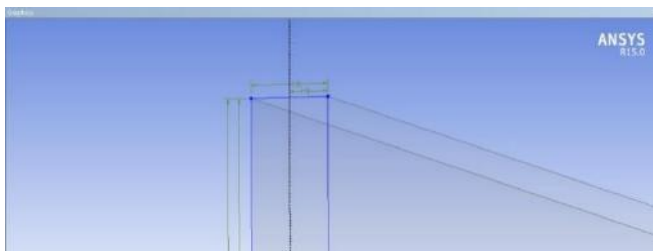
	Çözüm I	Çözüm II	Çözüm III
Yakınsama açısı	4	8	12
Kütleli debi (kg/s)	0,0000001	0,0000001	0,0000001
Hidrolik çap (D_h) (μm)	143	147	150
Uzunluk (mm)	20	20	20
W_s (μm)	293	291	291
W_L (μm)	1680	3077	4480
H (μm)	79	78	78
Knudsen	0,043	0,042	0,041
Reynolds	0,84	0,48	0,33

3.1.1 Çözüm I

Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 1680 μm , kalınlığı ise 79 μm olan bir mikrokanal modeli kullanılmıştır. Aşağıda, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te, kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



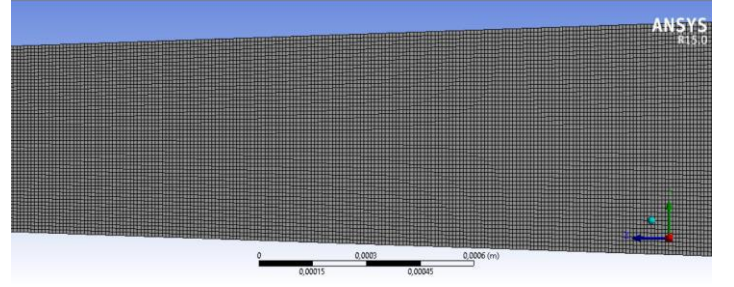
Şekil 3.2 Çözüm I için geometri modeli.



Şekil 3.3 Çözüm I'in kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	39,5 μm
<input type="checkbox"/> H5	79 μm
<input type="checkbox"/> V1	840 μm
<input type="checkbox"/> V2	1680 μm

Şekil 3.4 Çözüm I'in uzunlukları.



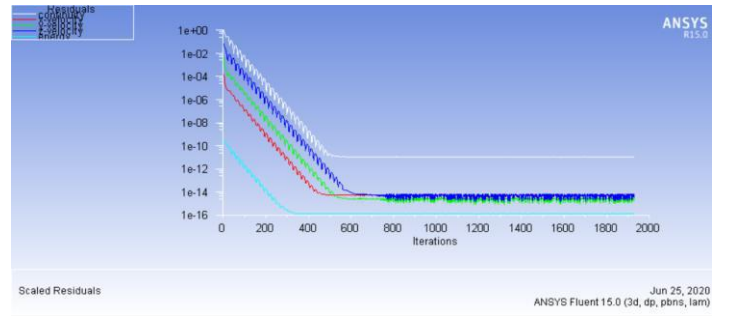
Şekil 3.5 Çözüm I'in çözüm ağı kesiti.

Details of "Mesh"	
<input checked="" type="checkbox"/> Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,002e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,002e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0004e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	7,9e-005 m

Şekil 3.6 Çözüm I'in çözüm ağı detayları.

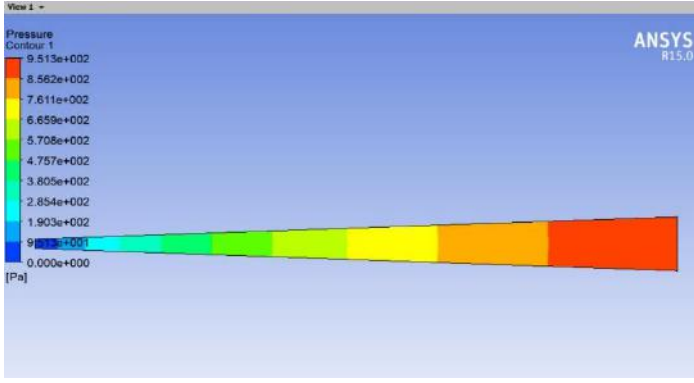
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1021608
<input type="checkbox"/> Elements	891440
Mesh Metric	None

Şekil 3.7 Çözüm I'in çözüm ağı istatistikleri.

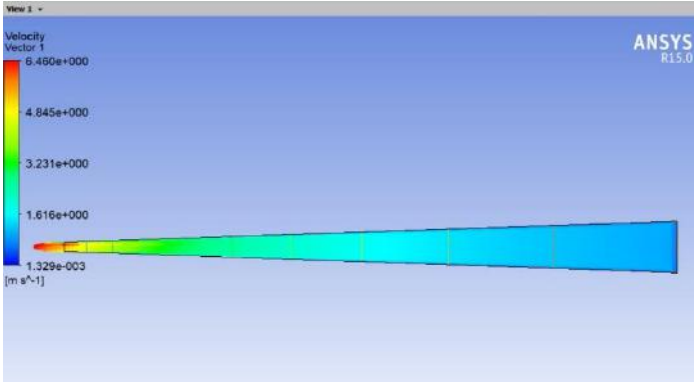


Şekil 3.8 Çözüm I için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 700 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür.



Şekil 3.9 Çözüm I basınç kontürleri.

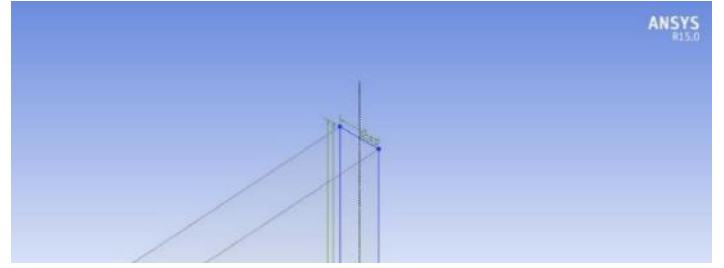


Şekil 3.10 Çözüm I hız vektörleri.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda 4 ° yakınsaklık açısındaki ΔP basınç farkı 948,65 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

3.1.2 Çözüm II

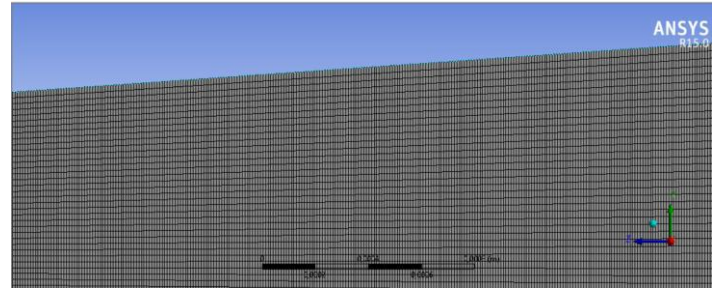
Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 3077 μm , kalınlığı ise 78 μm olan bir mikrokana model kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te, kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Çözüm II'nin geometri kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	39 μm
<input type="checkbox"/> H5	78 μm
<input type="checkbox"/> V1	1538,5 μm
<input type="checkbox"/> V2	3077 μm

Şekil 3.13 Çözüm II'nin uzunlukları.



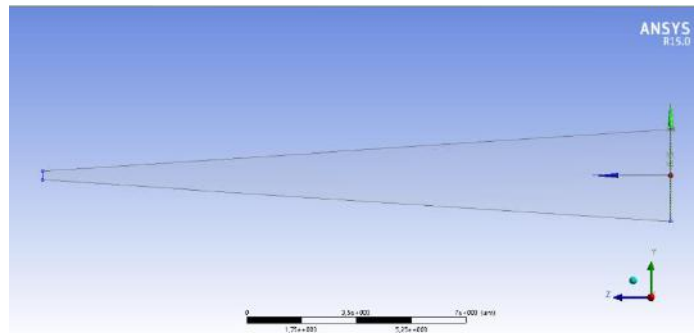
Şekil 3.14 Çözüm II'nin çözüm ağı kesiti.

Details of "Mesh"	
Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,0431e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,0431e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0086e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	7,8e-005 m

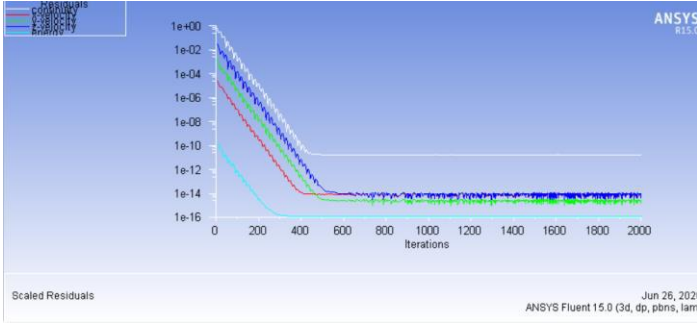
Şekil 3.15 Çözüm II'nin çözüm ağı detayları.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1110780
<input type="checkbox"/> Elements	970432
Mesh Metric	None

Şekil 3.16 Çözüm II'nin çözüm ağı istatistikleri.



Şekil 3.11 Çözüm II için geometri modeli.

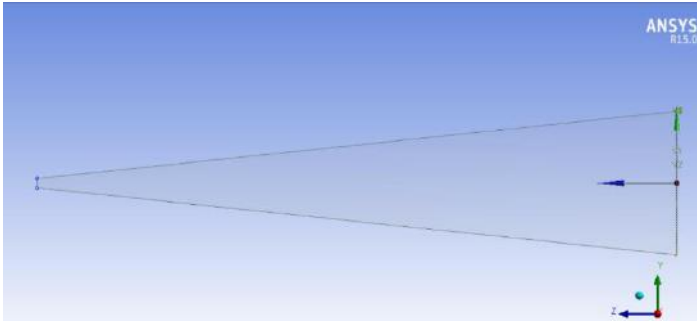


Şekil 3.17 Çözüm II için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

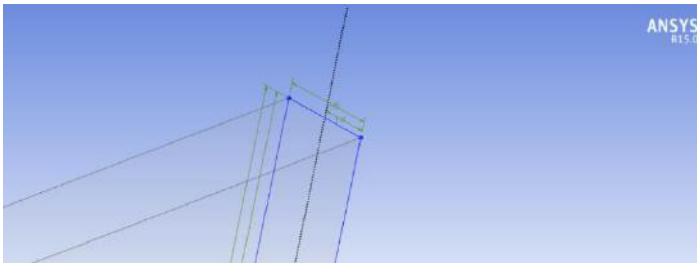
X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 500 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda 8° yakınsaklık açısındaki ΔP basınç farkı 658,15 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

3.1.3 Çözüm III

Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 4480 μm , kalınlığı ise 78 μm olan bir mikrokana model kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



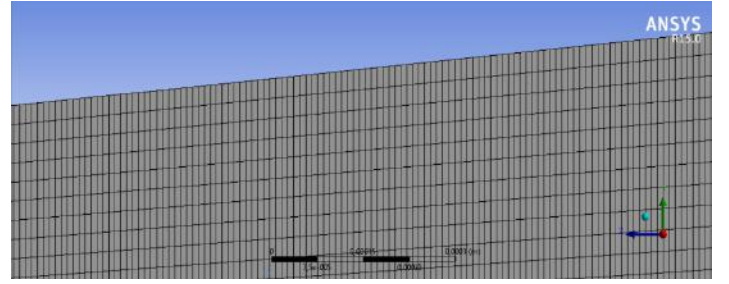
Şekil 3.18 Çözüm III için geometri modeli.



Şekil 3.19 Çözüm III'ün geometri kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	39 μm
<input type="checkbox"/> H5	78 μm
<input type="checkbox"/> V1	2240 μm
<input type="checkbox"/> V2	4480 μm

Şekil 3.20 Çözüm III'ün uzunlukları.



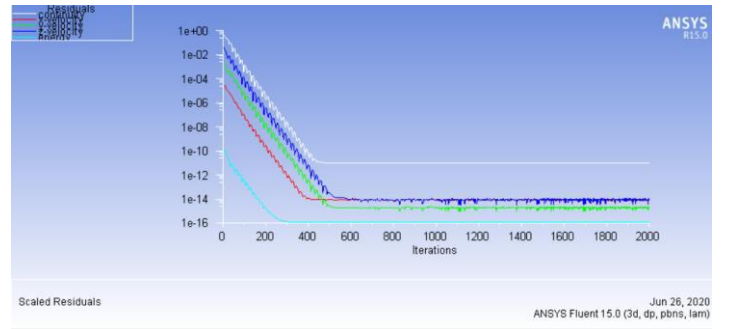
Şekil 3.21 Çözüm III'ün çözüm ağı kesiti.

Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,1079e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,1079e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0216e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	7,8e-005 m

Şekil 3.22 Çözüm III'ün çözüm ağı detayları.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1151154
<input type="checkbox"/> Elements	1006256
Mesh Metric	None

Şekil 3.23 Çözüm III'ün çözüm ağı istatistikleri.



Şekil 3.24 Çözüm III için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 450 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda 12° yakınsaklık açısındaki ΔP basınç farkı 508,29 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

3.2 Hidrolik Çapın Etkisi

Çözüm IV, Çözüm V ve Çözüm VI'da nozuldeki basınç farkının hidrolik çapa göre değişiminin analizleri aşağıda adım

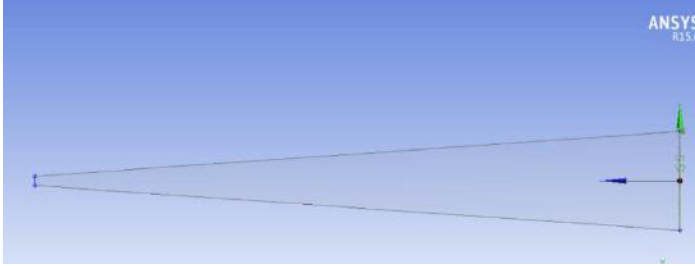
adım sunulmuştur. Mikrokanaldaki akışın, mikrokanalın ve nitrojen gazının özellikleri aşağıdaki Tablo 3.2’de belirtilmiştir. Nitrojenin gazının girdiği kısım (inlet), mikrokanalın alanı daha büyük olan kısmı olarak seçilmiştir.

Tablo 3.2 Çözüm IV, Çözüm V ve Çözüm VI parametreleri.

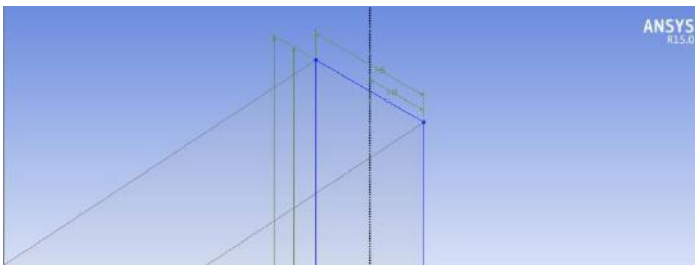
	Çözüm IV	Çözüm V	Çözüm VI
Yakınsama açısı	8	8	8
Kütleli debi (kg/s)	0,0000001	0,0000001	0,0000001
Hidrolik çap (D_h) (μm)	118	147	177
Uzunluk (mm)	20	20	20
W_s (μm)	267	291	276
W_L (μm)	3067	3077	3073
H (μm)	62	78	95
Knudsen	0,052	0,042	0,035
Reynolds	4,83	4,77	4,72

3.2.1 Çözüm IV

Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 3064 μm , kalınlığı ise 62 μm olan bir mikrokanal modeli kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de, kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



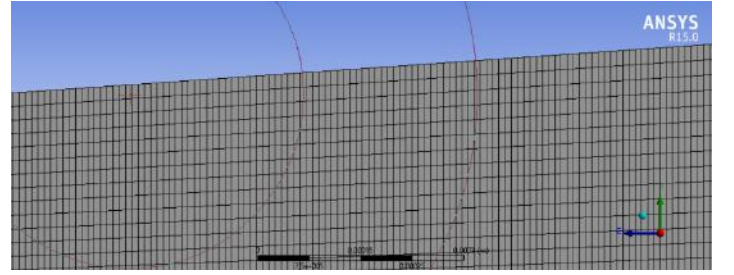
Şekil 3.25 Çözüm IV için geometri modeli.



Şekil 3.26 Çözüm IV'ün geometri kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	31 μm
<input type="checkbox"/> H5	62 μm
<input type="checkbox"/> V1	1533,5 μm
<input type="checkbox"/> V2	3067 μm

Şekil 3.27 Çözüm IV'ün uzunlukları.



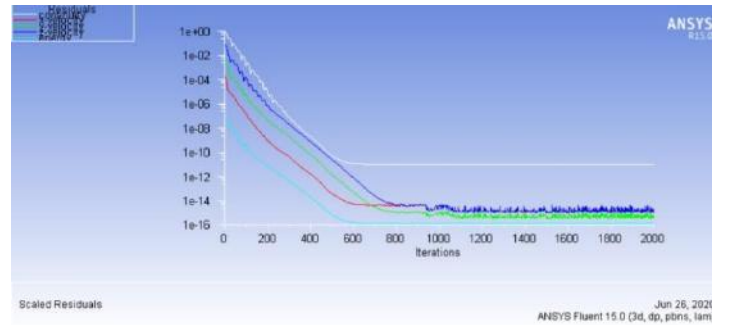
Şekil 3.28 Çözüm IV'ün mesh kesiti.

Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,0427e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,0427e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0085e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	6,2e-005 m

Şekil 3.29 Çözüm IV'ün çözüm ağı detayları.

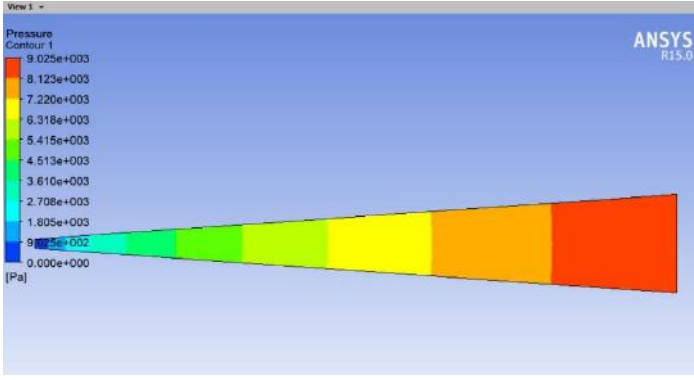
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1281168
<input type="checkbox"/> Elements	1119960
Mesh Metric	None

Şekil 3.30 Çözüm IV'ün çözüm ağı istatistikleri.

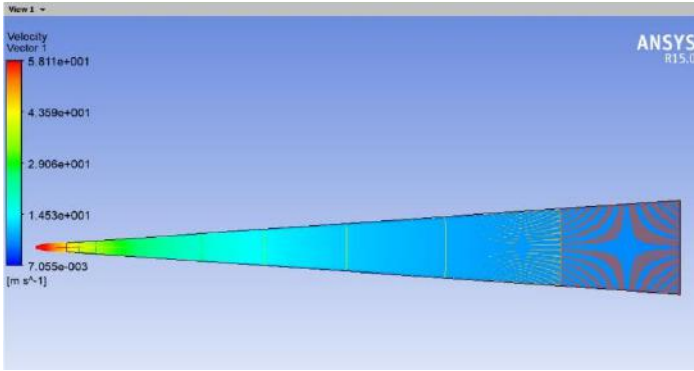


Şekil 3.31 Çözüm IV için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 800 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür.



Şekil 3.32 Çözüm IV basınç kontürleri.

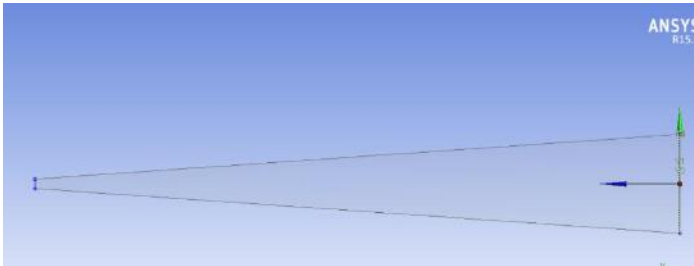


Şekil 3.33 Çözüm IV hız vektörleri.

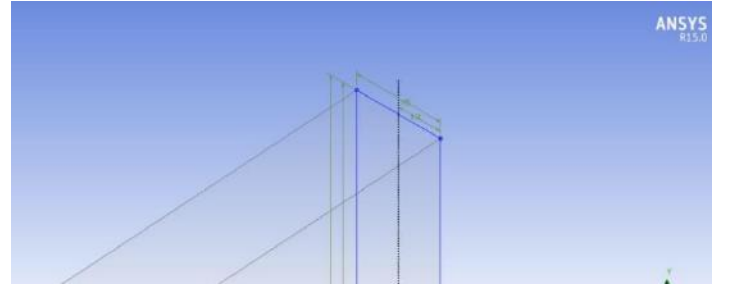
Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda hidrolik çap 118 μm olarak seçildiğinde ΔP basınç farkı 8997 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

3.2.2 Çözüm V

Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 3077 μm , kalınlığı ise 78 μm olan bir mikrokanal modeli kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da, kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



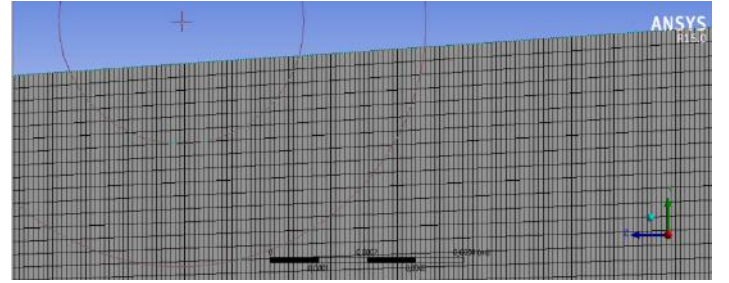
Şekil 3.34 Çözüm V'in geometri modeli.



Şekil 3.35 Çözüm V'in geometri kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	39 μm
<input type="checkbox"/> H5	78 μm
<input type="checkbox"/> V1	1538,5 μm
<input type="checkbox"/> V2	3077 μm

Şekil 3.36 Çözüm V'in uzunlukları.



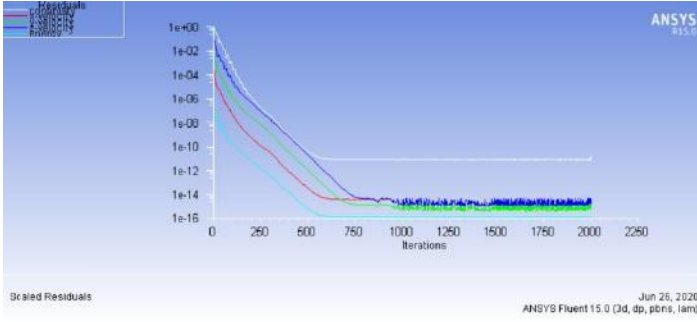
Şekil 3.37 Çözüm V'in çözüm ağı kesiti.

Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,0431e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,0431e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0086e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	7,8e-005 m

Şekil 3.38 Çözüm V'in çözüm ağı detayları.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1110780
<input type="checkbox"/> Elements	970432
Mesh Metric	None

Şekil 3.39 Çözüm V'in çözüm ağı istatistikleri.

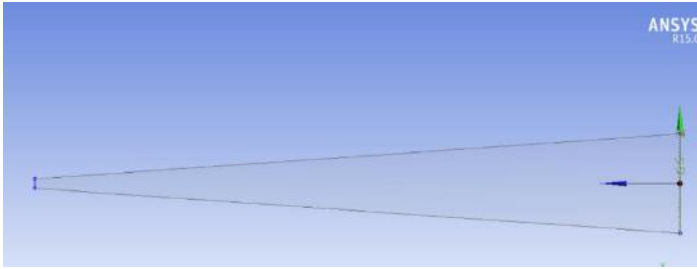


Şekil 3.40 Çözüm V için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

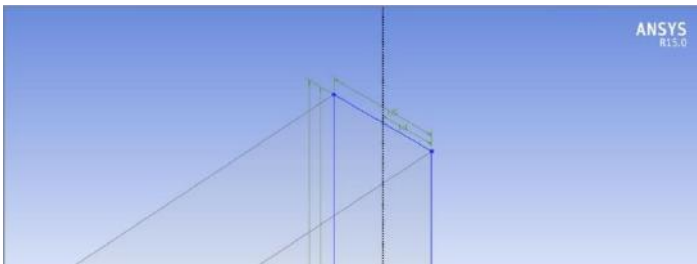
X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 800 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda 147 μm hidrolik çap değerinde, ΔP basınç farkı 7529,1 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

3.2.3 Çözüm VI

Kayma akışı için yatay uzunluğu 20 mm, dikey uzunluğu 3073 μm , kalınlığı ise 95 μm olan bir mikrokanal modeli kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.41, Şekil 3.42 ve Şekil 3.43'te, kullanılan model ve uzunlukları gösterilmiştir.



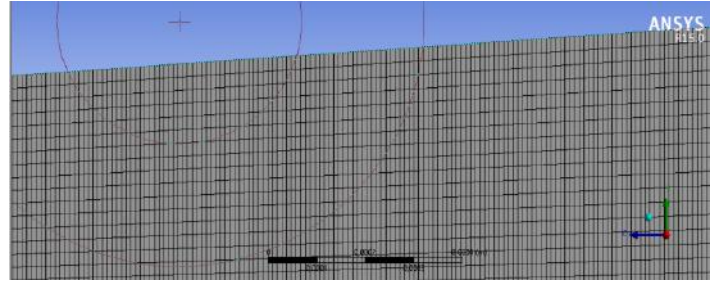
Şekil 3.41 Çözüm VI'nin geometri modeli.



Şekil 3.42 Çözüm VI'nin geometri kesiti.

Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H4	47,5 μm
<input type="checkbox"/> H5	95 μm
<input type="checkbox"/> V1	1538,5 μm
<input type="checkbox"/> V2	3077 μm

Şekil 3.43 Çözüm VI'nin uzunlukları.



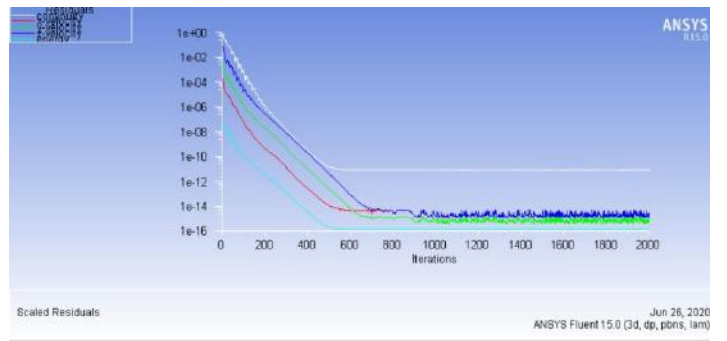
Şekil 3.44 Çözüm VI'nin çözüm ağı kesiti.

Sizing	
Use Advanced Size Fun...	On: Proximity
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	8
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,0431e-006 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,0431e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1,0086e-003 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	9,5e-005 m

Şekil 3.45 Çözüm VI'nin çözüm ağı detayları.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	699219
<input type="checkbox"/> Elements	607936
Mesh Metric	None

Şekil 3.46 Çözüm VI'nin çözüm ağı istatistikleri.



Şekil 3.47 Çözüm VI için momentum ve enerji denklemlerindeki artık değerler.

X, y ve z momentum denklemleri ile enerji denklemindeki artık değerlerin yaklaşık 600 iterasyondan sonra sabit hale geldiği ve sayısal çözümün yakınsadığı görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bu çalışmalar sonucunda 177 μm hidrolik çap değerinde, ΔP basınç farkı 4608,6 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, aslında girişteki basınçtır. Çıkışta basınç 0 Pa değerinde sabit olduğu için giriş basıncı bizi doğrudan ΔP basınç farkına ulaştırmıştır.

4. Sonuçlar

Maliyeti yüksek ve uzun zaman alan deney sistemleri kurmak yerine, daha az maliyetli bir yöntem olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği sayesinde, deneylerde uygulanması vakit alan koşulların incelenmesi mümkün olmuştur. ANSYS Fluent yazılımı sayesinde, uzun deney uğraşları vermek yerine simülasyonlar ile çalışmalarımızı yaparak zamandan ve maliyetten kazanç sağlanmıştır.

Çalışmada, 6 farklı mikrokanalda akan nitrojen gazının, farklı yakınsaklık açıları (4°, 8° ve 12°) ve farklı hidrolik çaplarda (118, 147 ve 177 µm) basınç kaybını analiz edilmiştir. Sürtünme faktörü (f) her bir çözümde;

$$f = (P_i^2 - P_o^2) \left[\frac{1}{G^2 RT} - \frac{1}{P_i P_o} \right] \frac{Dh}{L} \quad (14)$$

formülü kullanılarak bulunmuştur. Burada;

P_i: Giriş basıncı (Fluent' te okunan değere 101325 Pa atmosfer basıncı eklenerek elde edilmiştir),

P_o: Çıkış basıncı (101325 Pa değerinde sabit),

R: Nitrojen için spesifik gaz sabiti (296,8 J/kgK),

T: Sıcaklık (300K),

Dh: Hidrolik çap (m),

L: Uzunluk (m)

G=m /A : (Kütleli debi her bir çözüm için oluşturulan parametre tablosunda verilmiştir),

A=V/L: Kesit Alanı (m²) (Hacim değeri her bir çözüm için ayrı olarak ANSYS üzerinden okunmuştur ve uzunluk değeri her çözümde 20mm olarak sabittir).

Viskoz basınç kaybı (ΔP_v) ise her bir çözüm için;

$$\Delta P_v = \frac{G^2 f L}{2 D \rho_m} \quad (14)$$

Eşitliği kullanılarak elde edilmiştir. Burada;

ρ_m: Ortalama Yoğunluk (kg/m³) (ANSYS üzerinden okunmuştur).

Son olarak ise, toplam basınç kaybı (ΔP_t) ANSYS üzerinden okunmuştur. Yakınsaklık açılarına göre çalışmalar yapılırken, aynı uzunluk, derinlik, hidrolik çap değerleri kullanılmıştır. Çözüm I için nitrojen gazının giriş hızı 0,2514745 m/s, Çözüm II için 0,3661377 m/s ve Çözüm III için 0,2514745 m/s'dir.

Tablo 4.1 Yakınsaklık açısına bağlı olarak basınç kaybı.

	Çözüm I	Çözüm II	Çözüm III
Basınç oranı, P _i /P _o	1,009	1,0065	1,005
Sürtünme faktörü, f	9,42	19,05	33,085
Viskoz basınç kaybı, ΔP _v (Pa)	946,44	656,86	557,52
Toplam basınç kaybı, ΔP _t (Pa)	948,65	658,15	508,29

Verilen parametrelere formüllere uygulanması sonucunda 4°'lik yakınsaklık açısında (Çözüm I) giriş basıncı ve çıkış basıncı oranının (P_i/P_o) 1,009 olduğunu görüyoruz. Yakınsaklık açısı 8° olarak ayarlandığında 4° yakınsaklık açısına göre (Çözüm II) %0,25 azalarak 1,0065 değerine, 12° olarak ayarlandığında (Çözüm III) %0,40 azalarak 1,005 değerine düşmüştür.

Sürtünme faktörü (f) Çözüm I için 9,42 iken, Çözüm II için %102,23 artarak 19,05 olurken, Çözüm III için %219,38 artarak 30,085 değerine ulaşmıştır.

Viskoz basınç kaybı (ΔP_v) ise Çözüm I için 946,44'tür. Çözüm II için bu değer %30,60 azalarak 656,86 olurken, Çözüm III için %41,39 azalarak 557,52 olarak ölçülmüştür.

Yakınsaklık açılarına göre basınç kaybına bakacak olursak, açı arttıkça basınç kaybının azaldığını görebiliriz. Çözüm I için açı 4° olarak ayarlandığında basınç kaybı 948,65 Pa olurken, Çözüm II için 8° olarak kullanıldığında %30,62 azalarak 658,15 Pa değerine düşmektedir. Aynı zamanda, Çözüm III için yakınsaklık açısı 12° olarak alındığında, basınç kaybı Çözüm I'e göre %46,42 azalarak 508,29 Pa değerine gerilemektedir.

Tablo 4.2 Hidrolik çapa bağlı olarak basınç kaybı.

	Çözüm I	Çözüm II	Çözüm III
Basınç oranı, P _i /P _o	1,088	1,074	1,045
Sürtünme faktörü, f	163,49	225,39	240,83
Viskoz basınç kaybı, ΔP _v (Pa)	8786,54	7351,12	4538,36
Toplam basınç kaybı, ΔP _t (Pa)	8997	7529,1	4608,6

Yakınsaklık açısı arttıkça mikrokanallardaki en büyük genişlikler sırasıyla Çözüm I, Çözüm II ve Çözüm III için 1680, 3077 ve 4480 µm olmuş ve çapın artmasıyla birlikte basınç kayıpları azalmıştır.

Hidrolik çap ile basınç kaybı değişimleri için çalışmalar yapılırken ise, aynı uzunluk, aynı yakınsaklık açısı ve derinlik değerleri kullanılmıştır. Nitrojen gazının giriş hızı Çözüm IV, Çözüm V ve Çözüm VI için sırasıyla 4,621109 m/s, 3,661299 m/s ve 3,00614 m/s'dir.

Verilen parametrelere formüllere uygulanması sonucunda 118 µm hidrolik çapta (Çözüm IV) giriş basıncı ve çıkış basıncı oranının (P_i/P_o) 1,088 olduğunu görüyoruz. Hidrolik çap 147 µm olarak ayarlandığında 118 µm hidrolik çapta göre (Çözüm V) %1,29 azalarak 1,074 değerine, 177 µm olarak ayarlandığında (Çözüm VI) %3,95 azalarak 1,045 değerine düşmüştür.

Sürtünme faktörü (f) Çözüm IV için 163,49 iken, Çözüm V için %37,86 artarak 225,39 olurken, Çözüm III için %47,31 artarak 240,83 değerine ulaşmıştır.

Viskoz basınç kaybı (ΔP_v) ise Çözüm IV için 8786,54'tür. Çözüm V için bu değer %16,34 azalarak 7351,12 olurken, Çözüm VI için %48,35 azalarak 4538,36 olarak ölçülmüştür.

Hidrolik çap değişimine göre basınç kaybına bakılırsa, hidrolik çap arttıkça basınç kaybının azaldığını görebiliriz. Çözüm IV için hidrolik çap 118 µm olarak ayarlandığında basınç kaybı 8997 Pa iken, Çözüm V için 147 µm olarak alındığında %16,32 azalarak 7529,1 Pa olmuştur. Hidrolik çap Çözüm VI için 177 µm olarak alındığında ise basınç kaybının Çözüm IV'e göre %48,68 azalarak 4608,4 Pa değerine düştüğü görülebilir.

Hidrolik çap arttırdıkça Reynolds sayısı artar. Reynolds sayısı artınca sürtünme katsayısı düşer ve dolayısıyla basınç kaybı azalır.

4. Kaynaklar

1. Dolu, C., Mikrokanal Isıl Performansı Üzerinde Kayma Akışı Modeli Hassasiyeti Etkilerinin Araştırılması. 2007, Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Parlak, N., Gur, M., Engin, T. ve Parlak, Z. , Mikroborularda Su Akışının Termodinamik Analizi.
3. Hanoon, H.A. and A.K. Alshara, Performance Characteristics of Parallel Slip Flow Microchannel Heat Exchanger. Basrah Journal for Engineering Science, 2011. 11(1): p. 16-30.
4. Sobhan, C. and G. Peterson, A review of convective heat transfer in microchannels. Mühendis ve Makina, 2006. 557: p. 10-67.
5. Chen, C., S. Lee, and J. Sheu, Numerical analysis of gas flow in microchannels. Numerical Heat Transfer, Part A Applications, 1998. 33(7): p. 749-762.
6. Rapp, B.E., Microfluidics: Modeling, Mechanics and Mathematics. 2016: William Andrew.
7. Anderson, J.D., Governing equations of fluid dynamics, in Computational fluid dynamics. 1992, Springer. p. 15-51.
8. Pawar, R., Patil, R., Patil, D., Rahegaonkar, A., Pardeshi, S., and Patange, A. (2022). Development of a Model for Predicting Brake Friction Lining Thickness and Brake Temperature. International Journal of Prognostics and Health Management, 13(1).
9. Mingozzi, F., Verdin, P. G., Gucci, L., and Tirovic, M. (2022). CFD and experimental study of heat dissipation from an anti-coning, pin vented, inboard mounted brake disc. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 09544070221126216.
10. Alavi, S. H., and Eipakchi, H. (2019). Analytical method for free-damped vibration analysis of viscoelastic shear deformable annular plates made of functionally graded materials. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 47(4), 497-519.
11. Cravero, C., and Marsano, D. (2022). Flow and thermal analysis of a racing car braking system. Energies, 15(8), 2934.
12. Yun, C. M., Cho, G. J., Kim, H., and Jung, H. (2022). A Study on the Train Brake Position-Based Control Method for Regenerative Inverters. Energies, 15(18), 6572.
13. Öztürk, E., Özcan ,O., Aslan, E., ve Kaya, K., "Pürüzlü Silindir Etrafındaki Türbülanslı Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi," Presented At The 4. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Kayseri, 2020.
14. Belhocine, A., and Abdullah, O. I. (2022). Finite element analysis (FEA) of frictional contact phenomenon on vehicle braking system. Mechanics based design of structures and machines, 50(9), 2961-2996.
15. Preda, C., Bleotu, R. M., and Pinca-Bretotean, C. (2022, February). Study and thermal analysis of vanes shape design

for brake disc in automotive industry. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2212, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

16. Kaya, K., and Özcan, O. (2021). An approximate analytic solution of uniform laminar flow in a circular open channel. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 43(6), 1-9.
17. Wang, Y., Xu, R., and Zhang, K. (2022). A car-following model for mixed traffic flows in intelligent connected vehicle environment considering driver response characteristics. Sustainability, 14(17), 11010.
18. Kuraishi, T., Terahara, T., Takizawa, K., and Tezduyar, T. E. (2022). Computational flow analysis with boundary layer and contact representation: I. Tire aerodynamics with road contact. Journal of Mechanics, 38, 77-87.
19. Putra, M. R. A., Nizam, M., Tjahjana, D. D. D. P., Arifin, Z., Lenggana, B. W., and Inayati, I. (2022). Analysis of Heat Generation on Unipolar Axial Eddy Current Brake Disc and Its Effect on Braking Performance. World Electric Vehicle Journal, 13(10), 180.



Mor Pigmentli Meyve ve Sebzelerin Kansere İlişkisinin İncelenmesi

Rahel Öneç Aydın^{1*}, Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu²

^{1*} Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7147-9694), rahelonec@gmail.com

²Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7936-8462), sabiha.koseoglu@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 10 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 21 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1114648)

ATIF/REFERENCE: Öneç Aydın, R., Köseoğlu, S. Z. A. (2022). Mor Pigmentli Meyve ve Sebzelerin Kansere İlişkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 485-491.

Öz

Kanser, dünya çapında ölüm nedeni yüksek olan önemli hastalıklardan biri olarak tanımlanmaktadır. Sebze ve meyveler içerisinde vitaminler, mineraller, folatlar, diyet lifleri ve çeşitli doğal biyoaktif bileşikler gibi faydalı besinleri içermektedir. Bunlar sayesinde birçok kanserin patolojik süreçleri önlenerek, kansere bağlı ölümlerin azaltıldığı görülmektedir. Spesifik olarak sebze ve meyvelerin kanser önleyici etkisi bulunmaktadır. Bunun nedeni ise içerisinde bulunan doğal biyoaktif bileşiklerdir. Bir çok biyoaktif bileşimin pigmentlerle çok özel renklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bunların insan vücudundaki etkisinin renklerine göre değiştiği görülmektedir. Kırmızı pigmentli gıdalar incelendiğinde bunların yararlı etkilerinin olduğu, bunların anti-tümör, anti-inflamatuar ve antioksidatif özelliklerinin incelendiği ortaya çıkmıştır. Kırmızı pigmentli gıdalarda bulunan biyoaktif bileşiklerin anti-kanser etkilerinin çoğu, kanser hücresi istilası ve metastazının baskılanmasından yanı sıra apoptoz ve hücre döngüsü durmasının indüklenmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Bu derlemede; kırmızı-mor pigment içeren meyvelerin kanser ile ilişkisi incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kanser, Mor ve kırmızı pigment, biyoaktif bileşik.

Investigation of the Relationship of Purple Fruit and Vegetables and Cancer

Abstract

Cancer is defined as one of the important diseases with a high cause of death worldwide. Vegetables and fruits contain beneficial nutrients such as vitamins, minerals, folates, dietary fibers and various natural bioactive compounds. Thanks to these, it is seen that the pathological processes of many cancers are prevented and cancer-related deaths are reduced. Specifically, vegetables and fruits have anti-cancer effects. The reason for this is the natural bioactive compounds in it. It has been determined that many bioactive compounds have very special colors with pigments. It is seen that the effects of these on the human body vary according to their color. When foods with red pigment were examined, it was revealed that they had beneficial effects, and their anti-tumor, anti-inflammatory and antioxidative properties were examined. Most of the anti-cancer effects of the bioactive compounds found in red-pigmented foods appear to result from the suppression of cancer cell invasion and metastasis, as well as the induction of apoptosis and cell cycle arrest. In this study we have done; The relationship between fruits containing red-purple pigment and cancer is investigated.

Keywords: Cancer, Purple and red pigment, bioactive compound.

* Sorumlu Yazar: Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, rahelonec@gmail.com

1. Giriş

Toplumun, bireyin ve ailenin temel amacı, üretken ve sağlıklı olmaktır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sağlığı; “İnsanın fiziksel, zihinsel ve sosyal yönden tam bir iyilik halinde olması” şeklinde tanımlamaktadır. Sadece hastalık ve yaralanmanın olmaması bireyin sağlıklı olduğunu göstermez (Avcu, 2017: 33).

İnsan sağlığını ve dolayısı ile toplum sağlığını etkileyen temel etmenler beslenme, kalıtım, çevre ve iklim koşullarıdır. Kalıtım, doğuştan var olan bireyin ailesinden kendisine geçen niteliklerdir. İnsan sağlığının düzeyini belirleyen en önemli etmendir (Kahraman, 2018: 22).

Sağlığı korumada, sağlığın kaliteli bir şekilde yürütülebilmesi, hastalıklardan korunması, hastalık oluşumundan sonra da hastalığın etkin bir biçimde tedavi edilmesi ve tedavi sürecinin kısaltılması için yeterli, dengeli ve sağlıklı beslenme en temel koşuldur (Alphan, 2017: 3-4).

Yeterli beslenme, vücudun gereksinimi kadar enerji, besin öğeleri ve biyoaktif maddelerin vücuda yeteri kadar alınması demektir. Ülkemizde ki en önemli sorunlardan birisi de yetersiz ve dengesiz beslenmedir. Bundan en çok etkilenenler gelişme çağındaki çocuklar, emzikli ve gebe kadınlar, ağır işte çalışan işçilerdir. Yetersiz ve dengesiz beslenme sonucunda vücut direnci azalacağından hastalıklara yakalanma riski artmakta, hastalıkların tedavisi uzamakta ve öldürücü komplikasyonların gelişmesine neden olmaktadır (Avcu, 2017: 34). Toplumun ölüm nedenleri arasında yetersiz ve dengesiz beslenme sonucu kalp ve damar hastalıklarından sonra ikinci sırada kanser yer almaktadır. Kanserinin nedenleri tam olarak bilinmemekle beraber halen araştırılmaktadır. Kalıtsal faktörlerin yanında çevresel faktörlerin de kanser oluşumunda etkisi olduğu söylenebilmektedir. Kanser vakalarına bakıldığında yaklaşık üçte birinin beslenme hataları ile ilişkili olduğu görülmektedir (Kahraman, 2018: 22). Kanser insidansını azaltmak için, diyet alışkanlıklarında, özellikle de antioksidanlar bakımından zengin meyve ve sebzelerin tüketimini artırmak vücudu korumakta, kanser, katarakt ve kalp hastalıkları riskini azaltmaktadır. Birikmiş araştırma kanıtları antioksidanların kanser oluşumunu, metastatik yayılımını önlemek ve hatta kanseri tedavi etmek için birçok diyet faktörünün tek başına veya geleneksel kemoterapötik ajanlarla kombinasyon halinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Doğal olarak bitkilerle birlikte aldığımız antioksidanlar, bir molekülün oksidatif stresini önleme, geciktirme veya yok etme yeteneğine sahip ajanlardır. Çeşitli diyet antioksidanların görevi, serbest radikallerin fazlalığını nötralize etmek, hücreleri toksik etkilerine karşı korumak, birçok hastalığın gelişiminde yer alan oksidatif stresi azaltarak kanserin önlenmesine katkıda bulunmaktadır.

Sağlıklı bir yaşam ve hastalıklardan korunma yollarının araştırılması tıp dünyasında en çok araştırma yapılan konulardan biridir. Bu nedenle, meyve, sebze ve doğal bitkilerin insan sağlığı üzerine etkileri günden güne daha fazla önem kazanmaktadır. Bitkilerle beraber tüketilen antioksidan maddeler kanser hücrelerinin deforme olmasına ve vücuda giren diğer zararlı maddelere karşı koruyucu bir kalkan oluşturmasına neden olmaktadır (Savucu, 2020).

Antioksidanlar gibi antosiyaninlerin de hastalık riskini azaltmada etkili olduğu gösterilmiştir. Antosiyaninler meyve ve

sebzelerde, bitkilerin yapraklarında yaygın olarak bulunan kendine özgü parlak kırmızı, mavi, mor ve menekşe rengini veren doğal pigmentlerdir. Bu fonksiyonel bileşikler frenk üzümünde, mor üzümde, yaban mersininde, kuş kirazı gibi önemli miktarda antosiyanin içeren meyvelerde yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır (Karataş ve Uçar, 2018). Son on yılda antosiyaninlerin kanser üzerindeki etkileri yoğun dikkat çekmiştir. Yapılan bazı çalışmaların bir kısmında antosiyaninlerin kanser riskini azaltıcı etki gösterdiği saptanmıştır (Afacan ve Sönmezdağ, 2020).

Diyet ile alınan mor renkli meyve ve sebzeler içerisinde böğürtlen ve yaban mersini başta olmak üzere doğada serbest halde bulunan birçok üzümü meyveler yüksek antosiyanin ve diğer fenolik bileşik içerikleriyle zengin antioksidan kapasiteye sahiptir. Bu nedenle mor renkli sebze ve meyvelerin dengeli bir diyetle eklenmesi vücudu çeşitli oksidatif streslere karşı korumada yararlı olacaktır (Çağlar ve Demirci, 2018: 20).

Bu derleme mor besinlerin içinde bulunan ve antioksidan etki gösteren fonksiyonel bileşiklerini belirleyerek kanser üzerine etkilerini saptamak ve bu konu hakkında bilgi sahibi olmak amacı ile planlanmıştır.

2.Kanser ve Kanser Oluşum Nedenleri

2.1.Kanser Tanımı

Kanser, vücudun hemen hemen her bölümünü etkileyebilen 100 hastalıktan fazlasını kapsayan bir terimdir. Kanser, anormal hücrelerin vücudun bitişik kısımlarını istila edebilen ve diğer organlara yayılabilen normal sınırların ötesinde büyüme ile karakterize olan büyük bir hastalık grubudur (Temizsoy, 2021).

Tüm kanser türlerinde bazı vücut hücreleri çevredeki sağlam dokuları işgal ederek bölünmeye başlar. Öte yandan yaşanan ve hasar gören hücrelerde belirli bir hızda yıkılmalar meydana gelir. Bu durum sonucunda hücre normalde yaptığı işlevleri yapamazken, bazı durumlarda normalde olmayan yeni işlevleri yapmaya başlayacaktır. Anormal şekilde çoğalmaya devam eden hücreler buldukları yerleri işgal ederek, hayatta kalır ve işgal ettiği bu bölgede yeni hücrelere ihtiyaç olmadığı halde çoğalmaya devam eder. Yeni hücreler hızla bölünmeye devam ederek tümörleri oluştururlar. Kanserli tümörler malign olup, etraftaki en yakın bölgelere yayılabilir ve oradaki dokuları istila edebilirler. Tümörler büyüdükçe birçok kanser hücreleri kan veya lenf sistemi yoluyla vücuttaki diğer yerlere atlayabilir ve eski tümörden uzak yeni tümörler ortaya çıkarabilir. İyi huylu (benign) tümörler, kötü huylu tümörlerden farklı olarak yakındaki dokulara yayılıp onları işgal etmezler. Benign tümörler çoğu zaman büyük olabilir ancak temizlendiğinde tekrar büyümezler (WHO, 2020).

Son dönemlerde yapılan çalışmalara göre, kanser bütün dünyada da olduğu gibi Türkiye'nin de toplumsal sağlık sorunlarının başında gelmektedir. Kanser dünyada ölüm nedenleri arasında ikinci sırada yer almaktadır ve bu sıranın 2030 yılında hızla artarak birinci sıraya yerleşeceği öngörülmektedir. 2018'de kanserden ölen sayısının 9.6 milyon olacağı tahmin edilmektedir (Siegel vd., 2017). Kanser tiplerinin görülme sıklığı cinsiyete, coğrafi bölgelere ve ırklara göre farklılık gösterebilmektedir. Dünya genelinde kadınlarda ve erkeklerde en çok rastlanan kanser çeşitleri akciğer, mide ve kolorektal kanseridir. Erkeklerde sık görülen kanser türleri prostat, mide ve karaciğer iken kadınlarda meme ve tiroiddir (WHO, 2020).

2.2.Kanserin Oluşum Nedenleri

Kansere neden olan değişiklikler genellikle kalıtsaldır. Kanser oluşumunun nedenleri kesin olarak bilinmemekle beraber birçok hazırlayıcı faktör bulunmaktadır. Tüm kanser vakalarının sadece % 5-10'u genetik formasyona bağlıken, geriye kalan % 90-95'inin nedeni ise çevreye ve yaşam tarzına bağlıdır. Kanseri önlemede iki çeşit risk faktörü bulunmaktadır. Bunlar değiştirilebilir faktörler ve değiştirilemeyen faktörlerdir. Değiştirilemeyen faktörler arasında yaş, cinsiyet, genetik faktörler ve aile öyküsü yer almaktadır. Değiştirilebilir faktörler ise beslenmeye dair hatalar, alkol ve sigara kullanımı, çevre kirliliği, meslek türleri, enfeksiyonlar, güneşe maruz kalma, ilaçlar, stres, obezite, gıda katkı maddeleri, jeofizik etkenlerdir. Ayrıca, besinleri hazırlama, pişirme ve saklamada uygulanan yanlış yöntemler de sağlık açısından risk oluşturmaktadır (Siegel vd., 2017).

2.2.1. Beslenmeye Ait Nedenler

Yapılan birçok çalışmada, bazı besinlerde zararlı maddelerin bulunduğunu, bazı besinlerin de kanser riskini arttırdığı görülmüştür. Vücuda zararlı bazı kimyasal maddeler besinlerin yağlı kısımlarında birikmektedir. Yağlı kısımlar tamamen ayrıldıktan sonra tüketilirse, zararlı kimyasalların vücuda girişi

azalmaktadır. Peynir ve etlerde ne kadar çok yağ bulunursa, kansere neden olan madde de o kadar çok bulunabilmektedir. Bir çok araştırmada, sürekli olarak domuz eti, domuz pastırması, sucuk, sosis, tereyağı ve iç yağı tüketen kişilerde kanserin diğer insanlara göre daha sık görüldüğü belirtilmiştir (Herr vd., 2014: 809-810).

Kanser arttırıcı besinler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar; Yağlı sığır, keçi ve tavuk etleri, Domuz eti, domuz pastırması, Hamburger, Sade, yağlı etten yapılan köfteler, Sucuk, sosis, salam, Yağda kızartılmış besinler, Nitrit ve nitrat eklenmiş besinler, Doğrudan ateşte pişmiş besinler, Tuzlanmış besinler, Tütsülenmiş besinler olarak sıralanmaktadır.

2.2.2. Kanser Oluşumunu Azaltıcı Besinler

Amerika Birleşik Devletleri'nde yalnızca bitkisel besinler yiyen, az yağ tüketen topluluklarda, her türlü kanserin çok seyrek görüldüğü belirtilmiştir. Bütün taze sebze ve meyveler, kepeği ve özü ayrılmamış tahıl ürünleri, kuru baklagiller genellikle kanser riskini azaltıcı besinler grubunda yer almaktadır (Tablo 2.1.). Hayvansal kaynaklı besinlerden kanser riskini azaltıcı olanlar, yumurta, az yağlı süt, yoğurt, peynir ve çökelektir (Key vd., 2020).

Tablo 1. Kanser riskini azaltıcı besinler (Table 1. Foods that reduce cancer risk)

Sebzeler	Meyveler	Kuru yemişler	Tahıllar	Kuru baklagiller	Hayvansal ürünler
Soğan (taze, kuru)	Portakal, greyfurt, limon	Leblebi	Tam buğday ekmeği	Mercimek (yeşil, kırmızı)	Yumurta
Sarımsak (taze, kuru)	Kuşburnu, böğürtlen, kızılçık	Kestane	Kepekli ekmeç	Nohut	Yağsız veya az yağlı süt
Lahana (beyaz, kırmızı, kara)	Elma, armut, ayva, erik	Badem	Çavdar ekmeği	Fasulye	Yoğurt
Havuç, ıspanak	Kiraz, vişne, çilek	Fındık	Yulaf ekmeği	Soya fasulyesi	Peynir
Marul, kıvırcık, salatalık	Kavun, karpuz	Fıstık	Bulgur		Çökelek
Asma yaprağı, pazı	Üzüm, incir, nar, dut	Ceviz	Yarma		
Karnabahar, pırasa, şalgam	Muz, hurma, yenidünya				
Turp					
Maydanoz, tere, nane, roka					
Bakla, mantar					
Enginar, patlıcan					
Domates, pancar, bamya					

Bunların dışında kanser oluşumuna engel ve oluşmuş olan kanserin ilerlemesinin durdurulmasında etken olabilen besin öğeleri arasında, serbest radikallerin işlevinin azaltılmasında görev yapan antioksidanlar, antosiyoninler ve fenolik bileşikler

önemli yeri almaktadır. Günlük beslenmemizde bu öğelerin tüketimi için bunları içeren bazı besinlerin bulunması gerekmektedir. Bu besinlerden özellikle kırmızı ve mor renkli pigmente sahip olanların antikanserojen olarak kullanımının uygun olduğu son zamanlarda yapılan çalışmalarla kanıtlanmaktadır (Dyshlovoy ve Honecker, 2020).

2.3. Mor Besinler ve Besin İçerikleri

2.3.1. Patlıcan

Patlıcan, dünya çapında yetişen ve bol miktarda vitamin, fenolik ve antioksidanlar sayesinde önemli besinsel faydalar sağlayabilen bir bitkisel üründür. Patlıcanın ilk yetiştirilme tarihi uzun zamandır tartışılrsa da, en çok kabul edilen hipotezlere göre patlıcanlar ilk olarak 4000 yıldan önce Güneydoğu Asya'da yetiştirildi. Bazı araştırmacılar patlıcan yetiştirmeciliğinin merkezi olarak Hindistan'ı kabul etmektedir. Antosiyaninler patlıcanda doğal olarak bulunan pigmentlerdir. Agronomik ve genetik faktörler, ışığın şiddeti ve türü, sıcaklığı, işlenmesi ve depolanması nedeniyle değişkenlik gösteren 80 ila 850 mg / kg soyma aralığında meyve kabuğu içinde yoğunlaşmıştır (Taher vd., 2017).

Delphinidin glukozitleri (delphinidin antosiyanidin türevleri) patlıcan kabuğunun başlıca antosiyaninlerinden biridir ve koyu mor bir renk vermektedir. İnsanlar antioksidan enzimleri sentezleyebilmektedir, ancak bu enzimlerin seviyeleri, hücrelerdeki metabolik işlemlerin ürettiği ROS (Reaktif Oksijen Türleri) ile başa çıkmak için yeterince yüksek değildir. Bu nedenle, diyet antioksidanlarının kaynağı gereklidir. Antioksidan kapasite ve fenolik asit içeriği patlıcan ile pozitif yönde ilişkilidir. Ayrıca, antioksidan kapasite cilt rengi ve meyve büyüklüğü ile ilişkilidir. Küçük mor meyveler, diğer patlıcan meyve türlerinden (uzun yeşil, büyük mor, orta büyüklükte mor) olduğundan daha yüksek fenolik ve antosiyanin içeriği ve daha yüksek antioksidan kapasitesi göstermiştir. Tarımsal ve besleyici öneminin yanı sıra patlıcanın da bazı tıbbi yararları vardır. Bazı çalışmalarda patlıcan meyvelerinden elde edilen ekstraktların siğiller, yanıklar ve stomatit, artrit ve gastrit gibi birçok enflamatuar hastalık üzerinde mükemmel terapötik etkileri olduğu gösterilmiştir. Patlıcanın yüksek lif içeriği, vücudun atık maddelerden ve zararlı toksinlerden kurtulmasına yardımcı olan ve böylece kolon ve mide kanseri riskini azalttığını kanıtlayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Rodriguez-Jimenez vd., 2018).

2.3.2. Mürdüm Eriği

Erik, gülgiller (Rosaceae) familyasından Prunus cinsine ait olan bir ağaç türünün meyvesidir. Genel olarak erik adı verilen birkaç meyve olmasına rağmen, sadece iki tür erik dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir. Ticari olarak en önemli erik türleri Avrupa eriği (Prunus domestica) ve Japon eriği (P. salicina) 'dır. Avrupa eriği (Prunus domestica) Doğu Avrupa ya da Kafkasya ve Hazar Denizi etrafındaki batı Asya'dan doğmuştur. Avrupa'da 2000 yıldan fazla bir süredir bilinmektedir. Bir diğeri ise Japon eriği (P. salicina) Çin'de doğup Japonya'da yetiştirilmiştir (Yıldız, Bilen ve Karakuş, 2022).

Erikler antosiyaninler bakımından zengindir. Eriğe esas olarak siyanür-3-glukozit ve siyanür-3-rutinosid, çeşitlilik göstererek meyvelere karakteristik rengini verir. Bu meyveler küçük, büyük, yuvarlak veya oval şekilde olup yeşil, sarı, altın, siyah, mor veya kan kırmızı renğinde, çeşitli tat ve aroma özelliklerine sahip olabilirler. Kabuğu, antosiyaninlerdeki meyvelerin en zengin kısmıdır. Her antosiyaninin nispi konsantrasyonu büyük ölçüde kullanılan çeşidine ve et rengine göre değişiklik gösterir.

Cocoplum (Chrysobalanus icaco L.) (CP), dünyadaki tropik bölgelerde bulunan antosiyanin bakımından zengin bir meyvedir. Sao Paulo Üniversitesi Toksikoloji ve Gıda Bölümünün yaptığı bir çalışmada Cocoplum antosiyaninler HT-29 kolon kanseri

hücrelerinde seçici sitotoksiste uygulandı. Kolon kanserinde ve iltihaplı normal kolon hücrelerinde ROS oluşumunu ve iltihabın module ettiği saptanmıştır. Sonuçlar, bu meyvenin bağırsak hücrelerindeki kemopreventif ve anti-enflamatuar etkilerini, enflamasyon belirteçlerindeki azalmanın olduğunu göstermiştir (Yıldız, Bilen ve Karakuş, 2022).

2.3.3. Mor Üzüm

Üzümler asmagiller (Vitaceae) familyasından olup Vitis türleri içerisinde odunsu bir asma tarafından üretilen en eski etli bir meyvedir. Tarihçesi MÖ 5000 yılına kadar dayanır. Asma üzümün ait olduğu Vitaceae ailesi, 60 milyon yıllık fosil asmalarıyla ilgili bilimsel kanıtlarla Paleosen dönemine aittir. Yabani üzüm olarak bilinen bu meyve soluk balmumu rengiyle koyu mordan siyaha doğru kararır. Tüketimi sofralık üzüm, meyve suyu, kuru üzüm ve şarap şeklindedir. Sofralık üzüm ve şarap tüketiminin resveratrol gibi antioksidan polifenoller nedeniyle insanlar için sayısız besin ve sağlık yararları vardır. Üzümler genel olarak iki grupta sınıflandırılabilirler. Bunlar flavonoidler (antosiyaninler, flavanones, flavan-3-ol, flavonlar ve flavonoller) ve flavonoid olmayanlar (hidroksibenzoik ve hidrokinamik asitler ve stilbenler). Üzüm derilerinde kaempferol, kersetin ve izorhamnetin gibi flavonoller en fazla miktarda bulunurken, (+) - kateşinler, (-) - epicatechinler ve (-) - epicatechin-3-O-gallat ve dimerik, trimerik ve tetramerik prosiyanidinler, üzüm tohumlarında baskındır (Toscano vd., 2020).

Mor üzüm, antosiyaninler delphinidin, siyanidin ve petunidin 3-glikozitler dahil olmak üzere çeşitli flavonoidler ve diğer polifenolik bileşikler içerir. Ek olarak, resveratrol, picateannol ve pterostilben gibi biyoaktif fitokimyasallar mevcuttur. Resveratrol, bir trans-3,5,4'-trihidroksi stilben üzümlerde bulunur ve asmalar, kökler, tohumlar ve saplarda bulunur ancak en yüksek konsantrasyonu cilttedir. Resveratrol bir antioksidan, antikanser ajan ve bir fitoöstrojen olarak görev yapar. Üzümün, içerdiği resveratrol maddesinin kansere karşı savaş açtığı, 1985'li yıllarda Japonya'da başlayan çalışmalarla ortaya konmuştur. Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada üzüm çekirdeği ekstraktının (GSE) prostat kanserine etkisi araştırılmıştır. GSE'nin meme, akciğer, cilt ve gastrointestinal kanserlere karşı kanser kemopreventif özelliklerinin olabileceği konusunda bazı raporlar vardır. Çalışma sonunda üzüm çekirdeği ekstraktı ile beslenen farelerin ileri insan prostat karsinomasını DU145 tümör büyümesini inhibe ettiğini göstermektedir. Bir başka çalışmada mor üzüm suyu tüketiminin, 7, 12-dimetilbenz [a] antrasen (DMBA) kaynaklı sıçan meme tümörlerinin baskılanması ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Kolon kanseri kemoprevensiyonu için hayvan modellerinde, üzüm çekirdeği proantosiyanidinleri, sıçan çift organ tümör modelinde kolon kanseri için bir öncü lezyon olan azoksimetan ile indüklenen kolonik anormal kript odaklarını önemli ölçüde inhibe ettiğini kanıtlayan çalışmalar bulunmuştur (Neto vd., 2020).

2.3.4. Böğürtlen

Böğürtlen Rosaceae (gülgiller) familyasının Rubus cinsini oluşturan Mayıs aylarında çiçeklenmeye başlayıp Ağustos aylarına kadar devam eden salkım şeklinde olan bir bitki türünün ortak adıdır. Böğürtlenler, ahududular ve diğer küçük meyveler mükemmel bir doğal antioksidan kaynağıdır; bu, insan diyetindeki popülerliğinin artmasının temel nedenlerinden biridir. Bu meyvelerin çoğu 250 türden oluşan çeşitli Rubus cinsine aittir. Birçok Rubus meyvesi taze veya reçel, reçel, şurup ve şarap gibi işlenmiş ürünler olarak tüketilir. Yapraklar ve kökler çeşitli tıbbi

uygulamalarda kullanılmıştır. Böğürtlen ve ahudududa bulunan antosiyaninler, antioksidan, antienflamatuar ve kemo-koruyucu özellikleri ile ilgili faydalı sağlık etkileri için önemlidir; böğürtlenin yemek borusu, kolon ve oral kanserlere karşı biyolojik aktivitesi gösterilmiştir (Vaillant, 2020).

Siyanidin-3-glukozit ve siyanidin-3- rutinosidin, böğürtlenle ilgili majör ve minör antosiyaninler olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Antosiyaninlere ek olarak, bu meyveler aynı zamanda flavonoller, fenolik asitler, ellagik asit, C ve E vitaminleri, folik asit ve β -sitosterol gibi diğer bir kimyasal koruyucu, fitokimyasalların zengin bir doğal kaynağıdır (Krzepilko, Prazak ve Swicilo, 2021).

2.3.5. Yaban Mersini

Yaban mersini *Vaccinium myrtillus* (fundagiller) Ericaceae familyasına ait ılıman iklimlerde yetişen üzümü bir meyvedir. Yaban mersini, Amerika Birleşik Devletleri'nde en sık tüketilen meyveler arasında yer almaktadır. Genel olarak meyveler, yüksek antioksidan kapasiteleriyle bilinen fenolik bileşikler bakımından zengindir. Epidemiyolojik çalışmalar birçok yaygın kanser için düşük riskli meyveler açısından zengin diyetleri birbirine bağlamıştır. İleri sürülen bir çalışmada, yaban mersini gibi gıdaların, hastalık önleyici ve koruyucu özelliklere sahip, doğal olarak oluşan, besleyici olmayan maddeler olan fitokimyasallar bakımından zengin olduğu şeklindedir. Bu tür bir besleyici bitki yaban mersininde bulunan, bir polifenol olan resveratrol olup, önemli antitümör ve kardiyoprotektif etkiler göstermiştir. Çalışmalar yaban mersinin akciğer kanseri büyümesini inhibe ettiğini göstermiştir. Pterostilbene yaban mersini içinde bulunan doğal olarak oluşan bir resveratroidür ve antikanser özellik gösterir. Bir başka çalışmaya göre, diyetteki fitokimyasalların, çeşitli antikarsinogenik özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, üçlü negatif meme kanseri hücre hatlarında yaban mersini özünün kemopreventif aktivitesi araştırıldı. Yaban mersini, meme kanseri hücrelerinde hücre proliferasyonunu, nontümörjenik hücre çizgisi üzerinde zararlı bir etki olmadan kanseri azalttığı gözlemlenmiştir (Kalt vd., 2020).

2.3.6. Frenk Üzümü

Frenk üzümü çeşitlerinin başlıcası *Ribes nigrum* L. türüne aittir. Bu cins, daha çok kuzey Avrupa, Asya, Kuzey Amerika ve Patagonya'da yerli olan 150'den fazla türü içermektedir. "Frenk üzümü" kelimesi antik Yunan kenti Corinth'den türetilmiştir ve başlangıçta o bölgedeki küçük kurutulmuş üzümleri tanımlamak için kullanılmıştır. Frenk üzümü meyveleri Asya ve Avrupa'da geleneksel tıpta çeşitli hastalıkların tedavisi için kullanılmıştır. Frenk üzümü ekstresi son zamanlarda serbest radikal süpürme aktiviteleri için çalışılan dokuz farklı meyve ekstresi arasında etkili ikinci olarak bulunmuştur. Frenk üzümü suyunda bulunan bileşenlerin, immünomodülatör, antimikrobiyal ve antiinflamatuar etki, düşük yoğunluklu lipoprotein inhibisyonu ve kardiyovasküler hastalıkların azaltılması dahil olmak üzere, sağlığı teşvik edici bir etkisi olduğu bulunmuştur. Frenk üzümü suyunun antioksidan ve antienflamatuar etkileri oksidatif stres ve iltihap kaynaklı kanserlerin önlenmesinde ve tedavisinde önemli bir yere sahip olduğu belirtilmiştir. Fareler üzerinde yapılan bir araştırmanın sonucuna göre frenk üzümü suyunun, çeşitli kanser hücrelerinin hücre çoğalması üzerinde en iyi ikinci inhibe edici etkiyi gösterdiğini göstermiştir. Frenk üzümü suyundan izole edilen polisakarit bakımından zengin bir maddenin, yani kasis polisakaritinin (CAPS), Ehrlich asc tümör hücrelerine karşı sitotoksitesite gösterdiği gösterilmiştir. Frenk üzümü suyunun veya

CAPS'nin Ehrlich karsinomu taşıyan farelere oral olarak verilmesi, katı tümörün büyümesini önemli ölçüde ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir (Jurcaga vd., 2021).

2.3.7. Mor Soğan

Soğan *Allium Ceba* L., türüne Alliaceae familyasına ait dünya çapında tüketilen bir bitkidir. Muazzam tedavi edici özelliklere sahip en eski kültür bitkisidir. Bunlar başlıca majör flavonoller quercetin-3,4'-O-diglucoside (QDG) ve quercetin-4'-O-monoglucoside'dan (QMG) oluşan zengin bir flavonoid kaynağıdır. Halk hekimliğinde soğan, yüzyıllarca farklı bulaşıcı hastalıklara karşı kullanılmıştır. Halen, gıda ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini sağlamak için kullanımı gıda endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalar, *Allium* tüketimini değerlendirme yetenekleriyle sınırlı olmakla birlikte, bazı *Allium* sebze tüketiminin, özellikle gastrointestinal sistem kanserleri olan kanser riskinin azalmasıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Mor soğanların potansiyel antikarsinogenik etkisi aynı zamanda yüksek organosülfür bileşikleri içeriği veya temelde geniş flavonoid içeriğinden dolayı yüksek antioksidan aktivitesine sahiptir. Yapılan araştırma makalesinde kolorektal, larenks ve yumurtalık kanserlerine karşı orta derecede soğan tüketimi sıklığının koruyucu bir rolü olduğunu görülmüştür. Entegre bir İtalyan ve İsviçre vaka kontrol çalışmaları açısından elde edilen verileri kullanarak, çeşitli bölgelerde mor soğan kullanım sıklığı ile kanser arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Elde edilen benzersiz veri büyüklüğü, mor soğan kullanım sıklığı ile birkaç yaygın kanser riski arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir. *Allium* sebzeleri içinde yer alan mor soğanın Avrupa'da kanser riskinin olumlu bir korelasyonu olduğunu göstermiştir (Ahmed vd., 2020).

2.3.8. Mor Pirinç

Oryza sativa L., Güneydoğu Asya, Çin ve Japonya'da yaygın olarak yetiştirilen bir mor pirinçtir. Mor pirinç siyah pirinç olarak da bilinir. Mor pirinç, dünya nüfusunun yarısından fazlası tarafından tüketilen en önemli tahıl ürünü ve temel besin kaynağıdır. Siyah pirincin kepek gövdesi (en dıştaki tabaka), gıdada bulunan en yüksek antosiyanin seviyelerinden birini içerir. Son zamanlarda, mor pirinç, antosiyaninlerin ve fenolik bileşiklerin sağlığı teşvik edici etkileri nedeniyle popüler hale gelmiştir. Japonya, Kore, Kanada ve Amerika pirinç pigmentlerini Cy-3-glu, siyanidin-3-rhamnosid, siyanidin-3-rutinosid, siyanidin-3,5-diglukosid, pn-3-glu ve malvidin-3-galaktosid olarak bildirilmiştir. Tümör taşıyan fareler üzerinde yapılan bir araştırmaya sonucuna göre yüksek antosiyanin içeren mor pirinçin tümör büyümesini yaklaşık % 35 oranında önemli ölçüde azattığı görülmüştür. Ayrıca, hayvan deney modelleriyle yapılan birkaç çalışma, siyah-mor pirinç ekstresi ilavesinin, karaciğerdeki yağ asidi metabolizmasına bağlı genlerin serum lipid profillerini ve mRNA ekspresyon seviyelerini arttırdığını, siyah-mor pirinç alımının hepatik steatoz ve buna bağlı rahatsızlık risklerini azaltabileceğini göstermiştir (Yamuangmorn ve Thai, 2021).

2.3.9. Lavanta

Lavanta koku veren 39 ot türünün bir çeşididir. Bilimsel adı Lamiaceae olarak bilinir. Bu *Lavandula* cinsi, 19 flavon ve 8 antosiyanin içeren fenolik bileşenlerde oldukça zengindir. Çiçeğinin ve yapraklarının çıkarılması bitkisel ilaç olarak kullanılmıştır. Çıplak fare üzerinde yapılan bir çalışmada 5 fareye 5 farklı dozda deri altından lavanta esansiyel yağı, linalool veya linalil asetat enjeksiyonu yapıldı. Hayvanlar, herhangi bir toksisite belirtisi için 7 gün boyunca izlendi. Otopsi için kalp,

karaciğer, dalak, böbrek ve bağırsak gibi ana organlar toplandı. Doku ve organ hasarı, kanama veya nekroz hematoksilen ve eozin boyaması ile değerlendirildi. Sonuç olarak, lavanta esansiyel yağının çıplak farelerde insan prostat kanseri ksenograflarının tümör büyümesini önlemede etkili olduğunu gösterdi. Verilere

3. Sonuç

Antosiyeninler meyvelerin, sebzelerin, tahılların, çiçeklerin ve bitkilerin kırmızı, mavi ve mor renklerinin çoğundan sorumludur. Antosiyeninler, renkli meyve ve sebzelerin çoğunda bulunan polifenolik bileşiklerdir. Aynı zamanda tahılların sağlığa faydalarının yanı sıra renklerden sorumlu ana pigment türü antosiyeninlerdir. Son birkaç yılda antosiyenin ve antioksidan içeren meyve ve sebzelerin, çeşitli kronik hastalıklara karşı kemopreventif ve koruyucu ajanlar olarak kullanılmasına olan ilgi artmıştır. Antosiyenin anti-kanserojen ilişkisi çeşitli çalışmalarla kanıtlanmıştır. Antosiyeninlere doğal renklendiriciler ve katma değerli bileşenler olarak tüketim, renk özellikleri ve potansiyel sağlık yararları nedeniyle artmıştır. Bu nedenle bu konuda yapılan tüm epidemiyolojik çalışmalar meyve ve sebzelerin kanser de dahil olmak üzere kronik hastalıklara karşı koruyucu etkisi olduğunu göstermektedir. Bu derlemenin sonucu olarak çağımızın önemli hastalıklarının ve ölüm nedenlerinin başında gelen kanserden korunmak ve sağaltımın sağlanması için mor besinlerin günlük beslenmede yer alması gereken temel besin maddeleri arasında bulunmasının önemi ve sağlık profesyonellerince bu konunun ne kadar değerli olduğunun kavranarak halka besin planlamada bu besinlere yer vermeleri konusunda destek olmaları gerektiği söylenebilir. Yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde antosiyenin bakımından zengin olan gıdalar ile antosiyenin pigmentlerinin kolon kanseri hücreleri proliferasyonunu inhibe etmesi sonucunda kolon kanseri riskini azalttığı belirlenmiştir. Bu nedenle antosiyenin açısından zengin olan mor havuç, mor mısır, kırmızı turp, kırmızı lahana ve diğerleri de dahil olmak üzere birçok meyve ve sebzenin tercih edilmesi gerekmektedir.

Kaynakça

- Afacan, F. Ö., Sönmezdağ, A. S. (2020). Antosiyeninlerin Beslenmedeki Önemi ve Sağlık Üzerine Etkisi, *Karya Journal of Health Science*, 1(1): 19-24.
- Alphan, M. E (2017). 'Hastalıklarda Beslenme Tedavisi', Editör: M. E Tüfekçi Alphan. Ankara: Hatiboğlu Yayınevi.
- Ahmed, M. U., Ibrahim, A., Dahiru, N. J., & Mohammed, H. U. S. (2020). Alpha amylase inhibitory potential and mode of inhibition of oils from *Allium sativum* (Garlic) and *Allium cepa* (Onion). *Clinical Medicine Insights: Endocrinology and Diabetes*, 13, 1179551420963106.
- Çağlar, M. Y., Demirci, M. (2018). Üzümsü Meyvelerde Bulunan Fenolik Bileşikler ve Beslenmedeki Önemi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11): 18-26.
- Dyshlovoy, S. A., Honecker, F. (2020). Marine Compounds and Cancer: Updates 2020, *Mar Drugs*, Dec, 18(12): 643.
- Gezici, S. (2018). Promising anticancer activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) essential oil through induction of both apoptosis and necrosis, *annals of Phytomedicine*, 7(2): 32-45.

göre lavanta esansiyel yağı ve linaloolun prostat kanseri tedavisi için yeni bir terapötik ajan olarak geliştirilme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Gezici, 2018).

- Herr M, Arvieu J. J., Aegerter P, Robine J. M, Ankri J. (2014). Unmet Health Care needs of older people: prevalence and predictors in a French cross-sectional survey. *Eur J Public Health*. 24(5):808-13.
- Jurcaga, L., Bobko, M., Kolesara, A., Bobkova, A., Demianova, A., Hascik, P. (2021). Blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) and Kamchatka Honeysuckle (*Lonicera caerulea* var. *Kamtschatica*) Extract Effects on of Raw-Cooked Meat Product (Frankfurters) Technological Properties, Sensory Quality, and Lipid Oxidation, *Foods*, 10.
- Kahraman, Ç. (2018). Üniversite Öğrencilerinde Beslenme Alışkanlıkları ve Obezite Riski: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Örneği, Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Kriokan, R., Stull, A. J., Tremblay, F., Ros, R. Z. (2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins, *Adv. Nutr*, 11(2): 224-236.
- Karataş, E., Uçar, A. (2018). Karayemişin Sağlık Üzerine Etkisi, *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 27: 70-75.
- Key, T. J., Bradbury, K. E., Perez-Cornago, A., Sinha, R., Tsilidis, K. K. (2020). Diet, nutrition and cancer risk: what do we know and what is the way forward? *BMJ*, 368: 511.
- Krzepilko, A., Prazak, R., Swiecilo, A. (2021). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds, *Molecules*, 26(2): 327.
- Neto, M. M., Toscano, L. Tavares, R., Toscano, L. T. (2020). Whole purple grape juice increases nitric oxide production after training session in high level beach handball athletes, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(4): 1-12.
- Rodriguez-Jimenez, J. R., Amaya-Guerra, C. A., Baez-Gonzalez, J. G., Aguilera-Gonzalez, C., Urias-Orona, V., Nino-Medina, G. (2018). Physicochemical, Functional, and Nutraceutical Properties of Eggplant Flours Obtained by Different Drying Methods, *Molecules*, 23(12): 3210.
- Savucu, Y. (2020). Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları, Spor ve Rekreasyon Araştırmaları Dergisi, 2(1): 34-43.
- Siegel, R. L., Kimberly D. Miller, and Ahmedin Jemal (2017). "Cancer statistics, 2017." *CA: a cancer journal for clinicians* 67.1: 7-30.
- Taher, D., Solberg, S., Prohns, J., Chou, Y. Y., Rakha, M, Wu, T. (2020). World vegetable center eggplant collection: origin, composition, seed dissemination and utilization in breeding, *Front Plant Sci*, 8: 1484.
- Toscano, L, Silva, A. S., De Franca, A. L., De Sousa, B. R. V., Almeida Filho, E. J., Costa, M. S., Marques, A. T. B., Da Silva, D. F., Sena, K. F., Cerqueira, G. S., Gonçalves, M. C. R. (2020). A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study, *Eur J Nutr*. 59(7): 2997-3007.

- Temizsoy, M. (2021). Kanser Hastalarında Kırılganlığın Umutsuzluğa ve Yaşam Doyumuna Etkisi, İstanbul Medipol Hastanesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Vaillant, F. (2020). Blackberries, Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables, 407-422.
- WHO (2020). Cancer (Internet). Erişim Tarihi: 07.05.2022. <https://www.who.int/cancer/en>.
- Yamuangmorn, S., Thai, C. P. (2021). The Potential of High-Anthocyanin Purple Rice as a Functional Ingredient in Human Health, *Antioxidants*, 10(6): 833.
- Yıldız, S., Bilen, Ç., Karakuş, E. (2022). Purification of damson plum polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of metal effects on enzyme activity, *Preparative Biochemistry & Biotechnology*



On Fermat Point in CC-Plane

Ziya Akça^{1*}, Barış Tözen²

^{1*} Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6379-0546),
zakca@ogu.edu.tr

² Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4522-2171),
btozen@hotmail.com

(First received 26 October 2022 and in final form 30 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1195040)

ATIF/REFERENCE: Akça, Z. & Tözen, B. (2022). On Fermat Point in CC-Plane. *European Journal of Science and Technology*, (41), 492-498.

Abstract

In this paper, the properties related to Fermat point of a triangle in the planes equipped with Taxicab and Chinese checkers metrics are examined and examples are presented.

Keywords: Taxicab plane, Chinese Checkers plane, Fermat point

Çin Dama Düzleminde Fermat Noktası

Öz

Bu makalede, Taksi ve Çin daması metrikleri ile donatılmış düzlemlerde bir üçgenin Fermat noktası ile ilgili özellikler incelenmiş ve örnekler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taksi Düzlem Geometri, Çin Dama Düzlemi. Fermat Noktası

* Corresponding Author: zakca@ogu.edu.tr

1. Giriş

Fransız matematikçi Pierre de Fermat'ın "Bir üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı en az olan nokta neresidir?" sorusunu İtalyan fizik ve matematik bilgini Evangelista Torricelli'ye sormuştur. İkili, yaptığı çalışmalar sonucu bir üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamının en az üçgenin çevre uzunluğunun yarısı ve en fazla da çevre uzunluğu kadar olduğunu bulmuşlardır. Fermat(Torricelli) noktası Simpson 1750 tarafından da araştırılmıştır.

Taksi ve Çin Dama gibi Öklidyen olmayan metriklerin bulunması ve geliştirilmesiyle beraber Fermat noktası ile ilgili çalışmalar bu yönde ilerlemiş ve Taksi metrikle donatılmış düzlemlerde Fermat noktası araştırılmıştır. H. Minkowski 1967 Öklidyen ve taksi metriği gibi metrikleri de içine alan bir metrik ailesi tanımlamıştır. Menger 1952 Taksi düzlemi tanımlamıştır ve E.F. Krause 1965 Öklidyen metriktaki kavramların Taksi metriğindeki karşılıklarını araştırdığı bir kitap yayınlamıştır. Sonraki yıllarda Taksi düzlem ve Taksi uzay ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları (Akça ve Kaya, 1997, Akça ve Kaya, 2004, Kaya vd. 2000, Özcan vd., 2002) olarak verilebilir.

Taksi metriği ile verilen düzlemdeki üçgenin Fermat noktasının, üçgenin köşelerinden çizilen yatay ve dikey doğruların üçgenin iç bölgesinde kesiştiği nokta olduğunu Hanson 2014 belirtmiştir.

Taksi ve Çin dama düzlemlerinin nokta ve doğruları Öklidyen analitik düzlemin nokta ve doğruları ile aynıdır. Açılar da aynı şekilde ölçülürken, uzaklık fonksiyonları farklıdır.

2. Metaryal ve Metod

Tanım 1 Düzlemde verilen $P = (x_1, y_1)$ ve $Q = (x_2, y_2)$ noktaları arasındaki Öklidyen uzaklık

$$d_E(P, Q) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

ile tanımlanır.

Tanım 2 Düzlemde verilen $P = (x_1, y_1)$ ve $Q = (x_2, y_2)$ noktaları arasında

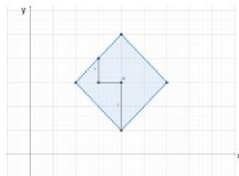
$$d_T(P, Q) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

ile Menger ve Krause tarafından kullanılan d_T fonksiyonuna P ve Q noktaları arasındaki Taksi uzaklık fonksiyonu denir.

Tanım 3 Düzlemde merkezi $M = (a, b)$ ve yarıçapı r olan taksi çemberi

$$C = \{(x, y) : |x - a| + |y - b| = r; x, y \in \mathbb{R}\}$$

şeklinde tanımlıdır.



Şekil 1 Taksi Çemberi

Tanım 4 Taksi düzlemde $\ell: ax + by + c = 0$ doğrusu verilsin. ℓ doğrusuna,

- I) $\left| -\frac{a}{b} \right| > 1$ ise dikeysel doğru,
- II) $\left| -\frac{a}{b} \right| < 1$ ise yataysal doğru,
- III) $\left| -\frac{a}{b} \right| = 1$ ise ayıraç doğru,

denir.

Tanım 5 Taksi düzlemde bir $P(x_1, y_1)$ noktasının denklemi $ax + by + c = 0$ olan ℓ doğrusuna uzaklığı, P 'nin ℓ doğrusu üzerindeki noktalara uzaklıklarından en küçüğü olarak tanımlanır ve bu uzaklık

$$d_T(P, \ell) = \frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\max\{|a|, |b|\}}$$

formülü ile hesaplanır.

Tanım 6 Taksi düzlemde herhangi verilen A ve B noktaları için $d_T(A, X) + d_T(X, B) = d_T(A, B)$

Özelliğindeki tüm X noktalarının kümesine A ve B noktalarının en kısa uzaklık kümesi denir.

Krause 1965 "Çin Dama oyunundaki hareketlerden yola çıkarak bir metrik geliştirilebilir mi?" sorusunu sormuştur.

Çin Dama geometrisi CC-geometri olarak kısaltılır ve Öklidyen olmayan bir düzlem modelidir. Sonraki yıllarda pek çok matematikçi Çin Dama geometri üzerine çalışmıştır. (Turan 2004, Akça, Bayar ve Ekmekçi 2007) bu çalışmalardan bazılarıdır.

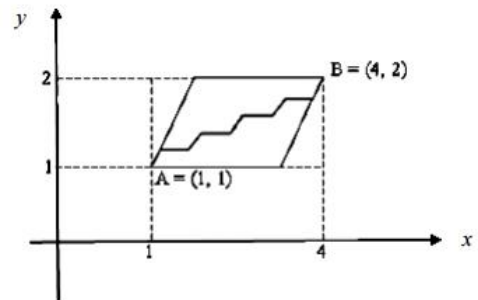
Tanım 7 Analitik düzlemde verilen $P=(x_1, y_1)$ ve $Q=(x_2, y_2)$ noktaları arasında

$$d_C(P, Q) = d_T(P, Q) + (\sqrt{2} - 1)d_S(P, Q)$$

$$d_T(P, Q) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$$

$$d_S(P, Q) = \min\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$$

olarak tanımlanan d_C fonksiyonuna P ve Q noktaları arasındaki Çin Dama uzaklık fonksiyonu adı verilir. Şekil 2 de iki nokta arasındaki Çin Dama uzaklığı gösterildi.



Şekil 2 CC-uzaklığı

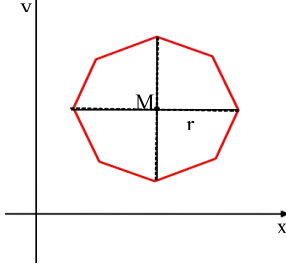
Tanım 8 Çin Dama düzleminde sabit bir noktadan sabit bir CC-uzaklıktaki noktaların geometrik yerine Çin Dama (CC) çemberi

denir. Sabit noktaya CC-çemberin merkezi, sabit CC-uzaklığa da çemberin yarıçapı adı verilir.

Analistik düzlemde $M = (m_1, m_2)$ noktasına, r birim CC-uzaklığında bulunan bütün noktalar

$$C = \{X = (x, y) : d_c(M, X) = r\}$$

kümesi M merkezli, r yarıçaplı CC-çemberidir. Şekil 3 de olduğu gibi Çin Dama çemberi bir sekizgendir.



Şekil 3 Çin Dama Çemberi

Tanım9 Çin Dama düzlemindeki herhangi bir $P = (x_1, y_1)$ noktasının

$ax + by + c = 0$ denklemleri ℓ doğrusuna Çin dama uzaklığı, $d_c(P, \ell) : X \in \ell$ olmak üzere, $d_c(P, X)$ değerinin en küçük olması durumu yani

$$d_c(P, \ell) = \min_{x \in \ell} d_c(x, P)$$

olarak tanımlanır.

Tanım 10 Çin Dama düzleminde $\ell \dots ax + by + c = 0$ doğrusu verilsin. ℓ doğrusu ve $q = \sqrt{2} - 1$

- I) $\left| -\frac{a}{b} \right| < 1$ olan doğru, yataysal doğru,
- II) $\left| -\frac{a}{b} \right| > 1$ olan doğru, dikeysel doğru,
- III) $\left| -\frac{a}{b} \right| = 1$ olan doğru, ayıraç doğru,
- IV) $\left| -\frac{a}{b} \right| = q$ olan doğru, q - doğru
- V) $\left| -\frac{a}{b} \right| = q + 2$ olan doğru ($q + 2$) - doğru

olarak adlandırılır.

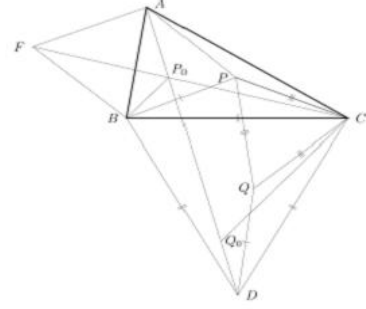
3. Fermat Noktası

Fransız matematikçi Pierre de Fermat 1640 lı yıllarda “Bir ABC üçgeninin köşe noktalarına olan uzaklıkları toplamı en az olan nokta neresidir?” sorusunu sordu. Daha sonra bu sorunun cevabı 1750 li yıllarda araştırıldı. Bununla birlikte daha sonraki yıllarda bu soruya basit bir çözüm getirmişlerdir.

Hanson 2014, “Büyük bir kentte yolların kuzey-güney, doğu-batı yönünde neredeyse dikdörtgen benzeri bir ağ şeklinde düzenlendiğini varsayalım. Konumları itibariyle her biri bir üçgenin köşesine karşılık gelen üç ayrı merkeze mal taşımak üzere bir depo inşa etmek istesek, depodan merkezlere toplam

uzaklığın minimum olduğu nokta neresi olmalıdır?” sorusunun cevabını bulmak için Taksi düzlemde Fermat noktasını araştırmıştır. Hanson 2016, bir üçgenin Fermat noktasını bulmak için bir noktayı yatay ve dikey doğrultuda ötelemiş ve üçgenin köşe noktalarına uzaklıkları toplamını hesaplamıştır. Fermat noktasını (P noktası) üçgenin köşeleri ile birleştirildiğinde, Fermat noktasında oluşan tam açığı üç eş parçaya böldüğü görüldü.

$$m(\widehat{APB}) = m(\widehat{APC}) = m(\widehat{CPB}) = 120^\circ$$

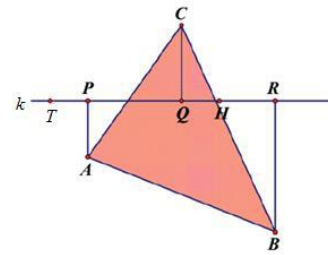


Şekil 4 Fermat Noktası

4. Taksi Düzlemde Fermat Noktası

Teorem 1 Taksi düzlemindeki bir üçgenin Fermat noktası, o üçgenin köşe noktalarından geçen yatay ve dikey doğruların üçgenin iç bölgesinde kesiştiği noktadır. Hanson 2014.

İspat Taksi düzlemde bir ABC üçgeni verilsin. Bu üçgeni kesen şekil 5 deki gibi yatay (k) ve şekil 6 deki gibi dikey (m) doğruları alınarak bu doğrular üzerinde Fermat noktasını bulmak için, köşelere uzaklıkları toplamı minimum olan nokta belirlenmelidir.



Şekil 5 Taksi Üçgende Fermat Noktası

k doğrusu üzerindeki T noktası için;

$$\begin{aligned} s &= |AT| + |BT| + |CT| = (|TP| + |PA|) + (|TP| + |PQ| + |QR| + |RB|) \\ &+ (|TP| + |PQ| + |QC|) \\ &= |TP| + |PA| + 2|TP| + 2|PQ| + |QR| + |RB| + |QC| \end{aligned}$$

Bu doğru üzerindeki P noktası için;

$$\begin{aligned} s &= |AP| + |BP| + |CP| = |AP| + (|PQ| + |QR| + |RB|) + (|PQ| + |QC|) \\ &= |AP| + 2|PQ| + |QR| + |RB| + |QC| \end{aligned}$$

T noktasından P noktasına kadar üçgenin köşelere olan s uzaklığının $3|TP|$ kadar kısaldığı görülür.

Bu doğru üzerindeki Q noktası için;

$$s = |AQ| + |BQ| + |CQ| = (|AP| + |PQ|) + (|QR| + |RB|) + |CQ|$$

Bu durumda Q noktası için s uzaklığı P noktasına göre $|PQ|$ kadar azalır.

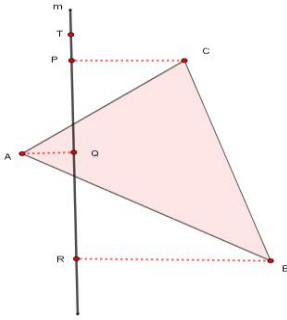
Bu doğru üzerindeki R noktası için;

$$s = |AR| + |BR| + |CR| = (|RQ| + |QP| + |AP|) + |BR| + (|RQ| + |QC|)$$

$= 2|RQ| + |QP| + |AP| + |BR| + |QC|$ olduğundan R noktası için s uzaklığı Q noktasına göre $|QR|$ kadar artar.

T noktasından Q noktasına kadar s uzaklığı azalır ve Q noktasından R noktasına kadar s uzaklığı artar. O zaman, k doğrusu üzerinde üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı en az olan nokta Q noktası olarak bulunur.

Benzer şekilde dikey m doğrusu üzerinde köşelere uzaklıkları minimum olan noktayı bulmak için aşağıdaki durumlar incelenir:



Şekil 6 Taksi Üçgeninde Fermat Noktası

Bu doğru üzerindeki T noktası için;

$$s = |AT| + |BT| + |CT| = (|TP| + |PQ| + |QA|) + (|TP| + |PQ| + |QR| + |RB|) + (|TP| + |PC|)$$

$$= 3|TP| + 2|PQ| + |QA| + |QR| + |RB| + |PC|$$

Bu doğru üzerindeki P noktası için;

$$s = |AP| + |BP| + |CP| = (|PQ| + |QA|) + (|PQ| + |QR| + |RB|) + |CP|$$

$$= 2|PQ| + |QA| + |QR| + |RB| + |CP|$$

Bu durumda P noktası için T noktasına göre s uzaklığı $3|TP|$ kadar azalır.

Bu doğru üzerindeki Q noktası için;

$$s = |AQ| + |BQ| + |CQ| = |AQ| + (|QR| + |RB|) + (|QP| + |PC|)$$

$$= |AQ| + |QR| + |RB| + |QP| + |PC|$$

Bu durumda Q noktası için P noktasına göre s uzaklığı $2|PQ|$ kadar azalır.

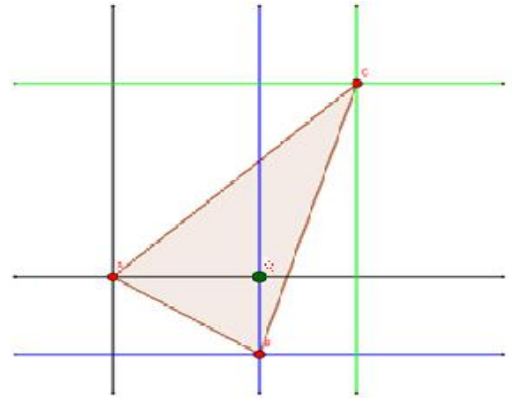
Bu doğru üzerindeki R noktası için;

$$s = |AR| + |BR| + |CR| = (|AQ| + |QR|) + |BR| + (|CP| + |PQ| + |QR|)$$

$= |AQ| + 2|QR| + |BR| + |CP| + |PQ|$ olduğundan R noktası için Q noktasına göre s uzaklığı $|QR|$ kadar artar.

T noktasından Q noktasına kadar s uzaklığı azalır, Q noktasından R noktasına kadar s uzaklığı arttığından k doğrusu üzerinde üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı en az olan nokta Q noktası olarak bulunur.

A 'dan geçen yatay k doğrusunun C 'den geçen dikey m doğrusu ile kesiştiği Q noktası ABC üçgeninin Fermat noktası olarak bulunur.

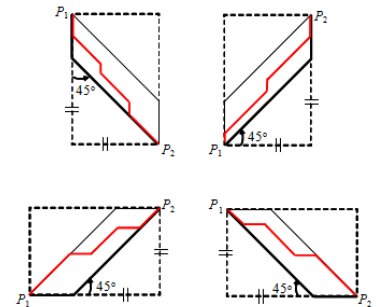


Şekil 7 Taksi Üçgeninde Fermat Noktası

Şekil 7 de olduğu gibi ABC Taksi üçgeninde Fermat noktası P noktası olarak bulunur.

5. Çin Dama Düzlemde Fermat Noktası

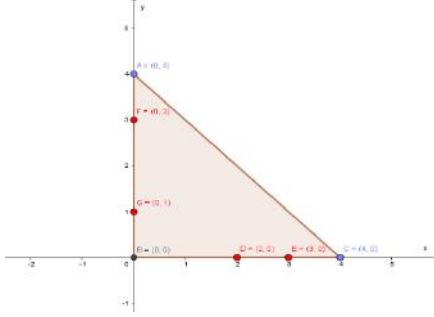
Geometrik olarak, P_1 ile P_2 noktaları arasındaki en kısa yol Şekil 8 de görüldüğü gibi biri koordinat eksenlerinden birine paralel diğeri 1 veya -1 eğimli iki doğru parçasının birleşimidir. Böylece P_1 ile P_2 arasındaki en kısa uzaklık ifade edilen şekildeki iki doğru parçasının Öklidyen uzunlukları toplamıdır. P_1 den P_2 ye olan yolların birleşimi, yani P_1 ile P_2 noktalarının minimum uzaklık kümesi Şekil 8 de görüldüğü gibi bir kenar çifti koordinat eksenlerinden birine paralel, diğer kenar çifti ise diğer koordinat eksenine ile 45° lik açı yapan paralelkenardır.



Şekil 8 Çin Dama yolları

Bu bölümde örneklerle bir üçgenin Çin daması metriğine göre Fermat noktası incelenmektedir.

Örnek 1. Çin Dama düzlemde köşe noktaları A(0,4), B(0,0) ve C(4,0) olan ABC üçgeni verilsin.



Şekil 9 Çin Dama Üçgeninde Fermat Noktası

ABC üçgeninin Çin dama metriğine göre Fermat noktasını bulmak için üçgen içinde Çin dama yollarının köşelere Çin dama uzaklıkları toplamı en az olan nokta belirlenmelidir.

Seçilen D(2,0) noktası için;

$$|AD| = 4 + 2(\sqrt{2} - 1) = 2 + 2\sqrt{2}$$

$$|BD| = 2 + 0(\sqrt{2} - 1) = 2$$

$$|CD| = 2 + 0(\sqrt{2} - 1) = 2$$

$$s = |AD| + |BD| + |CD| = 6 + 2\sqrt{2},$$

E(3,0) noktası için;

$$|AE| = 4 + 3(\sqrt{2} - 1) = 1 + 3\sqrt{2}$$

$$|BE| = 3 + 0(\sqrt{2} - 1) = 3$$

$$|CE| = 1 + 0(\sqrt{2} - 1) = 1$$

$$s = |AE| + |BE| + |CE| = 5 + 3\sqrt{2},$$

B(0,0) noktası için;

$$|AB| = 4 + 0(\sqrt{2} - 1) = 4$$

$$|BB| = 0$$

$$|CB| = 4 + 0(\sqrt{2} - 1) = 4$$

$$s = |AB| + |BB| + |CB| = 8,$$

Seçtiğimiz B, D, E noktalarının üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı bulunur.

$6 + 2\sqrt{2} - (5 + 3\sqrt{2}) < 0$ olduğundan D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

$8 - (6 + 2\sqrt{2}) < 0$ olduğundan B noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre B noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı D ve E noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır.
e-ISSN: 2148-2683

Dolayısıyla ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasının apsisi 0 dır.

Seçilen F(0,3) noktası için;

$$|AF| = 1 + 0(\sqrt{2} - 1) = 1$$

$$|BF| = 3 + 0(\sqrt{2} - 1) = 3$$

$$|CF| = 4 + 3(\sqrt{2} - 1) = 1 + 3\sqrt{2}$$

$$s = |AF| + |BF| + |CF| = 5 + 3\sqrt{2},$$

G(0,1) noktası için;

$$|AG| = 3 + 0(\sqrt{2} - 1) = 3$$

$$|BG| = 1 + 0(\sqrt{2} - 1) = 1$$

$$|CG| = 4 + 1(\sqrt{2} - 1) = 3 + \sqrt{2}$$

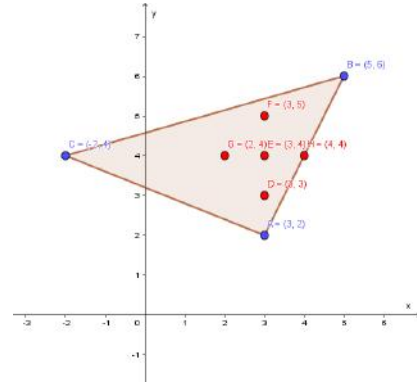
$$s = |AG| + |BG| + |CG| = 7 + \sqrt{2},$$

$7 + \sqrt{2} - (5 + 3\sqrt{2}) < 0$ olduğundan G noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, F noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

$8 - 7 + \sqrt{2} < 0$ olduğundan B noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, G noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre B noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı F ve G noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır. ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasının ordinatı 0 dır. Fermat noktası B(0,0) olarak bulunur.

Örnek 2 Çin Dama düzlemde köşe noktaları A(3,2), B(5,6) ve C(-2,4) olan ABC üçgeni verilsin.



Şekil 10 Çin Dama Üçgeninde Fermat Noktası

ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasını bulmak için seçtiğimiz nokta köşelere olan Çin dama uzaklıkları toplamı en az olan nokta bulunur.

Seçilen D(3,3) noktası için;

$$|AD| = 1$$

$$|BD| = 3 + 2(\sqrt{2} - 1) = 1 + 2\sqrt{2}$$

$$|CD| = 4 + \sqrt{2}$$

$$s = |AD| + |BD| + |CD| = 6 + 3\sqrt{2},$$

E(3,4) noktası için;

$$|AE| = 2$$

$$|BE| = 2 + 2(\sqrt{2} - 1) = 2\sqrt{2}$$

$$|CE| = 5$$

$$s = |AE| + |BE| + |CE| = 7 + 2\sqrt{2},$$

F(3,5) noktası için;

$$|AF| = 3$$

$$|BF| = 2 + \sqrt{2} - 1 = 1 + \sqrt{2}$$

$$|CF| = 5 + \sqrt{2} - 1 = 4 + \sqrt{2}$$

$$s = |AF| + |BF| + |CF| = 8 + 2\sqrt{2},$$

Seçtiğimiz D, E, F noktalarının üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı bulunur.

$7 + 2\sqrt{2} - (6 + 3\sqrt{2}) < 0$ olduğundan E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

$7 + 2\sqrt{2} - (8 + 2\sqrt{2}) < 0$ olduğundan E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı F noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı D ve F noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır. Dolayısıyla ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasının apsisi 3 tür

G(2,4) noktası için;

$$|AG| = 2 + \sqrt{2} - 1 = 1 + \sqrt{2}$$

$$|BG| = 3 + 2(\sqrt{2} - 1) = 1 + 2\sqrt{2}$$

$$|CG| = 4$$

$$s = |AG| + |BG| + |CG| = 6 + 3\sqrt{2},$$

H(4,4) noktası için;

$$|AH| = 2 + \sqrt{2} - 1 = 1 + \sqrt{2}$$

$$|BH| = 2 + \sqrt{2} - 1 = 1 + \sqrt{2}$$

$$|CH| = 6$$

$$s = |AH| + |BH| + |CH| = 8 + 2\sqrt{2},$$

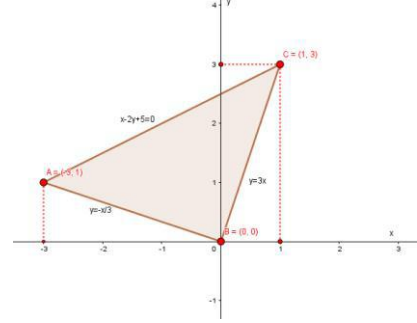
$7 + 2\sqrt{2} - (6 + 3\sqrt{2}) < 0$ olduğundan E noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, G noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

$7 + 2\sqrt{2} - 8 + 2\sqrt{2} < 0$ olduğundan E noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, H noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı G ve H noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır. Dolayısıyla ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasının ordinatı 4 olarak bulunur.

ABC üçgeninin çin daması metriğine göre Fermat noktası E(3,4) noktasıdır.

Örnek 3 Çin Dama düzlemde köşe noktaları A(-3,1), B(0,0) ve C(1,3) olan ABC üçgeni verilsin.



Şekil 11 Çin Dama Üçgeninde Fermat Noktası

ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasını bulmak için seçtiğimiz nokta köşelere olan Çin dama uzaklıkları toplamı en az olan nokta bulunur.

Seçilen B(0,0) noktası için;

$$|AB| = 3 + \sqrt{2} - 1 = 2 + \sqrt{2}$$

$$|BB| = 0$$

$$|CB| = 3 + \sqrt{2} - 1 = 2 + \sqrt{2}$$

$$s = |AB| + |BB| + |CB| = 4 + 2\sqrt{2},$$

D(0,1) noktası için;

$$|AD| = 3$$

$$|BD| = 1$$

$$|CD| = 2 + \sqrt{2} - 1 = 1 + \sqrt{2}$$

$$s = |AD| + |BD| + |CD| = 5 + \sqrt{2},$$

E(0,2) noktası için;

$$|AE| = 3 + \sqrt{2} - 1 = 2 + \sqrt{2}$$

$$|BE| = 2$$

$$|CE| = 1 + \sqrt{2} - 1 = \sqrt{2}$$

$$s = |AE| + |BE| + |CE| = 4 + \sqrt{2},$$

Seçtiğimiz B, D, E noktalarının üçgenin köşelerine uzaklıkları toplamı bulunur.

$5 + \sqrt{2} - (4 + 2\sqrt{2}) < 0$ olduğundan D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı B noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

$5 + \sqrt{2} - (4 + \sqrt{2}) < 0$ olduğundan D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı E noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı B ve E noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır.

Dolayısıyla ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktasının ordinatı 1 dir.

F(-1,1) noktası için;

$$|AF| = 2$$

$$|BF| = 1 + \sqrt{2} - 1 = \sqrt{2}$$

$$|CF| = 2 + 2(\sqrt{2} - 1) = 2\sqrt{2}$$

$$s = |AF| + |BF| + |CF| = 2 + 3\sqrt{2},$$

G(1,1) noktası için;

$$|AG| = 4$$

$$|BG| = 1 + \sqrt{2} - 1 = \sqrt{2}$$

$$|CG| = 2$$

$$s = |AG| + |BG| + |CG| = 6 + \sqrt{2},$$

$5 + \sqrt{2} - (2 + 3\sqrt{2}) < 0$ olduğundan D noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, F noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

$5 + \sqrt{2} - (6 + \sqrt{2}) < 0$ olduğundan D noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamı, G noktasının köşe noktalarına uzaklıkları toplamından daha azdır.

Buna göre D noktasının köşelere olan uzaklıkları toplamı F ve G noktalarının köşelere olan uzaklıkları toplamından azdır. Dolayısıyla ABC üçgeninin Çin Dama metriğine göre Fermat noktasının apsisi sıfır olarak bulunur.

ABC üçgeninin Çin Daması metriğine göre Fermat noktası D(0,1) noktası olarak elde edilir.

6. Sonuç

Taksi ve Çin Dama düzlemlerinde Fermat noktası incelenmiştir. Başka metrikler ile donatılmış düzlemlerde de bir üçgenin Fermat noktası araştırılabilir.

Taksi metriği kullanılan düzlemdeki bir üçgenin Fermat noktası üçgenin köşelerinden geçen yatay ve dikey doğruların üçgenin içinde veya üzerinde kesiştiği nokta olarak bulunmuştur.

Çin dama metriği kullanılan düzlemdeki bir üçgenin Fermat noktası üçgenin köşelerine Çin dama uzaklıkları toplamı minimum olan nokta bazı özel örneklerde bulunmuştur.

Kaynakça

- Akça Z., Kaya R., (1997), On the Taxicab Trigonometry, Jour. of Inst. of Math & Comp Sci. (Math Ser.), 10, 151 – 159.
- Akça, Z., Bayar, A. and Ekmekçi, S., (2007), The norm in CC-plane geometry. Pi Mu Epsilon J. 12, no. 6, 321-324 .
- Bayar, A., Ekmekçi, S. and Özcan, M., (2009), On Trigonometric Functions and Cosine-Sine Rules in Taxicab Plane, International Electronic Journal of Geometry 2, 1 , 17-24.
- Hanson, J.,R., (2014), Fermat Point for Taxicab Triangle, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 2 – 6.
- Hanson, J., R., (2016), Fermat Point for A Triangle in Three Dimensions Using The Taxicab Metric, 2.
- Kaya, R., Akça, Z., Güanaltılı, İ. and Özcan, M., (2000), General Equation for Taxicab Conics and Their Classification, Mitt. Math. Ges. Hamburg, 19, 135 – 148.

Krause, E.F., (1965), Taxicab Geometry, Addison – Wesley Publishing Company, Menlo Park, CA, p.88.

Menger, K., (1952), You Will Like Geometry, Guildbook of the Illinois Institute of Technology Geometry Exhibit, Museum of Science and Industry, Chicago, III.

Minkowski, H., (1967), Gesammelte Abhandlungen, Chelsea Publishing Co. New York, 836p.

Özcan, M., Ekmekçi, S., and Bayar, A., (2002), The Taxicab Lengths Under Rotations The Pi Mu Epsilon Journal, Vol. 11, No. 7, 381 – 384.

Turan, M., (2004), Çin Dama Düzleminde Konikler Üzerine, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, s.149.



Doğrudan Yabancı Yatırımların, Finansal Akımların ve Ticari Dışa Açıklığın Çevre Kalitesi Üzerindeki Etkisi: E-7 Ülkelerinden Nedensellik Kanıtları

Mustafa Zuhall^{1*}, Burak Seyhan², Mehmet Akyol³

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID:0000-0002-4645-4628), mzuhal@gumushane.edu.tr

² Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1026-1805), burakseyhan@gumushane.edu.tr

³ Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1173-200X), makyol@gumushane.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi: 08 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi: 30 Kasım 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200866)

ATIF/REFERENCE: Zuhall, M., Seyhan, B. & Akyol, M. (2022). Doğrudan Yabancı Yatırımların, Finansal Akımların ve Ticari Dışa Açıklığın Çevre Kalitesi Üzerindeki Etkisi: E-7 Ülkelerinden Nedensellik Kanıtları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 499-507.

Öz

Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümenin ve refah artışının gerçekleştirilmesinde doğrudan yabancı yatırımlar ve finansal akımlar önemli yer tutmaktadır. Ancak söz konusu enstrümanların çevre kalitesi üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada E-7 ülkelerinde 1990-2018 döneminde doğrudan yabancı yatırımların, finansal akımların ve ticari dışa açıklığın çevre kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Dumitrescu ve Hurlin nedensellik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda seriler arasındaki nedensellik ilişkisinin ülkeden ülkeye göre değiştiği tespit edilmiştir. Ancak genel olarak, çevre kalitesi ile ticari dışa açıklık arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Finansal akımlardan çevre kalitesine doğru tek yönlü nedensellik bulunurken, doğrudan yabancı yatırımlar ile çevre kalitesi arasında nedensellik tespit edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Ticari Dışa Açıklık, Finansal Akımlar, Çevre Kalitesi, Ekonomik Büyüme.

Jel Kodları: O44, O47, Q56.

The Impact of Foreign Direct Investments, Financial Flows, and Trade Openness on Environmental Quality: Evidence of Causality from E-7 Countries

Abstract

Foreign direct investments and financial flows are essential in realizing economic growth and welfare increase in developing countries. However, these instruments directly and indirectly, affect environmental quality. This study aims to examine the effects of foreign direct investments, financial flows and trade openness on environmental quality in E-7 countries in the period 1990-2018. For this purpose, Dumitrescu and Hurlin causality analysis was performed. As a result of the causality analysis, the paper determines that the causality relationship between the series varies from country to country. However, in general, there is bidirectional causality between environmental quality and trade openness. While there is a uni-direction causality from financial flows to environmental quality, no causality can be found between foreign direct investments and environmental quality.

Keywords: Foreign Direct Investments, Trade Openness, Financial Flows, Environmental Quality, Economic Growth.

Jel Codes: O44, O47, Q56.

* Sorumlu Yazar: mzuhal@gumushane.edu.tr

1. Giriş

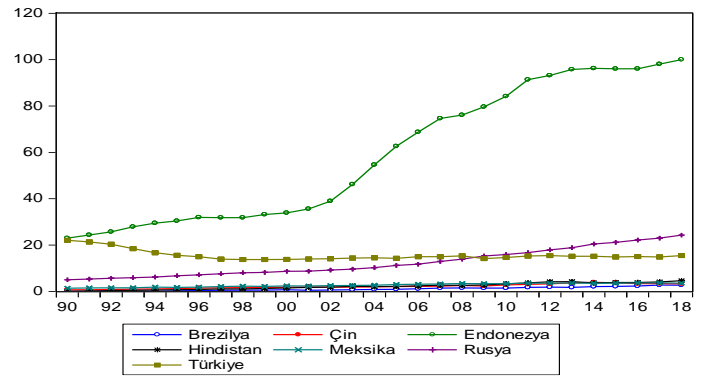
Sanayileşme süreci ile birlikte ortaya çıkan küreselleşme olgusu İkinci Dünya Savaşı sonrasında hız kazanmıştır. Savaş sonrası dönemde savaşın yıkıcı etkilerini giderme ve yeni bir dünya kurma çabası, ülkelerin dış dünya ile çok daha yakın siyasi ve iktisadi ilişkiler geliştirme yaklaşımını benimsemelerine neden olmuş ve bu çaba dışa açılmayı da beraberinde getirmiştir. Geçen süre zarfında söz konusu çabanın iktisadi açıdan olumlu sonuçlar ortaya koyduğu iktisat yazınında da karşılık bulmuştur. Nitekim iktisadi literatür, küreselleşmenin ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan doğrudan yabancı yatırımların ticari serbestleşme ve finansal akımlar ile birlikte ekonomik büyümeye olumlu etkiler yaptığını ve ülkelerin gelişmişlik düzeylerini pozitif yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Toplumsal refahı artırma ve ekonomik gelişmişlik düzeyini iyileştirme çabaları özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli iktisadi hedefler arasında yer almaktadır. Yüksek gelir ve refah düzeyine ulaşma süreci gelişmiş ülkeler seviyesine yakınsama çabalarının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümeyi gerçekleştirme, istihdam düzeyini artırma ve refah toplumu olma arzuları çeşitli iktisadi politikaların uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu politikalarından biri doğrudan yabancı yatırımların teşvik edilmesidir. Doğrudan yabancı yatırımlar teoride ekonomik büyümenin lokomotifini olma özelliğinin yanı sıra işsizliğin azaltılmasında ve üretimde katma değer arttırılmasında temel faktör olan ileri teknoloji üretim sürecine geçilmeye kapı aralayacak teknoloji transferinin gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır (Demena ve Afesorgbor, 2020). Diğer yandan doğrudan yabancı yatırımların ev sahibi ülkede yeni ürün ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi, verimliliğin arttırılması, işgücünün bilgi ve beceri düzeyinin geliştirilmesi, döviz açığının giderilmesi ve pozitif dışsal ekonomiler oluşturulması gibi katkıları da olmaktadır (Zhao ve Zhang, 2010: 656; Shahbaz, 2015). Doğrudan yabancı yatırımların sayılan faydaları dolayısı ile birçok gelişmekte olan ülke çeşitli teşvikler ve politikalarla yabancı yatırımları ülkeye çekme gayreti içerisinde yer almaktadır (Kariş ve Ayla, 2018: 256). Bunun yanı sıra doğrudan yabancı yatırımları cesaretlendiren ticari serbestleşme de ihracat ve ithalat eğilimlerinin gelişmesine imkân sağlamaktadır. Yine ticari dışa açıklık rekabet gücünün geliştirilmesine, teknoloji ve bilginin üretimdeki ağırlığının artmasına fırsat vermektedir (Suna, 2021: 122). Her ne kadar gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyüme hedeflerinin gerçekleştirilmesinde uyguladıkları yukarıda bahsi geçen dışa açık politikaların pozitif etkilerinden bahsedilmekte olsa da söz konusu politikalar, sürdürülebilirliği önemli ölçüde tehdit eden negatif etkiler de ortaya koymaktadır. Bu etkilerden en önemlisi karbondioksit emisyonlarındaki artıştır (Shahbaz, 2015; Afesorgbor ve Demena, 2022; Akin, 2014; Huang vd., 2022).

Çevresel sorunlar arasında önemli bir yer işgal eden karbondioksit emisyonundaki artış son yüzyılda hız kazanmıştır. Öyle ki Dünya Bankası'na göre 1950'li yıllarda karbondioksit emisyonundaki artış eğilimi düşük düzeyde iken yaklaşık yarım yüzyıldan daha uzun bir sürede önemli artışlar göstermiştir (Huang vd., 2022). Bu değerler, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) tahminlerine göre 2021 yılı itibariyle 36,3 milyar ton seviyelerine ulaşmıştır (IEA, 2022). Daha çok fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan karbondioksit emisyonu, iklim değişikliğine yol açan sera gazlarının en büyük bileşenini

oluşturmakta ve bu haliyle karbondioksit emisyonu küresel ısınmanın da temel nedeni olmaktadır (Aller vd., 2021). Bugün birçok ülke karbondioksit emisyonu neticesinde ortaya çıkan çevre kirliliğinden etkilenmektedir. 20. yüzyılın başlarında küresel karbondioksit emisyonunun sorumlusu olarak Avrupa ülkeleri ve ABD gösterilirken yüzyılın son dönemlerinde söz konusu algı yön değiştirerek başta Güneydoğu Asya ülkeleri olmak üzere gelişmekte olan ülkelere doğru evrilmiştir (Huang vd., 2022). Gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımlar, ticari serbestlik ve sermaye hareketleri aracılığı ile ekonomik aktivitede ve buna bağlı olarak çıktıda meydana gelen artış doğal kaynak tüketimini hızlandırmış, söz konusu tüketim çevresel bozulmayı tetiklemiştir. (Ali vd. 2021; Chen, 2021; Akin, 2014; Demena ve Afesorgbor, 2020). Gelişmekte olan ülkeler arasında E-7 ülkeleri artan küresel etkileri ve büyüme oranları ile dikkat çekmektedirler. Çalışma kapsamında değerlendirilen E-7 ülkelerine ait CO₂ emisyonlarının gelişimi Grafik 1'de gösterilmektedir.

Grafik 1: E-7 Ülkelerinde CO₂ Emisyonlarının Gelişimi (1990-2018)



E-7 ülkelerinde zaman içerisinde emisyon değerlerinde artış yaşandığı görülmektedir. Özellikle Endonezya'da emisyon değerlerinde yoğun artışlar yaşanmaktadır. Artan önemlerinin yanında doğrudan yabancı yatırım ve finansal akım yoğunluğu bakımından bu ülkelerin incelenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada gelişmekte olan ülkeler sınıfında yer alan E-7 ülkelerinde 1990-2018 döneminde doğrudan yabancı yatırımların, finansal akımların ve ticari dışa açıklığın çevre kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Seriler arasındaki bu ilişki Dumitrescu ve Hurlin nedensellik analizi ile incelenmiştir. Analiz sonucunda seriler arasındaki nedensellik ilişkisinin ülkeden ülkeye göre değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın, incelenen ülkelerin birbirinden farklı kurumsal ve ekonomik yapılarına sahip olmaları nedeniyle ülkelere özgü nedensellik sonuçlarının elde edilmiş olması sebebiyle diğer nedensellik analizlerinden farklı olarak literatüre katkı yapması hedeflenmektedir.

Çalışmada giriş bölümünden sonra literatür taraması yer almaktadır. İkinci bölümde veri ve ampirik analiz tanıtıldıktan sonra ampirik bulgulara yer verilmektedir. Nihai aşamada sonuç ve tartışmalar yer almaktadır.

2. Literatür Taraması

Doğrudan yabancı yatırımlar, finansal akımlar ve ticari dışa açıklık ile çevre kalitesi arasındaki ilişki ağı literatürde genellikle Kirlilik Sığınağı Hipotezi ve Çevresel Kuznets Eğrisi bağlamında araştırılmıştır. Panel Koentegrasyon Konsepti, ARDL Sınır Testi

Yaklaşımı, Toda-Yamamoto ve Granger Nedensellik Testleri gibi çeşitli ekonometrik analizleri kullanıldığı çalışmaların bir bölümü modeldeki açıklayıcı değişkenlerin çevresel kalitedeki değişimleri nedensellik bağıntıları çerçevesinde açıkladığını ortaya koymaktadır. Bu bölümde çalışmanın esasını teşkil eden modelin teorik çerçevesini ele alan seçilmiş bir ampirik literatür özeti sunulmaktadır.

Konu hakkındaki öncü çalışmalardan biri niteliğindeki Birdsall ve Wheeler (1993)'de, Latin Amerika ülkeleri için çeşitli ekonometrik tahmin yöntemlerini kullanarak doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık, çevresel kalitede bozulma ve kirli endüstrilerin gelişimi analiz edilmiştir. 1960-1980 yılları arası dönemin ele alındığı çalışmadan elde edilen bulgulara göre doğrudan yabancı yatırımlar ve dışa açıklık çevresel kaliteyi bozmamakta ve kirli endüstrileri teşvik etmemektedir.

Hoffmann vd. (2005), 112 ülkede DYY'ler ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik analizi ile incelemişlerdir. Analiz sonucunda düşük gelirli ülkelerde CO₂'den DYY'ye doğru, orta gelirli ülkelerde DYY'den CO₂'ye doğru nedensellik tespit edilmiş, ancak yüksek gelirli ülkelerde ise, nedensellik tespit edilememiştir.

Dam ve Scholtens (2008), DYY'lerin ülkelere akımı ile zayıf çevresel düzenlemeler arasında ilişkinin olup olmadığı incelenmişlerdir. Çalışma çevresel duyarlılığa sahip firmaların çevresel düzenlemelerin zayıf olduğu ülkelere yatırım yapmaktan kaçındıkları ve çevresel duyarlılığı zayıf olan firmaların ise, bu ülkelere yatırımlarını yönlendirdiklerini vurgulamaktadırlar.

Sharma (2011), 69 ülkeden oluşan seçilmiş grup için 1985-2005 yıllarına ait dönemi dinamik panel veri analizi ile araştırmıştır. Çalışmada tahmin edilen modele dışa açıklık, ekonomik büyüme, yatırımların bir göstergesi olarak kentleşme ve çevre kirliliği değişkenleri dahil edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre dışa açıklık, kentleşme ve ekonomik büyüme çevre kirliliğini negatif etkilemektedir.

Omri vd. (2014), 1990-2011 araştırma dönemi için 54 ülkeden oluşan seçilmiş örnekleme ele alarak Genelleştirilmiş Momentler Metodu yardımıyla tahmin yapmışlardır. Analizden elde edilen bulgular doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık ve çevre kirliliğinin ele alındığı modelde Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Sahra-altı Afrika alt grupları için Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Doğrudan yabancı yatırımlar ve dışa açıklık araştırma dönemi için çevresel kalitedeki bozulmayı azaltmaktadır.

Lau vd. (2014), Malezya için Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliğini 1970-2008 dönemini ele alarak araştırmışlardır. Doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık ve çevre kalitesinin dâhil edildiği modelin analizi sonucu elde edilen bulgulara göre doğrudan yabancı yatırımlar çevre kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Hakimi ve Hamdi (2016), Tunus ve Fas için panel eşbütünleşme konseptini kullanarak 1971-2013 dönemini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre doğrudan yabancı yatırımlar ile çevre kalitesindeki bozulma arasında karşılıklı nedensellik bulunmaktadır. Ayrıca dışa açıklık ve doğrudan yabancı yatırımların birlikte çevre kirliliğini artırdığı da tespit edilmiştir.

Kahouli ve Omri (2017), altı tane işbirliği örgütüne ait ülkelerde çevresel bozulma ve DYY'ler arasındaki ilişkiyi dinamik çekim modeli yardımıyla incelemişlerdir. Çalışmada

ticari akımlar ile çevresel bozulma arasında negatif ve DYY ile çevresel bozulma arasında ise pozitif ilişkinin olduğu vurgulanmaktadır.

Üzar (2019), Türkiye'de 1970-2014 araştırma dönemi için ARDL sınır testi yaklaşımını kullanarak analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular araştırma dönemi için dışa açıklığın çevre kirliliğini artırdığını, doğrudan yabancı yatırımların ise çevre kirliliği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Zubair vd. (2020), Nijerya'da doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık ve çevre kalitesi ilişkisini ARDL sınır testi yaklaşımını kullanarak 1980-2018 dönemi için araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre doğrudan yabancı yatırımlar ve dışa açıklık ile çevre kalitesi arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Ancak çevre kirliliği ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir ilişki saptanmıştır.

Mahmood vd. (2020), 1990-2014 yılları arasında Kuzey Afrika ülkelerindeki doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık ve çevre kalitesi ilişkisini Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi modeli çerçevesinde incelemişlerdir. Analiz sonucu elde edilen bulgular dışa açıklık ve ekonomik büyümenin çevresel kaliteyi bozduğunu gösterirken, doğrudan yabancı yatırımlar ile çevre kalitesi arasında anlamlı bir bağıntı saptanmamıştır.

Tahir vd., (2021) ekonomik büyümenin, küreselleşmenin ve finansal gelişmelerin çevresel bozulma üzerine olan etkilerini eşbütünleşme ve nedensellik analizleri ile incelenmişlerdir. Eşbütünleşme analizi sonucunda emisyonların, enerji tüketiminin, GSYİH, finansal gelişmenin ve küreselleşmenin eşbütünleşik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nedensellik testi sonucunda da DYY'den CO₂'ye doğru tek yönlü nedensellik gözlemlenmiştir.

Suluk (2021), 1991-2014 araştırma dönemi için G7 ülkelerini incelediği çalışmasında doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık, ekonomik büyüme ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi panel nedensellik testi yardımıyla analiz etmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrudan yabancı yatırımlar ve dışa açıklığın çevre kalitesini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Panel Granger Nedensellik Testi sonuçları ise doğrudan yabancı yatırımlar ve dışa açıklık hem çevre kirliliğinin hem de ekonomik büyümenin tek yönlü Granger nedenidir.

Yılmaz ve Karabiber (2022), Türkiye'de doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık bileşenlerinden olan ihracat ve ekonomik büyümenin çevre kirliliği üzerindeki etkisini 1995-2019 dönemi için araştırmışlardır. ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto Nedensellik testi kullanılan çalışmadan elde edilen bulgular ihracatın çevre kalitesini anlamlı bir şekilde etkilemediğini ancak doğrudan yabancı yatırımlarla çevre kalitesi arasında güçlü bir nedensellik olduğunu ortaya koymaktadır.

3. Veriler ve Ampirik Analiz

3.1. Veriler

Çalışmada E-7 (Brezilya, Çin, Endonezya, Hindistan, Meksika, Rusya ve Türkiye) ülkelerine ait 1990-2018 dönemine ait veriler kullanılmıştır. E-7 ülkeleri, hızlı büyüme oranlarına sahip ve giderek küresel önemleri artan ülke grubu olarak tanımlanmaktadır (Hawthornth ve Cookson, 2008: 2). Bu nedenle bu ülkelerde doğrudan yabancı yatırımlar, ticari dışa açıklık, finansal akımlar ve çevre kalitesi arasındaki ilişkilerin

incelenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca bu ülke grubuna ait analiz yapmaya uygun ve yeterli düzeyde verinin elde edilebilmesi amacıyla 1990-2018 dönemine ait veriler

kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışmada kullanılan veriler ve kaynakları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Veriler ve Kaynakları

Değişkenler	Temsil	Tanımı	Kaynak
Çevre Kalitesi	CO2	CO2 Emisyonları (Milyon Ton)	BP Dünya Enerjisinin İstatistiksel İncelemesi
Doğrudan Yabancı Yatırımlar	FDI	Doğrudan yabancı yatırım, net girişler (% GSYİH)	Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri
Ticari Dışa Açıklık	TRD	Ticaret (% GSYİH)	Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri
Finansal Akımlar	FFL	Net finansal akışlar, IBRD (ABD \$)	Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri

Çalışmada çevre kalitesinin göstergesi olarak CO₂ emisyonları kullanılmıştır. CO₂ emisyonları sera gazlarının yaklaşık % 79’unu oluşturmaktadır (EPA, 2022). Bu sebeple bu emisyonlar, çevre kalitesinin önemli göstergeleri arasında gösterilmektedir. Aynı zamanda literatürde yer alan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda emisyon değerleri çevre kalitesinin gösterge değişkeni olarak kullanılmaktadır (Hakimi ve Hamdi (2016); Üzar (2019); Suluk (2021); Zuhail, 2022).

Doğrudan yabancı yatırımlar (DYY) başka bir ülkedeki bir girişim üzerinde kalıcı veya uzun vadeli yapılan yatırımları içermektedir. Doğrudan yabancı yatırımlar, yatırımcının yeni tesisler inşa ederek yabancı bir ülkede sıfırdan yatırım şeklini alabilmekte ve bu yatırımlar yeni bir işletme kurma, bir şirketle ortaklık, satın alma ve devralma şeklinde olabilmektedir (WorldBank, 2022). Bu nedenle yabancı yatırımların yerleşik ülkelerin çevre kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olmaktadır. Özellikle yükselen piyasalar olarak değerlendirilen E-7 ülkelerinde DYY’lerin çevre kalitesine olan etkilerinin incelenmesi önem arz etmektedir.

Ticari dışa açıklık, ekonomik büyümede ve kalkınmada önemli rol oynamaktadır. Ülkeler dışa açıklık sayesinde küresel rekabet içerisinde yer almakta ve hızlı bir üretim sürecine girmektedir. Ülkelerde üretim süreçlerinde meydana gelen genişleme sonucunda yoğun miktarlarda elektrik tüketimi yapılmaktadır. Bu durumun doğal sonucu olarak CO₂ emisyonları artış gösterebilmektedir (Dou vd., 2021: 1).

Gelişmekte olan ülkelerde yüksek ekonomik performansın yakalanabilmesi ve kalkınma süreçlerinin başarı ile tamamlanabilmesi için finansal araçlara yoğun ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda finansal kaynaklar, kalkınma sürecinde çevre üzerinde meydana gelen olumsuz etkilerin giderilmesinde önemli rol oynamaktadır (Muganyi vd., 2021: 1). Ayrıca finansal gelişmenin, üretim faaliyetlerini canlandırabileceği ve böylece çevre üzerindeki baskıyı artırabileceği vurgulanmaktadır (Bui, 2020: 1).

3.2. Ampirik Analiz

Çalışmada seriler arasındaki ilişki incelenirken Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik testi kullanılmıştır. Bu testin kullanılabilmesi için ön şart olarak serilerin durağan olması gerekmektedir (Lopez ve Weber, 2017: 977). Ancak serilerin durağanlığının incelenmesinde kullanılacak birim kök testlerine karar verirken serilere yatay kesit bağımlılığı testi uygulanması gerekmektedir.

Bu sebeple çalışmada hem bu durumu hem de serilerdeki kırılmaları dikkate alan Im, Lee ve Tieslau (2005) tarafından geliştirilen LM birim kök testi uygulanmıştır. Bu testte hem düzeyde hem de trendde çift kırılma dikkate alınmaktadır (Lee ve Tieslau, 2019: 7). Bu testte H₀ hipotezi “serilerde birim kök vardır” şeklinde oluşturulmaktadır. Olasılık değerlerinin anlamlılık değerlerinden küçük olduğu durumlarda H₀ hipotezi reddedilmekte ve serilerin durağan olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmada birim kök testlerinin yanında yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri kullanılmıştır. Çalışmada Breusch ve Pagan’ın (1980) Lagrange Multiplier (LM) testleri kullanılmıştır. LM testi, N sabit, T → ∞ iken daha uygun sonuçlar vermektedir. LM testi şu şekilde gösterilmektedir (Pesaran, 2021: 18):

$$CD_{LM} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2 \quad (1)$$

Bu testte H₀ hipotezi “yatay kesit bağımlılığı yoktur” şeklinde değerlendirilmektedir.

Çalışmada homojenlik incelemesi yapılırken Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen homojenlik testi kullanılmıştır. Bu model, delta (Δ) testinde T ve N → ∞ olmak üzere $\sqrt{N}/T \rightarrow \infty$ iken “Eğim katsayıları homojendir” H₀ hipotezi ile test edilmektedir. Bu testlerden sapması düzeltilmiş delta ($\tilde{\Delta}_{adj}$) testinin küçük örneklemede kullanılması önerilmektedir (Pesaran ve Yamagata, 2008: 62).

3.2.1. Nedensellik Analizi

Dumitrescu ve Hurlin, (2012) tarafından geliştirilen panel nedensellik testi, Granger (1969) tarafından geliştirilen nedensellik testinin heterojen paneller için geliştirilmiş halidir. Dumitrescu ve Hurlin, (2012) yaptıkları simülasyonlar sonucunda elde ettikleri bootstrap kritik değerlerinin yatay kesit bağımlılığına karşı da dirençli olduğu vurgulamaktadırlar (Dumitrescu ve Hurlin, 2012: 1451).

Nedensellik testinde t dönem ve i birim olan formülde x ve y durağan değişkenlerde heterojen yapıya sahip liner model şu şekilde gösterilmektedir (Dumitrescu ve Hurlin, 2012: 1451; Lopez ve Weber, 2017: 973);

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

Dumitrescu ve Hurlin, (2012)'in modelinde (k) gecikme uzunluğu panelin her birimi için aynı belirlenirken otoregresif parametre $\gamma_i^{(k)}$ ve eğim katsayıları $\beta_i^{(k)}$ birimlere göre değişmektedir. Dumitrescu ve Hurlin, (2012) Panel Nedensellik testinde H_0 (boş hipotez) şu şekilde oluşturulmaktadır (Lopez ve Weber, 2017:973):

$$H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$$

Eğer H_0 reddedilirse, x'ten y'ye nedenselliğin var olduğu sonucuna varılabilir. Testte x ve y değişkenleri, diğer yönde nedenselliği test etmek için değiştirilebilir ve iki yönlü nedenselliği gözlemlemek mümkündür (Lopez ve Weber, 2017: 973).

Dumitrescu ve Hurlin, (2012) temel hipotezi test etmek amacıyla her yatay kesit için ayrı Wald istatistikleri ($W_{i,T}$) hesaplamakta ve bu Wald istatistiklerinin ortalaması alınarak panelin geneline ait Wald istatistiği $W_{N,T}^{Hnc}$ elde edilmektedir. Bu durum (3) no'lu denklemde gösterilmektedir. Ayrıca (4) no'lu denklemde gösterilen ($Z_{N,T}^{Hnc}$) test istatistiğinin $T>N$ durumunda, (5) no'lu denklemde gösterilen (Z_N^{Hnc}) test istatistiğinin ise $N>T$ durumunda kullanılması önerilmektedir (Dumitrescu ve Hurlin, 2012: 1453-1454).

$$W_{N,T}^{Hnc} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{i,T} \quad (3)$$

$$Z_{N,T}^{Hnc} = \sqrt{\frac{N}{2K}} (W_{N,T}^{Hnc} - K) \underset{T, \tilde{N} \rightarrow \infty}{d} N(0,1) \quad (4)$$

$$Z_N^{Hnc} = \frac{\sqrt{N} \left[W_{N,T}^{Hnc} - N^{-1} \sum_{i=1}^N E(W_{i,T}) \right]}{\sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N Var(W_{i,T})}} \underset{T, \tilde{N} \rightarrow \infty}{d} N(0,1) \quad (5)$$

3.3. Ampirik Bulgular ve Tartışmalar

Çalışmada öncelikle serilerin birim kök analizi yapılmıştır. Birim kök analizi yapılmadan önce serilerin yatay kesit bağımlılığı kontrol edilmiştir. Serilerin yatay kesit bağımlılığı içermesi durumunda ikinci nesil birim kök testlerine gerek duyulmaktadır. Serilerin yatay kesit bağımlılık testi sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

H ₀ : Yatay kesit bağımlılık yoktur.			
Değişkenler	Test	İstatistik	Olasılık
CO2	Breusch-Pagan LM	434.1586	0.0000*
	Pesaran scaled LM	62.67163	0.0000*
	Bias-corrected scaled LM	62.54663	0.0000*
	Pesaran CD	13.83375	0.0000*
FDI	Breusch-Pagan LM	346.4468	0.0000*
	Pesaran scaled LM	49.13740	0.0000*
	Bias-corrected scaled LM	49.01240	0.0000*
	Pesaran CD	18.45080	0.0000*
TRD	Breusch-Pagan LM	146.6380	0.0000*
	Pesaran scaled LM	18.30624	0.0000*
	Bias-corrected scaled LM	18.18124	0.0000*
	Pesaran CD	5.376525	0.0000*
FFL	Breusch-Pagan LM	51.12688	0.0003*
	Pesaran scaled LM	3.568556	0.0004*
	Bias-corrected scaled LM	3.443556	0.0006*
	Pesaran CD	2.175602	0.0296**

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere tüm serilerde yatay kesit bağımlılığı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumu dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığı ve yapısal kırılmaları dikkate alan LM testi uygulanmıştır. LM testi sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 2: LM Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Düzye Tek Kırılmalı	Düzye Çift Kırılmalı	Trend Tek Kırılmalı	Trend Çift Kırılmalı
CO2	-11.309 [0.000]*	-21.522 [0.000]*	-9.251 [0.000]*	-20.694 [0.000]*
FDI	-13.886	-25.049	-12.550	-26.650

	[0.000]*	[0.000]*	[0.000]*	[0.000]*
FFL	-13.917 [0.000]*	-24.920 [0.000]*	-10.643 [0.000]*	-25.807 [0.000]*
TRD	-12.830 [0.000]*	-23.164 [0.000]*	-9.532 [0.000]*	-20.553 [0.000]*

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. [] olasılık değerlerini göstermektedir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm değişkenlerin hem düzey değerlerinin hem de trend değerlerinin tek ve çift kırılmada durağan olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda tüm değişkenlerin nedensellik analizine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada ilk aşamada E-7 ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımlar ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişki incelenmektedir.

Analize uygun nedensellik testinin belirlenebilmesi için modelde homojenlik ve yatay kesit bağımlılığı incelemesi yapılmıştır. Bu testlere ait sonuçlar Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 3: CO2 ve FDI Homojenlik ve Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

H ₀ : Eğim Katsayıları Homojendir		
	Delta	p-değeri
	26.245	0.000*
adj.	27.718	0.000*
H ₀ : Yatay kesit bağımlılık yoktur.		
Test	İstatistik	p-değeri
LM	72.66	0.0000*
LM _{adj}	23.27	0.0000*
LM CD	2.572	0.0101*

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Modelde hem homojen olmadığı hem de yatay kesit bağımlılığın olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit sonucunda nedensellik analizi olarak her iki durumu dikkate alan Dumitrescu ve Hurlin

Nedensellik Testi tercih edilmiştir. Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testi sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları

H ₀ Hipotezi	Gecikme	W-bar	Z _{N,T} ^{HNC}	Z _N ^{HNC}
FDI ≠ CO2	6	12.1571	6.4509 [0.1280]	2.7785 [0.1280]
CO2 ≠ FDI	7	20.8410	12.8734 [0.1070]	3.8905 [0.1070]

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal Gecikme Uzunlukları AIC'e göre belirlenmiştir. [] olasılık değerini ve ≠ nedeni olmadığını göstermektedir. Kritik değerler 1000 bootstrap uygulaması ile elde edilmiştir.

Modelde yatay kesit bağımlılığın olmasından dolayı kritik değerler bootstrap yöntemiyle elde edilmiştir. E-7 ülkelerinde tüm panel genelinde FDI ve CO2 arasında nedensellik tespit edilememiştir. Ancak serilerde heterojenliğin olmasından dolayı ülkelere özgü sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir. Ülkelere özgü sonuçlar Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 5: FDI ile CO2 Ülkelere Özgü Nedensellik Sonuçları

Ülkeler	FDI ≠ CO2		CO2 ≠ FDI	
	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri
Brezilya	28.843618	0.01468246**	13.094688	0.2137758
Çin	3.9321002	0.68697766	55.080285	0.00713433*
Endonezya	16.980114	0.0705654***	38.186971	0.01980667**
Hindistan	12.892581	0.13635783	23.368461	0.06714182***
Meksika	8.8559806	0.27927932	6.42457	0.54359406
Rusya	9.0003125	0.27194731	4.7156603	0.69242174
Türkiye	4.5951016	0.61319982	5.0160612	0.6644031

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Ülkelere özgü sonuçlara bakıldığında, panel geneline göre sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Endonezya'da FDI ve CO2 arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Brezilya'da FDI'dan CO2'ye doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Aynı zamanda Çin ve Hindistan'da CO2'den FDI'ye doğru tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Meksika, Rusya ve Türkiye'de herhangi nedensellik bulunamamıştır.

Çalışmada ikinci model olarak ticari olarak dışa açıklığın CO2 emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Öncelikle modelde homojenlik ve yatay kesit bağımlılığı testi yapılmış ve sonuçları Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 6: CO2 ve TRD Homojenlik ve Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

H ₀ : Eğim Katsayıları Homojendir		
	Delta	p-değeri
	9.069	0.000*
adj.	9.578	0.000*
H ₀ : Yatay kesit bağımlılık yoktur.		
Test	İstatistik	p-değeri
LM	122.8	0.0000*
LM _{adj}	46.79	0.0000*
LM CD	5.408	0.0000*

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu ve homojenliğin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testinin uygulanmasının uygun olduğu anlaşılmakta ve teste ilişkin sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 7: Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları

H ₀ Hipotezi	Gecikme	W-bar	Z _{N,T} ^{HNC}	Z _N ^{HNC}
TRD ≠ CO2	2	4.2536	3.8146 [0.0920]***	2.9192 [0.0920]***
CO2 ≠ TRD	7	24.8686	1.7365 [0.0300]**	3.4845 [0.0300]**

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal Gecikme Uzunlukları AIC'e göre belirlenmiştir. [] olasılık değerini ve ≠ nedeni olmadığını göstermektedir. Kritik değerler 1000 bootstrap uygulaması ile elde edilmiştir.

Modelde yatay kesit bağımlılığın olmasından dolayı kritik değerler bootstrap yöntemiyle elde edilmiştir. E-7 ülkelerinde tüm panel genelinde TRD ve CO2 arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Ancak serilerde heterojenliğin olmasından

dolayı ülkelere özgü sonuçların değerlendirilmesi uygun olmaktadır. Ülkelere özgü sonuçlar Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 8: TRD ile CO2 Ülkelere Özgü Nedensellik Sonuçları

Ülkeler	TRD \neq CO2		CO2 \neq TRD	
	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri
Brezilya	5.8648944	0.07430501***	11.80208	0.2535796
Çin	1.6571281	0.44984951	43.401418	0.0139931**
Endonezya	0.04966002	0.97550301	9.9162155	0.32869407
Hindistan	18.254428	0.00129927*	10.454291	0.30487965
Meksika	0.05290434	0.97392555	4.7114739	0.69281658
Rusya	3.7695005	0.17558341	41.111732	0.01623223**
Türkiye	0.12672399	0.93877429	52.683197	0.00811044*

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

E-7 ülkelerinin geneli için TRD ile CO2 arasında çift yönlü nedenselliğin olduğu görülmektedir. Ancak ülkelere özgü sonuçların tüm panel geneli için üretilen sonuçlardan farklılaştığı görülmektedir. Brezilya ve Hindistan’da TRD’den CO2’ye doğru tek yönlü nedensellik bulunurken, Çin, Rusya ve Türkiye’de CO2’den TRD’de doğru tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Diğer ülkelerde herhangi bir nedensellik tespit edilememiştir.

Çalışmada üçüncü model olarak finansal akımların CO2 emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Öncelikle modelde heterojenlik ve yatay kesit bağımlılığı testi yapılmış ve sonuçları Tablo 10’da gösterilmektedir.

Tablo 9: CO2 ve FFL Homojenlik ve Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

H0: Eğim Katsayıları Homojendir		
	Delta	p-değeri
	33.623	0.000*
adj.	35.441	0.000*
H0: Yatay kesit bağımlılık yoktur.		
Test	İstatistik	p-değeri
LM	363.6	0.0000*
LM _{adj}	158.9	0.0000*
LM CD	11.93	0.0000*

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Modelde yatay kesit bağımlılığının ve heterojenliğin olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testi uygulanmış ve teste ilişkin sonuçlar Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 10: Dumitrescu ve Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları

H0 Hipotezi	Gecikme	W-bar	Z _{N,T} ^{HNC}	Z _N ^{HNC}
FFL \neq CO2	5	12.5439	4.5784 [0.0150]**	2.4228 [0.0150]**
CO2 \neq FFL	6	12.3810	6.6034 [0.1340]	2.8583 [0.1340]

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir. Optimal Gecikme Uzunlukları AIC’e göre belirlenmiştir. [] olasılık değerini ve \neq nedeni olmadığını göstermektedir. Kritik değerler 1000 bootstrap uygulaması ile elde edilmiştir.

Genel olarak E-7 ülke grubunda FFL’den CO2’ye doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Panel geneli için elde edilen sonuçların yanında ülkelere özgü sonuçlar Tablo 12’de gösterilmektedir.

Tablo 11: FFL ile CO2 Ülkelere Özgü Nedensellik Sonuçları

Ülkeler	FFL \neq CO2		CO2 \neq FFL	
	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri	Wald İstatistiği	Olasılık Değeri
Brezilya	45.845811	0.00064409*	29.955927	0.01294216**
Çin	10.399667	0.13339298	1.7301448	0.92928993
Endonezya	7.5439909	0.25365162	10.380996	0.2115162
Hindistan	7.0214976	0.28608013	15.900602	0.08341459***
Meksika	10.417197	0.13288154	9.7601275	0.23664083
Rusya	2.3779832	0.78817481	14.805352	0.09932521***
Türkiye	4.2014562	0.54454325	4.1337652	0.66407861

Not: * % 1, ** % 5 ve *** % 10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Brezilya’da FFL ve CO2 arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Aynı zamanda Hindistan ve Rusya’da CO2’den FFL’e doğru tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Diğer ülkelerde nedensellik tespit edilememiştir.

4. Sonuç ve Tartışmalar

Doğrudan yabancı yatırımlar, ticari serbestleşme ve finansal akımlar ile birlikte ekonomik büyümeye olumlu etkiler yapmaktadır. Doğrudan yabancı yatırımların ev sahibi ülkede

yeni ürün ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi, verimliliğin artırılması, işgücünün bilgi ve beceri düzeyinin geliştirilmesi vb. pozitif dışsallıklar oluşturulması gibi katkıları olmaktadır. Bunun yanı sıra doğrudan yabancı yatırımları cesaretlendiren ticari serbestleşme de ihracat ve ithalat eğilimlerinin gelişmesine imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda ticari dışa açıklık rekabet gücünün geliştirilmesine, teknoloji ve bilginin üretimdeki ağırlığının artmasına fırsat vermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımlar, ticari serbestlik ve sermaye hareketleri aracılığı ile ekonomide meydana gelen gelişme doğal kaynak tüketimini hızlandırmakta ve tüketim aracılığıyla çevresel bozulmayı tetiklemektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu faktörlerin çevre kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Ekonomik büyüme ve kalkınma sağlanırken gelecek nesillere sürdürülebilir ekonominin miras bırakılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada E-7 ülkelerinde 1990-2018 döneminde doğrudan yabancı yatırımların, finansal akımların ve ticari dışa açıklığın çevre kalitesi üzerindeki etkisi, Dumitrescu ve Hurlin nedensellik analizi ile incelenmiştir. Analiz kapsamında serilerin çevre kalitesi üzerinden etkisi ayrı ayrı modellenmiştir. İlk modelde DYY ile çevre kalitesi arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. Tüm ülkeler bir arada değerlendirildiğinde, DYY ile çevre kalitesi arasında nedensellik tespit edilememiştir. Ancak ülkelere özgü sonuçlara bakıldığında, Endonezya'da çift yönlü, Brezilya'da DYY'den çevre kalitesine doğru ve Hindistan'da çevre kalitesinden DYY'ye doğru tek yönlü nedensellik bulunmuştur. Ticari dışa açıklık ile çevre kalitesi arasındaki ilişki incelendiğinde, tüm ülkeler için ilgili değişkenler arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur. Ancak ülkelere özgü sonuçlarda durum farklılaşmakta ve Brezilya ve Hindistan'da ticari dışa açıklıktan çevre kalitesine doğru ve Çin, Rusya ve Türkiye'de

çevre kalitesinden ticari dışa açıklığa doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Üçüncü model olarak finansal akımların çevre kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm ülkeler birlikte değerlendirildiğinde, finansal akımlardan çevre kalitesine doğru tek yönlü nedensellik bulunmuştur. Finansal akımlar ile çevre kalitesi arasında Brezilya'da çift yönlü, Hindistan ve Rusya'da çevre kalitesinden finansal akımlara doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan çalışmalar ile uyum sağlamaktadır.

Doğrudan yabancı yatırımlar, dışa açıklık ve finansal akımları ile her ne kadar ülkelere göre değişkenlik gösterse de, çevre kalitesi arasında önemli bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, bu değişkenlerin ekonomik büyüme için gerekli olduğunu ancak sürdürülebilirliğin sağlanması açısından bu değişkenlere dikkat edilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu açıdan bu çalışma literatüre katkı yapmakta ve değişkenler arasındaki bu ilişki yönlerine dikkat çekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme için yurtdışı kaynaklarına ve tasarruflarına ihtiyaç duyulmakta ancak kalıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınma için çevre kalitesi göz önünde bulundurularak bu faktörlere karşı ihtiyatlı davranılması gerekmektedir. Bu açıdan geliştirilecek kalkınma politikalarının çevre dostu politikalar olmasına özen gösterilmelidir.

Bu çalışma E-7 ülkeleri özelinde 1990-2018 dönemi için yapılmıştır. Çalışma farklı ülke veya ülke grupları ve dönemler açısından yeniden incelenebilir. Ayrıca yeni ve geniş veri setleri ve yeni ampirik metotlarla mevcut çalışma tekrar edilebilir.

Kaynakça

- Afesorgbor, S., ve Demena, B. (2022). Trade Openness and Environmental Emissions: Evidence from a Meta-Analysis. *Environmental and Resource Economics*, 81, 287–321.
- Akin, C. (2014). The impact of foreign trade, energy consumption and income on CO2 emissions. *Int J Energy Econ Policy* 4(3):465.
- Ali, S., Doğan, E., Chen, F., ve Khan, Z. (2021). International trade and environmental performance in topten-emitters countries: The role of eco-innovation and renewable energy consumption. *Sustainable Development*, (29):2, 378 – 387.
- Aller, C., Ductor, L., ve Grechyna, D. (2021). Robust determinants of CO2 emissions. *Energy Economics*, 96, 105154.
- Birdsall, N., ve Wheeler, D. (1993). Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are The Pollution Havens?. *The Journal of Environment and Development*, 2(1), 137-149.
- Bui, D. (2020). Transmission channels between financial development and CO2 emissions: A global perspective. *Heliyon* 6 e05509, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05509>.
- Chen, F., Jiang, G., ve Kitila, G. (2021). Trade Openness and CO2 Emissions: The Heterogeneous and Mediating Effects for the Belt and Road Countries. *Sustainability* 13 (4), 1958.
- Dam, L., ve Scholtens, B. (2008). Environmental regulation and MNEs location: Does CSR matter? *Ecological Economics* 67, 55-65. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.11.007.
- Demena, B.A., ve Afesorgbor, S.K. (2020). The effect of FDI on environmental emissions: Evidence from a meta-analysis. *Energy Policy*, 138, 111192.

- Dou, Y., Zhao, J., Malik, M., ve Dong, K. (2021). Assessing the impact of trade openness on CO2 emissions: Evidence from China-Japan-ROK FTA countries. *Journal of Environmental Management* 296, 113241. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113241>.
- Dumitrescu, E.-I., ve Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling* 29, 1450–1460.
- EPA. (2022). Greenhouse Gas Inventory Data Explorer. <https://cfpub.epa.gov/ghgdata/inventoryexplorer/> adresinden alındı
- Hakimi, A., ve Hamdi, H. (2016). Trade liberalization, FDI inflows, environmental quality and economic growth: A comparative analysis between Tunisia and Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1445-1456.
- Hawksworth, J., ve Cookson, G. (2008). The World in 2050 Beyond the BRICs: a broader look at emerging market growth prospects. https://www.pwc.com/la/en/publications/assets/world_2050_brics.pdf adresinden alındı
- Hoffmann, R., Lee, C.-G., Ramasamy, B., ve Yeung, M. (2005). FDI and Pollution: A Granger Causality Test Using Panel Data. *Journal of International Development* 17, 311–317. DOI: 10.1002/jid.1196.
- Huang, Y., Chen, F., Wei, H., Xiang, J., Xu, Z., ve Akram, R. (2022). The Impacts of FDI Inflows on Carbon Emissions: Economic Development and Regulatory Quality as Moderators. *Front. Energy Res.* 9:820596., doi: 10.3389/fenrg.2021.820596.
- IEA. (2022). Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2> adresinden alındı

- Kahouli, B., ve Omri, A. (2017). Foreign Direct Investment, Foreign Trade and Environment: New Evidence from Simultaneous-equation system of Gravity Models. *Research in International Business and Finance* Volume 42, 353-364. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.07.161>.
- Karış, Ç., ve Ayla, D. (2018). Türkiye’de Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Ticari Dışa Açıklık İlişkisinin Ekonometrik Analizi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (8):16, 255-271.
- Lau, L-S., Choong C-K., Eng, Y-K. (2014), Investigation of the Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Malaysia: Do Foreign Direct Investment and Trade Matter?, *Energy Policy*, 68, 490-497.
- Lee, J., ve Tieslau, M. (2019). Panel LM unit root tests with level and trend shifts. *Economic Modelling*, 1-10.
- Lopez, L., ve Weber, S. (2017). Testing for Granger causality in panel data. *The Stata Journal* 17, Number 4., 972-984.
- Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., ve Furgan, M. (2020). Exports, imports, foreign direct investment and CO2 emissions in North Africa: Spatial analysis. *Energy Reports*, 6, 2403-2409.
- Muganyi, T., Yan, L., ve Sun, H.-p. (2021). Green finance, fintech and environmental protection: Evidence from China. *Environmental Science and Ecotechnology* 7 , 100107. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2021.100107>.
- Omri, A., Nguyen, D.K. ve Rault C. (2014). Causal Interactions between CO2 Emissions, FDI, and Economic Growth: Evidence from Dynamic Simultaneous-equation Models, *Economic Modelling*, 42, 382 - 389.
- Pesaran, M. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics* 60, 13-50.
- Pesaran, M., ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics* 142, 50-93.
- Shahbaz, M., Nasreen, S., Abbas, F., ve Anis, O. (2015). Does foreign direct investment impede environmental quality in high-middle- and low-income countries? *Energy Economics*, 51,, 275-281.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88, 376-382.
- Suluk, S. (2021). Sürdürülebilir Kalkınma: G7 Ülkelerinin Ekonomik Büyüme, Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Çevre Kirliliği Açısından İncelenmesi (1991-2014), Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Doktora Tezi, 120-122.
- Şahin, S. (2021). The Relationships between Foreign Direct Investment, Trade Openness, and Economic Growth: The Case of Selected Countries and Turkey. *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics*, 35, 111-128.
- Tahir, T., Luni, T., Majeed, M., ve Zafar, A. (2021). The impact of financial development and globalization on environmental quality: evidence from South Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 8088-8101.
- Üzar, U. (2019). Doğrudan Yabancı Yatırım, Büyüme Ve Çevresel Kalite İlişkisi: Türkiye “Dibe Yarışan” Bir Ülke Mi? . *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* , 6 (2) , 439-451 .
- WorldBank. (2022, 01 18). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> adresinden alındı
- Yilmazer, M., ve Karabiber, B. (2022). Türkiye’de ihracat, doğrudan yabancı yatırımlar, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisi. *Business and Economics Research Journal*, 13(2), 199-220
- Zhao, Z., ve Zhang, K. (2010). FDI and Industrial Productivity in China: Evidence from Panel Data in 2001-06. *Review of Development Economics*, 14(3), 656-665.
- Zubair, A. O., Samad, A. A., ve Dankumo, A. M. (2020). Does gross domestic income, trade integration, FDI inflows, GDP, and capital reduces CO2 emissions? An empirical evidence from Nigeria. *Current Research in Environmental Sustainability*, 2, 100009.
- Zuhail, M. (2022). The Effects of Green Innovation on Environmental Quality and Economic Growth: An Investigation for G-20 Countries. P. Hayaloğlu, ve S. Artan içinde, *Current Debates On Sustainable Development* (s. 53-72). UK: IJOPEC Publication. Retrieved from http://www.ijopec.co.uk/wp-content/uploads/2022/04/2022_02_ISBN_978-1-913809-23-2.pdf.



Systemic View of Urban Public Space, Proposing a "Human-First" Model For Livable Interspaces/Interfaces*

K. Pınar Kırkık Aydemir^{1†}, Selma Çelikyay²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Architecture, Urban and Regional Planning, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1331-1655),
kiymetpinar.aydemir@ibu.edu.tr

² Bartın University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Landscape Architecture, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7482-9901).

scelikyay@bartin.edu.tr

(First received 20 September 2022 and in final form 30 November 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1177965)

ATIF/REFERENCE: Kırkık aydemir, K. P. & Çelikyay, S. (2022) Systemic View of Urban Public Space, Proposing a "Human-First" Model For Livable Interspaces/Interfaces, *European Journal of Science and Technology*, (41), 508-516.

Abstract

Livability requires creating public spaces that can question the quality of cities and places, increase physical activity in urban life, and provide opportunities for social interaction in the built environment. In national and international meetings such as Habitat II, Habitat III, Vision 2023, and Arama Conference, it has been stated that what is expected from a city whose basic reality is "human priority" is public space/place with the phenomenon of publicity. With in the scope of the study of experts on the quality of urban space and the Jacobs, Gehl, PPS, TOD models and approaches they have developed are explained. Based on the inter-scale approach, systematic parts and urban networks from micro to macro scale are evaluated. In this study the "neighbourhood" structure, which is the most basic unit of the local scale, which reflects the social value of societies in addition to physical characteristics of the development of the cities was taken as a scale. Building-space, avenue-street, square etc. Openings are referred to as networks that make up the public system. In this context, a model proposal with a participatory approach has been developed which leads to research on the qualities of livable search interspace/interface.

Key words: The Phenomenon of Publicity, Human Friendly Space, Livable interface/interspace.

Kentsel Kamusal Mekana Sistemsel Bakış, Yaşanabilir Ara Mekan/Arayüzlere "İnsan Öncelikli" Bir Model Önerisi

Öz

Yaşanabilirlik, şehir ve yerlerin niteliğini sorgulayabilen, kent yaşamında fiziksel aktiviteyi artıran ve yapılı çevrede sosyal etkileşime fırsat veren kamusal mekanlar oluşturmayı gerektirmektedir. Habitat II, Habitat III, Vizyon 2023, Arama Konferansı vb. ulusal, uluslararası toplantılarda temel gerçekliği "insan önceliği" olan bir kentten beklenenin, kamusal alanın olgusuna sahip kamusal mekan/alanlar olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında kentsel mekan niteliği konusunda uzmanların görüşleri ve geliştirdikleri Jacobs, Gehl, PPS, TOD model ve yaklaşımlar anlatılmaktadır. Ölçekler arası yaklaşımdan yola çıkarak mikro ölçekten makro ölçeye sistemsel parçalar ve kentsel şebekeler halinde kamusal açıklıklar değerlendirilmektedir. Çalışmada kentlerin gelişimde fiziksel özelliklerin yanısıra, toplumların sosyal değerini yansıtmakta olan yerel ölçeğin en temel birimi olan "mahalle" yapısı ölçek alınmıştır. Yapı-boşluk, cadde-sokak, meydan vb. açıklıklar, kamusal sistemi oluşturan şebekeler olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda yaşanabilir aramekân/arayüzlerin niteliklerini araştırmaya yönlendiren, katılımcı yaklaşımlı bir model önerisi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kamusal Alan Olgusu, İnsan dostu mekan, Yaşanabilir aramekan/arayüz.

* This article, Kırkık Aydemir, K.P., (2018). A Model Proposal for Livable Space/Interface Development through the Slow City Movement: The Case of Istanbul/Beşiktaş-Sinanpaşa Neighborhood. Produced from a PhD thesis at Bartın University.

† Sorumlu Yazar: kiymetpinar.aydemir@ibu.edu.tr

1. Introduction

The word "public", which is expressed as "the things and characteristics of the people" in terms of the meaning of the word, is interpreted as public due to the feature of "being open and obvious to general observation" (Uzun, 2006). The development of urban space with people, actions and in a process requires the examination of interrelated concepts such as public, public space, semi-private/semi-public space (Karaca et al., 2011). The phenomenon of publicity is stated by many experts as being open to everyone (Madanipour, 1999; 2003; Carmona et al., 2003; Gökgür, 2008; Karner, 2015).

Public spaces are very important for the historical development and identity of cities. This situation leads experts to examine public spaces in more detail and to classify them as open public spaces and privatized public spaces. In this context, open public spaces; are all unbuilt areas of a city within the boundaries of a settlement that provide or have the potential to provide direct or indirect environmental-social and economic benefits to the community. Urban public open spaces; the areas that make up the open-green space system and public areas open to the public consist of two parts Privatized public spaces; cafes, restaurants, stores, cinemas, sports, commerce, entertainment centers, etc. that are known as public and allow for common use are the areas in use. These are divided into shared private space, semi-private/semi-public space within the urban space layout. (Gökgür, 2008; Erdönmez, 2014).

With the 19th and 20th centuries, highway development and rapid traffic flow have made the clarity of vehicle-pedestrian separation in the public spaces of cities evident and transformed public spaces into transition areas. This has led to a contraction of public meaning and the growth of cities based on the global economy (Gökgür, 2008; Tonnelat, 2010). Thus, the traffic density in the cities has increased, and with the car-centered use of the streets, it has been transformed into places where people cannot walk and children cannot play (Kaya, 2003). This situation has adversely affected public participation in open public spaces and, as Sennet (1999) puts it, has turned "streets into dead spaces". In his study, Jacobs (1993) stated that urbanization ends street vitality and trade, which is the heart of public life in cities, that the street becomes orphaned, and that this situation reduces privacy in the city and makes urban security questionable. The increase in construction, detached from the traces of culture, identity and past life, has severed the link between housing and the user. In particular, the problem of urban individuals "not being able to feel at home" in open public spaces has pushed individuals to look for semi-private-semi-public spaces in cities in response to their private lives and the need for public living space (Özcan, 2003). In Gehl's (2001) interpretation, "lifeless cities" have developed.

With the 21st century livability phenomenon, the understanding of "human-first spaces" has emerged. In this context, it is emphasized in many studies that livable cities are suitable for all urban functions and can be realized within pleasant walking distance (Krier 1979; Köseoğlu, 2011). In the European Urban Charter II, the development of barrier-free, livable, locally representative, building-space integrity and user-based principles based on the familiarity and inclusiveness of urban space, increasing the quality of urban life and raising awareness for disabled people are emphasized in the avenue-

street structures that provide accessibility (Jacobs, 1993). Regarding the livable street, Jacobs (1993) states the perception of "locality", "belonging" and "social interaction" with the emphasis on "eyes watching the street". This mainly refers to interfaces as vertical and horizontal components such as building facades. Therefore, the main public spaces of the city; streets are the most vital organs, squares are the gathering places of the people. These places cannot be separated from human action (Jacobs, 1993). The neighborhoods that represent the local scale in creating an urban system are the "temporary or permanent place of residence" formed by the articulation of streets, squares and building parcels. It is the center of life and the core of the city. Neighborhoods, in addition to creating space, are considered together with people. (Baday, 2011; Özdal and Özdede, 2012).

From this point of view, as Jacobs (1993) and Mumford (1938) point out, in creating livable human-first spaces, it is necessary to look at the environment of the buildings and their relationship with the open space, and secondly, the front and back facades of the buildings and their integrity with the city.

2. Material-Method

The basis of the study is included about conceptual definitions of public, publicity, public space, interface/interspace and qualitative-quantitative criteria of livable public space. Especially it is discussed about changing of perception public space after 1980 in neighbourhood scale. Changing public space perception is handled as a part of whole relationship such Gestalt. There is urban networks that form the parts of the whole so, Street, avenue, square, building and etc. and they are included of neighbourhood system. Livable interspace/interface are also formed by the combination of these system by the qualitative and quantitavive with goodness. As a method in the study; draws on review, observation, synthesis and evaluation from the extensive literature. It is examined experts model and approaches (Jacobs approach, Gehl, PPS, TOD models). In this way is developed a new conceptual model that is included of human priority. It is anticipated that this study will add a different analysis-interpretation in public space studies.

3. A System Perspective To Urban Public Space, Livable Interface/Interspace Discussion

The spaces within the city constitute the different systems of the city and the public life within these systems (Köknar, 2001). In an urban settlement, streets, squares, neighborhoods, buildings-courtyards, parks, shopping places and many social encounter places in daily life (Erdönmez, 2005) are reflected in public spaces with developments and innovations by ensuring harmony in social life (Otaner et al., 2005).

With the "New Urbanism Approach" after 1980, the second scale for livable environments is emphasized to make settlements, neighborhoods and corridors suitable for pedestrian accessibility. In this context, public policies are being developed that support the reorganization of urban centers and towns within a harmonious metropolitan area. It is emphasized that the avenue-streets with neighborhoods and corridors and the squares with gathering areas are important components that improve the quality of life and provide space creation. (Elshater, 2012).

Therefore, the areas other than the building that make up the urban space should not only be perceived as a pedestrian transition place, recreational area or social activity area, but should also be known as meaningful and attractive corners that allow you to spend time without making changes in place and time (Gehl, 2001; Amin, 2006; Özer, 2014). Francis (1987) developed the "participatory landscape" interpretation for these transition areas where the visual relationship and values of human movement are intertwined and the internal-external interaction is experienced (Perinçek, 2003). In this context, transition areas should be examined through a new concept "interface/interface" (Gehl, 2001; Madanipour, 2003; Cilliers et al., 2015).

In urban life, urban spaces other than public and private property, especially houses and workplaces, form the spaces. (Karner, 2015). Intermediate spaces are social spaces that develop between housework and social life in daily life (Hulme et al., 2006). Intermediate spaces can be defined as neighborhoods, streets, roads, pavements, arcades, passages, shopping areas, squares, recreational areas, playgrounds, park areas and green areas as spaces between buildings. They are places that support pedestrian use by adding diversity and mobility to the urban space with their functions (Özsel, 2009). Luz (2001), characterizes interspaces as transition areas, space between building, communication and route areas.

The construction of the interior and exterior in a flow in the whole of urban space has enabled the concept of "following the interior space to the outside and following the exterior space for the exterior space with the concept of ambiguous spaces in spatial continuity (Taskın, 2012). Lynch (1960), stating that "interior" perception in the city covers open spaces rather than building, defined it as areas that direct human movement and activity.

Ashara (1983) refers to these ambiguous gaps between the architectural product and the urban exterior, which divides and unites the interior and exterior, the public and the private, as transition spaces. According to Gehl, although these volumeless spaces between private and public are part of the urban landscape fabric (Gehl, 2001; 2010), they are often constrained by sloppily adjacent facade arrays and constitute urban interfaces known as problems in today's cities (Bala, 2006). In terms of urban landscape design, interfaces are usually the elements in front of the building frontends and the units between the buildings on the street. From an architectural point of view, exterior facade elements such as windows and openings, balconies, building material texture and color, recesses-protrusions, eaves, porches, canopies, tarpaulins, etc. on the facades of the building are also elements that add rhythm and visual effect to the space for residents and pedestrians (Bloomberg et al., 2013).

In some spaces, interfaces are associated with perception and the term ownership. They constitute an unexpected control inside and out, a perception of ownership by those who come and go and reside. This unexpected control can create a sense of trust in the space or on the street, or a sense of attachment for the people who use the space. The best examples of this are; urban landscaping reinforcements, trees, fences, garden walls, etc., which allow some external uses in cafes, shops and arcades, are provided with structural reinforcements associated with the details on the facade of the building (Karner, 2015; Paasch,

2015). Lynch (1960) stated that especially the ground floors of buildings (veranda, eaves, etc.) create a positive and negative perception of space as volumeless spaces that provide internal-external interaction (Köknar, 2001; Perinçek, 2003; Karner, 2015). These volumeless spaces in the form of public interfaces can develop according to the formal shape, superficial and mass formation of the space as closed, semi-closed and open (Table 5) (Köknar, 2001; Perinçek, 2003). It can show superficial and mass formation features. While creating a facade arrangement, facade element, facade openings from a superficial point of view, a transition space can establish a proportional relationship between human and structure by creating a mass movement in the form of edge arrangement, protrusion and bay windows (Özsel, 2009).

Therefore, it is necessary to evaluate the gaps in the city as different systems of the city and to consider them as connection points that make up the system (Köknar, 2001). The consensus of many experts is that streets and alleys are the networks that make the city livable and walkable (Appleyard, 198; Krier 1984; Jacobs, 1993; Gehl, 2001; Montgomery, 2003). Squares are gathering areas used by citizens on special occasions for social, cultural, political and commercial purposes. Neighborhoods, which are the basic units of the local scale, are places that reflect the social values of the society as well as the physical characteristics of the city that direct the development of the cities (Özdal and Özdede, 2012). Here, volumeless spaces with superficial and massive formations, static activities; sitting, resting, eating and drinking, watching etc. active activities; waiting, walking, learning etc. can be specified as urban niches that provide opportunities for socialization. This interaction between interior-exterior, public-private enriches public life by increasing both the ongoing vitality in the urban space and the vitality of the uses within the building (Özsel, 2009).

In the post-1980 New Urbanism movement, public policies were developed that supported the reorganization of urban centers and towns within a harmonious metropolitan area. The "New Urbanism Approach" is based on making neighborhoods and corridors suitable for pedestrian accessibility. In this context, there is a need for public policies that support the reorganization of urban centers and towns within a harmonious metropolitan area. Interfaces/interspaces are systemic parts and urban networks ranging from micro scale to macro scale (Figure 1) (Özdal, 2010; Elshater, 2012).

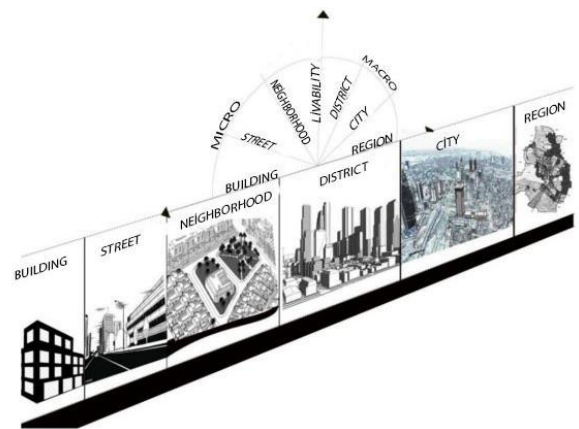


Figure 1. Systemic view of livable urban space (Developed by Aydemir Kırkık, 2018 was taken from the Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

In terms of urban space integrity, it is necessary to examine these network systems in the form of part-whole, change-transformation, social memory, locality-awareness (Polat et al., 2006).

3.1 Models and Approaches Developed on Livable Interface/Interspace

The Habitat III conference and the United Cities and Local Governments Middle East and West Asia Regional Meeting (UCLG) target the public spaces that make up the city's networks as tools for cultural, economic, political, social democratization and protection of city rights. Puvendra Akkiah's speech that "cities create public spaces, but public spaces create successful cities" confirms that urban space is a set of systems and shows that the social character in city life can only be achieved by creating livable humane cities (UCLG, 2016).

With the search for livability in 1980, New Urbanism models such as sustainable city, smart city, slow city are the beginning of a process of public awakening in the rediscovery of the public spaces of cities all over the world and in the creation of high-quality urban environments for people. In this context, while the idea of physically compact city development, form, infrastructure, transportation, functionality prevails, social activity, needs, satisfaction, adaptability, socio-spatial interaction, etc. the requirements of being human and the norms of social behavior are gaining importance (SAGP SA, 2002).

Many of the experts working on interface/intermediate spaces from the past to the present (Figure 2) (Conzen, 1960, Lynch, 1960; Whyte, 1980; Punter, 1991; Appleyard, 1981; Gehl, 2001; Karner, 2015) have proposed different approaches to the city and the nature of urban space. Conzen (1960) stated that the street system, land layout and building pattern would give quality to city life. Lynch (1960) emphasized that form and function in the city would bring human mobility. Punter (1991) stated that the built environmental order can create human-first environments by establishing a relationship with spatial meaning, while Whyte (1980) stated that the avenue/streets should be considered together with environmental and social issues as a livable intermediate space/interface. According to Whyte (1980), structures and openings in urban space should be considered together. Montgomery (1998), on the other hand, examines the perception of urban space and place in three components: action (activity), built environment and meaning (Figure 2). According to him, the cities in which one lives can develop through "places" bearing the traces of the established culture. In addition to the people, events and structures that have left their mark on history, the perception characterized by the city's unique natural, cultural morphology and today's people makes sense of the place (Montgomery 1998; Muriby, 2007; Bilsel, 2002). In addition, Karner (2015), examines it as place, use, identity and mentioned the importance of "human" perception for a holistic approach in public reality.

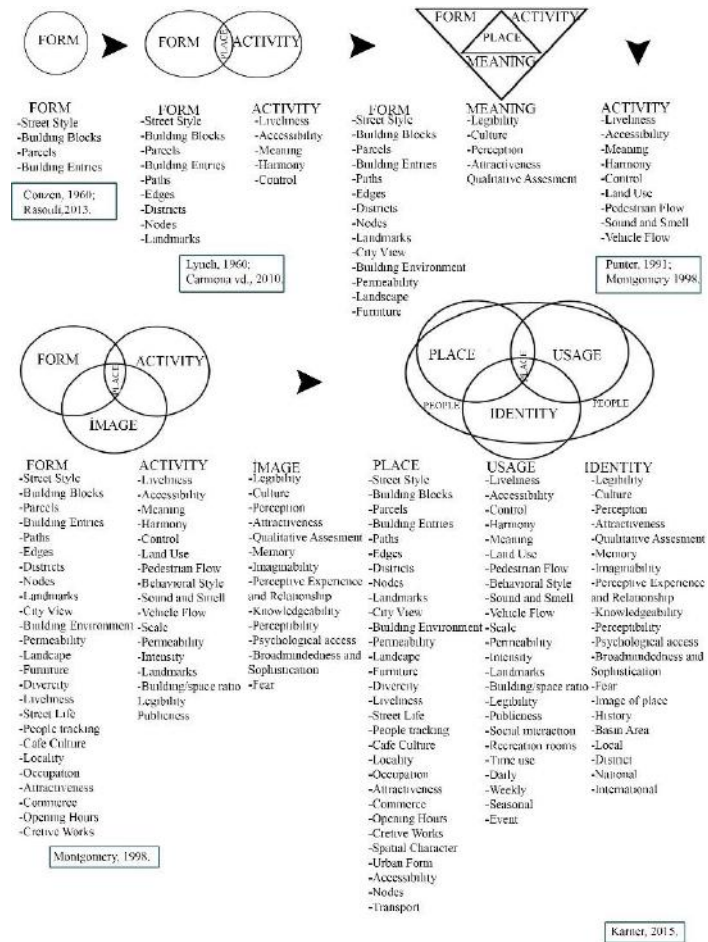


Figure 2: Model/approaches created by experts on livable interface/interspaces (Aydemir Kırkık, 2018).

In the models and approaches developed after 1980 (Jacobs approach, Gehl model, PPS model and TOD model), the idea of developing livable urban public spaces was taken as basis. After the "New Urbanism", importance was attached to the avenue-street relationship in terms of the functionality of the urban space, and the proposal to calm the traffic to reduce automobile dependence was developed and the boulevards were turned into attraction points of human density. In this context, it has become necessary to consider squares as binding corridors (Amare, 2014; Bertlin, 2014; Steuteville, 2016). Especially in buildings, by withdrawing the back or side facades, human-scale traditional zones are created with trade-supporting sidewalks, arkad, porch, veranda, etc. interfaces on the front faces of the buildings, and old buildings that are about to be abandoned with modernization in historical environments are revived (Siegel, 2016).

The Jacobs Approach; It is seen that it strongly supports the new principles of Urbanism. Jacobs (1993) drew attention to the environmental damage caused by housing projects and highways in the urbanizing world. He evaluated the relationship between public and private based on the street-avenue example He referred to the interaction between the building facade and the space as "the eyes watching the street" (Jacobs, 1993). In the new urbanization process, it has initiated an environmental movement for the human-first planning of cities with its protectionist approach (PPS, 2015). Jacobs (1993) emphasizes four features in the development of livable interfaces/interspaces.

These are; the city as an ecosystem, mixed land use, diversity, belonging (Figure 3).



Figure 3. Highlights of the Jacobs approach (Developed by author; was utilized from Jacobs, 1993; Wickersham, 2001; Lupton, 2008; PPS, 2015).

Inspired by the environmental movement initiated by Jacobs, Gehl and the PPS Model were developed. Gehl (2001) defines the characteristics of the spaces that support the activity through the questions "Where and how do people walk, stay, talk, sit?" Gehl turns to spatial designs that support livable public space, supporting pedestrian flow, static activity that invites social interaction. In this context, especially the soft edges between parks and public spaces increase the interaction of people (Jaffe, 2014).

The Gehl model focuses on three characteristics in successful public spaces. These are; human scale, landscape at eye level, public life (Gehl, 2001; 2010; 2013). In terms of human scale, Gehl (2001) states that integrity is achieved through accessibility measures based on improving successful and pedestrian functionality in the city. In this context, it refers to a city form that includes mixed functions such as different types of housing, shops, schools, public buildings, etc. around a 10-minute walk (Bertlin, 2014). He drew attention to the human senses in the comprehension of social relations in the physical environment and states that the senses allow to experience urban space through perception. Drawing attention to occupancy and gaps in perceiving urban space, Gehl (2001) also touches on the importance of building heights and distances between buildings. It states that the ratio of h/l, expressed as height (h), width (l), allows perceptual inference such as inclosure, confinement and disappearance, etc. in public and urban space.

Gehl (2001) evaluates the environment "with pedestrian perception" within the scope of eye-level landscaping. Here, he states that the relationship of the structure with the ground plane is a factor that increases the view of the pedestrian. Gehl (2010) takes protection, comfort and satisfaction as the basic criterion in offering a meaningful environment to people with the landscape criterion at eye level (Bertlin, 2014).

Gehl (2001; 2010) considers the features that make up the public life of the city and transform the city into a livable "place" on the basis of the relationship between comfort, protection and satisfaction, and considers them holistically in 12 criteria (Figure 4) (Gehl, 2001; Gehl et al., 2013; Svarre et al., 2015).

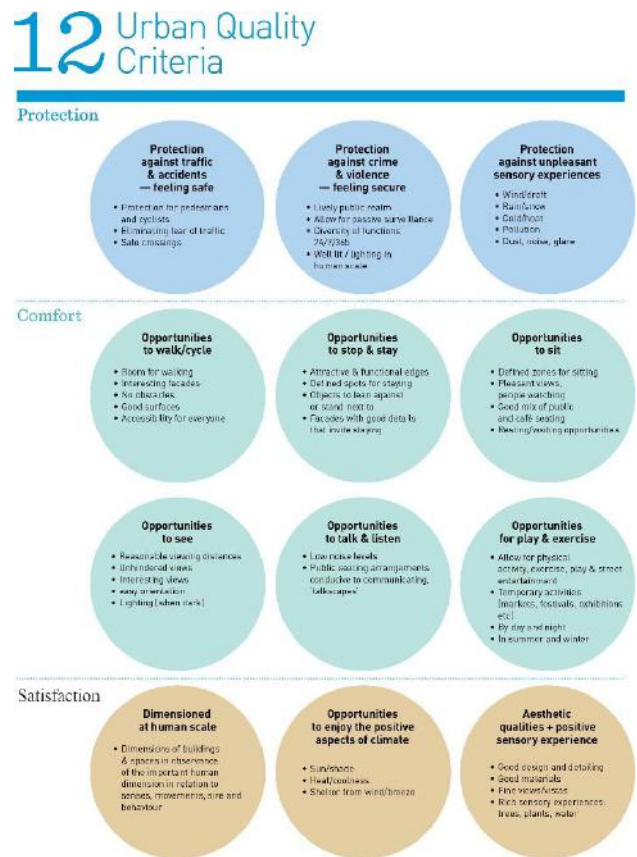


Figure 4. Criteria of GEHL model (Svarre et al., 2015).

Gehl (2001) emphasizes the "human-scale" approach of urban space, recognizing that the work done in the past to improve public life represented the physical existence of the city rather than its psychological existence.

PPS (Project Public Spaces) model; it has emerged as a continuation of both a process and a philosophy (PPS, 2010). Whyte (1980) developed as a result of his long-standing "street life project" and his "space creation" research on how better public spaces could be. The PPS model is an enlightenment for the management and planning of green spaces. It aims to increase the quality of life by establishing social bonds between people (Halu, 2010; Cilliers et al., 2015). The PPS model can also be expressed as the "process of creating a quality place" where people want to live, play, have fun (Wyckoff, 2014). The PPS model is not only to produce better structures and environments, but also to establish a connection between where people live culturally, socially and physically and themselves (PPS, 2015).

The PPS model uses stories about how people value a place, based on the "spirit of the place. In the PPS model;

"If you plan the city for cars and traffic, if you create car-dense settlements, if you plan for people and places, you create living spaces where people are located by producing places to live" prevails.

PPS model criteria; It includes sub-criteria in the headings of access-correlation, comfort-image, sociality, use-activity (Figure 5).



Figure 5. PPS model criteria for questioning public quality (PPS, 2015).

Inspired by the Jacobs and Whyte approaches, the TOD (Transit Oriented Development) model is the resulting community-type development model in order to bring solutions suitable for permanent street landscaping, pedestrian-assisted building forms and bicycle, public transportation. The TOD model includes cycling, public transport, open green space creation, mixed land use, demand management, and community engagement (Jacobson et al., 2008; Barte et al., 2013) (Şekil 6).



Şekil 6. TOD model (Barte vd., 2013).

When the Jacobs, Gehl, PPS, TOD models are examined, it is understood that livable interfaces/interspace can create permanent "places" in human perception with qualities such as walkable environments, public reality, human scale, vitality, permeability, transparency and imaginability, etc. In addition, among the models mentioned, especially in the GEHL model, it is seen that individual behavior maps are followed through the Questions "who", "where", "what is doing". It is based on these questions to create spaces where people stop and spend time by adding innovative spatial organizations to the city that has no place.

4. Conclusion and Recommendations

In national and international reports such as Habitat III, Vision 2023, etc., although the effort to "protect its own identity on a global scale" prevails in questioning urban space, emphasis

is placed on healthy, safe, accessible interfaces with high livability (Sezgin, 2016).

Therefore, the common opinion of many experts such as Conzen (1960), Lynch (1960), Whyte (1980), Punter (1991), Montgomery (1998), Jacobs (1993), Gehl (2001), (Karner, 2015), etc., who believe that urban spaces should be designed for and within people, is that "space cannot be considered independently of human beings, and that urban space should be considered together with human in terms of the physical environment/behavior relationship". In the livable interface/interspace model proposed in this study;

- Human-centered built environment in terms of urban form and movement,
- Transportation system that facilitates urban life, accessibility, walkability, well-resolved infrastructure connectivity and public infrastructure facilities that increase the availability of space,
- Activities that bring vitality to the mixed function and space
- A systemic view that emphasizes the locality and awareness of the space, questions human satisfaction, increases social interaction and includes participation + technology including developing information and communication technologies is taken as a basis.

In the developed livable interface/interface model, different expert studies; Montgomery's (1998; 2003) criterion of public reality and imaginability, Jacobs' (1993) avenue-street view of the city as an ecosystem that examines urban space in the form of systems, and a high sense of security-belonging, Gehl's (2001) criterion of protection and comfort, which increases the possibilities for people to come together, from Whyte's (1980) PPS model, inspired by human behavior, sociality that improves street life, diversity and image principles that give meaning to the city, from the TOD model, public transportation, active pavement structure, etc. that characterize the accessibility of urban space were taken into account (Figure 7 and Figure 8).

JACOBS	GEHL MODEL	PPS MODEL	TOD MODEL
City as Ecosystem	Comfort Room for walking Opportunities to stand/sit Opportunities to sit Pleasant views, people watching Resting Opportunities Opportunities for play and exercise Conducive to communicating Talkspaces	Sociability Diversity Management Neighborhoodly Cooperative Walk, coming Stewardships	Bicycle /walk Public Transport
Mixed Land Use	Protection Protection against traffic and accidents "feeling safe" Protection against crime and violence "feeling secure" Protection against unpleasant sensory experiences	Access/Linkages Connected Accessible Walkable Proximity Convenient	Public Open Space
Diversity	Enjoyment Insun Olcegi Sun/shade Heat and Coolness Shelter/Beam wind/Rain/etc Aesthetics qualities + positive sensory experiences	Comfort/Image Attractive Historic Safe Sittable Walkable Sanitation	Mixed Land Use Active sidewalk
Belonging		Uses/Activities Sustainable Fun Local Real Vital Special Active	Demand Management Participation

Figure 7. Jacobs, Gehl, PPS, TOD model-approaches used in the suggestion of livable interface/interface models (Developed by Aydemir Kırkık, 2018 was utilized from Jacobs, 1993; Barte et al., 2013; Svarre et al., 2015; PPS, 2015).

Article 5 of the European Landscape Convention emphasizes that "people are an important component of the environment". Therefore, in addition to the qualities that should be in the urban space, one of the important criteria that provides integrity to livable interfaces/interspaces is the "human" dimension. In his study, Gehl (2001) asks the question "who is doing where and what?" and emphasizes the need to monitor human movement in interfaces/interspaces.

In this study the developed model consist of spatial and social analysis (Figure 8). The criteria for the development of feature-based spatial quality were determined as three main heading. This headings are nature/built environment, activity and meaning. In this study, it is determined as quantitative criteria of livable interspace/interface (accessibility, legibility, perceptibility, permeability, liveliness, attractiveness, historicalness, diversity, locality and as the following physical criteria of the urban space). On the other hand, qualitative criteria is survey analysis and cognitive mapping that monitor human movement under the human (people) heading of the model.

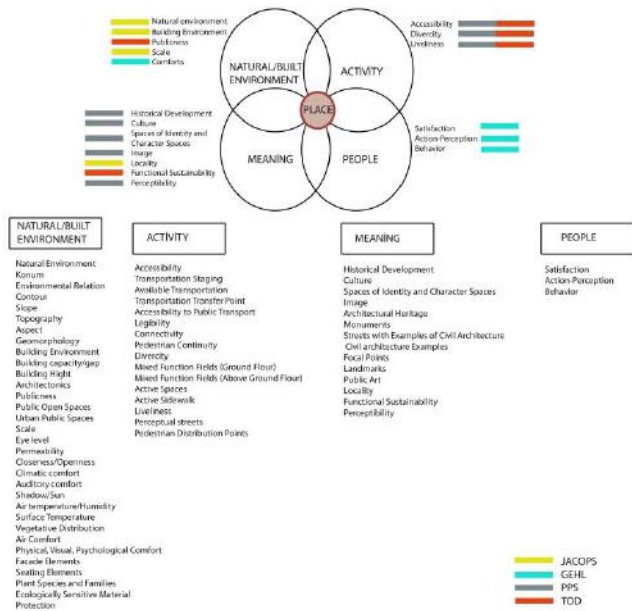


Figure 8. Developed Livable interface/interspace model proposal (Developed by Aydemir Kırkık, 2018).

In the new trend of urbanism after 1980, priority is given to the development of public policies that support the reorganization of urban centers and towns within a harmonious metropolitan area. In the transition from micro scale to macro scale, livability at the city scale addresses the relationship of urban communities with the existing urban structure and the systems between urban networks.

Livable interfaces/interspaces should create "interaction areas with high sense of place that respond to changing and developing social needs". When people feel themselves as a part of the environment in which they live, space acquires meaning and shows a livable "place" feature.

In Habitat III Conference 2015, Habitat III 2016, Ministry of Environment and Urbanization Supported Vision 2023 and Search Conference, it was stated that the different themes

expected from the livable city, including the quality of public spaces, common urban environments, space creation, walkable environment, should be reconsidered. In particular, the Search Conference emphasizes the development of "livable human-first cities" where the structures that make up the environment and the spaces in between are considered holistically. Within the scope of this study, a conceptual model proposal was developed that evaluates urban space in a multidimensional way based on the expert opinions, approaches and models and concepts they have developed (Jacobs approach, Gehl model, PPS model and TOD model, etc.) that have studies on the quality of urban space.

It is conceived of the developed model proposal will be a guiding guide in public space studies by questioning human-space interactions and place perception through the phenomenon of publicity in creating livable cities. In the model developed within the scope of the study, an approach that evaluates "participation and satisfaction" within the system has been developed, based on the need to monitor human movement in urban space design and planning. Therefore, interface/interspace are networks that construct the urban system. In this context for livable cities of the spatial characteristics of the networks that construct the whole must be capable of meeting human needs.

References

- Amin, A. (2006). *The Good City*. Urban Studies 43, pp.1009-1023.
- Amare, S. (2014). *Enhancing Livability of Squares and Streets: The Case of Romanat District*. (Published Master Thesis). Mekelle CBD, Mekelle, Tigray, pp.32.
- Appleyard, D., (1981). *Livable Streets*. Berkeley University of California Press.
- Ashihara, Y. (1983). *The Aesthetic Townscape*. MIT Press, Cambridge.
- Baday, Ö.N. (2011). *Modern Kent Mekanlarında Mahallenin Konumu*. (Published Master Thesis). Selçuk University, Konya.
- Bala, a.h. (2006). Mimarlık-şehirçilik, bina-kent, iç-dış, özelsel-kamusal arasında: kentsel arayüzler. *Yapı mimarlık-kültür-sanat dergisi*. Vol. 293, 44-49.
- Barte, P. and Mulukutla, P. (2013). Parking and Transit Oriented Developments Presentation, The HUB, WRI INDIA. <http://wricitieshub.org/contributors/paul-barter> [09.05.2016].
- Bertlin, J. (2014). *Social Sustainability from the perspective of three concept: human scale, the city at eye level and public life*. (Published Degree Project In Urban And Planning). Advanced Cycle Stockholm, Kth Royal Institute Of Technology School Of Architecture And The Built Environment, 29-33
- Bilsel, G. (2002). Kent Kültürü - Kültürel Süreklilik ve Yaşanılabilir Kentsel Mekan Kavramı Üzerine, Kentleşme ve Yerel Yönetimler Sempozyumu. *Çukurova Üniversitesi Adana Kent Konseyi-Yerel Gündem 21 Yayınları*.(5). 107-114.
- Bloomberg, M., Burden, A., Burney, D., Farley, T. and Khan, J. (2013). *Shaping the Sidewalk Experience, Active Design*, Newyork, NYC.
- Carmona, M., Tiesdell, S., Heath, T., and Oc, T., (2010). *Public places public spaces: The dimensions of urban design*. Architectural press, UK. <http://webdosya.csb.gov.tr/csb/dokumanlar/mpgm0002.pdf>. [20.04.2016]

- Cilliers, E.J., Timmermans, W., Goorberg, F. and Slijkhuis, J.S.A. (2015). The Story Behind the Place: Creating Urban Spaces That Enhance Quality of Life, *Applied research in Quality of Life*. 10(4), 589-598.
- Conzen, M.R.G. (1960). *Alnwick, Northumberland: A Study in Town Plan Analysis*, IBG Monograph No. 27, London.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü. (2016). Kentsel Tasarım Rehberlerinin Hazırlanması.
- Elshater, A. (2012). New Urbanism Principles Versus Urban Design Dimensions Toward Behavior Performance Efficiency In Egyptian Neighbourhood Unit. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (68), 826-843.
- Erdönmez, E. (2005). Açık Kamusal Kent Mekânlarının Toplumsal İlişkileri Yapılandırmadaki Rolü, Büyükdere-Levent-Maslak Aksı. (Published PHD Thesis). Yıldız Teknik University. İstanbul, 22.
- Francis, M. (1987). Urban different meanings attached to a public park and community gardens. *Landscape journal* (6), 101-102.
- Gehl, J. (2001). *Life Between Buildings, Using Public Space*. Washington – Covelo – London: Island Press, 13.
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Island Press, 26.
- Gökgür, P. (2008). *Kentsel Mekânda Kamusal Alanın Yeri*. Bağlam Yayıncılık, İstanbul.
- Jacobs, J. (1993). *Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümlü ve Yaşamı*. çev. B. Doğan, Metis Yayıncılık, 150-173.
- Jacobson, J. and Forsyth, A. (2008). Seven American TOD: Good Practice for Urban Design in Transit-Oriented Development Projects. *Journal of Transport and Land Use* 1(2), 51-88.
- Jaffe, R. (2014). Urbanism Hall Of Fame: Jan Gehl Integrates Humanity in to Urban Design. <http://thecityfix.com/blog/urbanism-hall-fame-jan-gehl-integrates-humanity-urban-design-copenhagen-cities-for-people-dario-hidalgo/>. [15.02.2016].
- Halu, Z.Y. (2010). Kentsel Mekan Olarak Caddelerin Mekansal Karakterinin Yürünebilirlik Bağlamında İrdelenmesi-Bağdat Caddesi örneği. (Published Master of Architecture Thesis). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hulme, M. and Truch, A. (2006). The role of Interspace in Sustaining Identity. *Knowledge-Techonology - Policy/Spring*. 19 (1), 45-53.
- Karaca, S., Siper, N. (2011). Kentsel Mekânda Kamu Yararı Arayışı ve Kültürel Planlama. *Toplum ve Demokrasi*. (11), 75-96.
- Karner, M. (2015). *From Interspace to Interface Shaping Public Life*. (Published Master of Architecture Thesis). Delft University of Technology, Mekelweg.
- Kaya, E. (2003). *Kentleşme ve Kentlileşme*. İlke Yayıncılık, İstanbul.
- Kırık Aydemir, K.P., (2018). *Yavaş Kent Hareketi Üzerinden Yaşanabilir Aramekan/Arayüz Geliştirmede Bir Model Önerisi: İstanbul/Beşiktaş-Sinanpaşa Mahallesi Örneği*. (Published PHD Thesis). Bartın University. Bartın.
- Krier, R. (1979). *Urban space*. Rizzoli.
- Köseoğlu, E. (2011). Kent Mekânına İlişkin Kuramsal Bakışlar: Rob Krier, Christopher Alexander ve Bill Hillier. *İdeal Kent Dergisi*. (5), 96-111.
- Kökner, S.B. (2001). *Mekansal Arayüzlerin Kente ve Yaşama Katımları üzerine bir inceleme*. (Published Master Thesis). İstanbul Teknik University, İstanbul.
- Lupton, J.R. (2008). City Planning-and un-planning. http://www.cs.ubc.ca/~udls/slides/city_planning.pdf. [20.08.2016].
- Luz, A. (2001). Places in Between: The transitional Location of Nomadic Narratives. http://www.eki.ee/km/place/pdf/kp5_11_luz.pdf. [20.05.2016].
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. çev. Başaran, İ. (2010). Kent İmgesi. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, ISBN: 978-9944-88-948-3, İstanbul.
- Madanipour, A. (1999). Why are the design and development of public spaces significant for cities?. *Environment and Planning B: Planning and Design* (26), 879-891.
- Madanipour, A. (2003). *Public and private spaces of the city*. 1st.ed. London Routledge.,206.
- Montgomery, J. (1998). Making a city: Urbanity, Vitality and Urban Design, *Journal of Urban Design*. (3), 93-116.
- Montgomery, J. (2003). Cultural Quarters as Mechanism for Urban Regeneration . Part 1: Conceptualising Cultural Quarters. *Planning Practice & Research*. 18 (4), 293-306.
- Mumford, L. (1938). *The Culture of Cities*. New York. Harcourt, Brace and Company.
- Muriby, R., (2007). *The Community Speaks: The Case For Urban Placemaking in A Tod.B.A*. (Published Master of Urban and Regional Planning). University of Texas, Austin.,
- Otaner, F. and Keskin, A. (2005). Kentsel Geliştirmede Kamusal Alanların Kullanımı. *İTÜ Dergisi / A Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4 (1), 107-114.
- Özcan, Y. (2003). Kamusal/Özel Alan Tartışmaları. Genç Hukukçular, Hukuk Okumaları V Birlikler 1, Kurtis Matbaacılık. http://genchukukcular.org/pdfs/birikimler_1.pdf. [08.05.2016].
- Özdal, S.O. (2010). *Küreselleşme Sürecinde Kentsel Tasarımın Değişen Rolü ve Yeni Kentleşme Akımı İlişkisi Üzerine Bir İrdeme*. (Published Master Thesis). Mimarınan University. İstanbul.
- Özdal, S.O. and Özdede, S. (2012). Mevcut Mahallelerin Dönüşümünde Yerele Özgü Çevresel Değerleme Metotlarının Karşılaştırılması. Dünya Şehircilik Günü 36. Kolokiyumu. Bildiri Kitabı, Ankara, 217-231.
- Özer, Ö. (2014). *Kentsel Mekanda Yaya Hareketleri: Morfoloji ve Kentsel Algı'nın Etkisi*. (Published Master PHD Thesis). İstanbul Teknik University, 10-21. İstanbul.
- Özsel, S.B. (2009). *Bina Kentsel Mekan Arayüz Özelliklerinin Kentsel Yaya Mekanlarına Etkisi*. (Published Master Thesis). İstanbul Teknik University, pp. 30.
- Paasch, S. (2015). *Liveable Dimension of Public Spaces: A psychological analysis of health, well-being and social capital in urban squares*. (Published Diploma Thesis). Technische Universität Dresden Faculty of Science Department of Psychology.
- Perinçek, S. (2003). *Kamusal Alan – Kamuya Açık Özel Mekân İlişkisinde Geçiş Bölgeleri*. (Published Master Thesis). İstanbul Teknik University. İstanbul, pp. 53-55.
- Polat, E. ve Bilsel, G. (2006). Mimarının ve Kentin Birlikte Planlanması'nda Farklılaşan Kavramlar Üzerine. *Planlama Dergisi*, (4), pp. 57-67.
- PPS (2010). William H. Whyte, <http://www.pps.org/reference/wwhyte>, [15.05.2016].

- PPS (2015). Jane Jacobs. <http://www.pps.org/reference/jjacobs-2/>[12.06.2018].
- Punter, J. (1991). Participation in the design of urban space. *Landscape design* (200)., pp. 24-27.
- SAGP SA (2002). Public Spaces and Public Life-City Of Adelaide. <http://www.parksleisure.com.au/documents/item/773>. [02.05.2016].
- Sennet, R. (1999). *Gözün Vicdanı Kentin Tasarımı ve Toplumsal Yaşam*. Ayrıntı Yayınları. ISBN: 978-975-539-262-9, İstanbul, pp. 23-24.
- Sezgin, D. (2016). Tasarımla Daha Güvenli ve Erişilebilir Kentler, Yaşanabilir Şehirler Sempozyumu.
- Siegel, C. (2016). The Progressive roots of New Urbanism, Chapter 3 of The Humanists Versus the Reactionary Avant Garde: Clashing Visions for Today's Architecture Omo Press. <https://www.cnu.org/publicsquare/progressive-roots-new-urbanism>
- Steuteville, R., (2016). The Four phases of New Urbanism, <https://www.cnu.org/publicsquare/four-phases-new-urbanism-0>. [12.06.2022].
- Svarre, B. and Gehl, J. (2015). Senses Scale and 12 Quality Criteria, <http://courses.washington.edu/gehlstud/gehlstudio/wp-content/uploads/documents/BirgitteSvarreLecture2015.pdf>. [10.02.2016].
- Taskın, A. (2012). Modern Dünyada Bireyin Mahremiyeti ve Kamusal İlişkisi Üzerine, Adolf Loos ve LeCorbusier Üzerinden. <https://mimaritasarimvelestiri.wordpress.com/2012/05/22/modern-dunyada-bireyin-mahremiyeti-ve-kamusallik-iliskisi-uzerine-adolf-loos-ve-le-corbusier-uzerinden-degerlendirme-2/>, [25.02.2016].
- Tonnellat, S. (2010). *The Sociology of Urban Places Territorial Evolution and Planning Solution: Experience From China and France*, Paris, Atlantis. press:2010.
- UCLG (2016). Democratizing the City Through Public Space. <https://www.uclg.org/en/media/news/democratizing-city-through-public-space>. [11.11.2016].
- Uzun, İ. (2006). Kamusal Açık Mekan-Kavram ve Tarihe Genel Bakış, *Ege Mimarlık*, <http://www.izmimod.org.tr/ege-mim/59/14-17.pdf>.
- Wickersham, J. (2001). Jane Jacob's Critique of Zoning : From Euclid to Portland and Beyond. *Boston College Environmental Affairs Law Review*, 28 (4).,
- Wyckoff, M. A. (2014). Definition of Placemaking:Four Different Types. In: Pznews. Available at: <http://www.pznews.net/media/13f25a9fff8419ffaf2815.pdf>. (10.02.2016).
- Whyte, W. H. (1980). *The social life of small urban spaces*. Conservation Foundation, Washington, D.C.