



SAYI/ISSUE 38  
AĞUSTOS/AUGUST 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: Yıldız 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: Yıldız 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

- The Effect of Gypsophila Extract as Natural Emulsifier on The Steady, Dynamic Rheological Behavior and Microstructural Properties of The Ice Cream Mix*  
Halis KABLAN, Nevzat ARTIK, Salih KARASU, Zeynep Hazal TEKİN, Osman SAĞDIÇ, Hasan CANKURT  
Sayfa: 1 - 7
- Uzaktan algılama verilerinden kentsel büyüme ve yayılma analizi, nüfus projeksiyonu: Köyceğiz örneği, Muğla-Türkiye*  
Cengiz KOÇ, Yıldırım BAYAZIT  
Sayfa: 8 - 15
- Comparison of standard optimization method and multicriteria optimization (MCO) method using intensity-modulated radiotherapy (IMRT) technique for patients with localized prostate cancer*  
Ayşe Gülbin KAVAK, Hatice COŞKUN, Abdullah Tuncay DEMİRYÜREK  
Sayfa: 16 - 23
- Universal ve CNC Kontrollü Torna Tezgahlarında FMEA Yöntemiyle Risk Değerlendirme Uygulaması*  
Hamdi Emre BAĞIRAN, Reşit ERÇETİN  
Sayfa: 24 - 31
- Finansal Verilere İlişkin Tahminleri Açıklamaya Yönelik Yeni bir Model-Agnostik Yöntem ve Uygulaması*  
Samet ÖZTOPRAK, Zeynep ORMAN  
Sayfa: 32 - 39
- Investigation of the Effect of Different Cooking Methods on Conjugated Linoleic Acids in Red Meat*  
Bülent NAZLI, Halime PEHLİVANOĞLU, Bilal ÇAKIR, Muhammed ÇAÇLAR, Chi-ching LEE  
Sayfa: 40 - 46
- Bitcoin Cryptocurrency Price Prediction Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network*  
Ahmad Bilal WARDAK, Jawad RASHEED  
Sayfa: 47 - 53
- Yerlileştirme Faaliyetlerinde Alt Yüklenici Seçimi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi*  
Şeyda TOPALOĞLU YILDIZ, Mertcan ÖZÇELİK, Semih AKABA, Soner ALTAN, Nisa Yağmur BİLGİ, Kaan BODUR, Mehmet Erdem ÇORAPÇIOĞLU  
Sayfa: 54 - 64
- Batma Derinliği Ve Çapları Farklı Olan Zivanaların Deneysel Olarak İncelenmesi*  
Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR, Ali URAL  
Sayfa: 65 - 75
- Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Eğitimindeki Yeri ve Önemi*  
Adem SOLAK  
Sayfa: 76 - 87
- ZnO Katkılı Kitosan Kullanılarak Sulu Çözeltilerde Flor Giderimi*  
Mehmet Semih BİNGÖL  
Sayfa: 88 - 93
- The evaluation of oxidative stress parameters and nitric oxide in healthy and preeclamptic pregnant women*  
Özlem AYDIN BERKTAŞ, Sadettin Oğuzhan TUTAR  
Sayfa: 94 - 98
- 4-Boyutlu Lorentz Minkowski Uzayında Null Olmayan Ortak İzoasimptotik Eğrili Hiperyüzey Aileleri*  
Çiğdem TURAN, Mustafa ALTIN, Hacı Bayram KARADAĞ  
Sayfa: 99 - 109
- The Investigation of the Sensitivity of Monte Carlo Simulation Results to Modelling Approaches for Nuclear Reactor Cores*  
Mohammad ALLAF, Senem ŞENTÜRK LÜLE, Üner ÇOLAK  
Sayfa: 110 - 115

Kentleşme Olgusu, Kanal İstanbul ve Ulaştırma Kaynaklı Ekonomiye Etkisinin Analizi  
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Yunus AYÖZEN

Sayfa: 116 - 121

Döner Kanatlı İHA'larda İçe Eğimli Yerleştirilmiş Pervanelerin Askıda Kalma Direngenliğine Etkisi  
Erol KAYATAŞ, Murat ÇELİK

Sayfa: 122 - 129

Durum Buğdayı Ununun Ekmek Üretiminde Kullanım İmkanlarının Araştırılması  
Görkem ÖZÜLKÜ

Sayfa: 130 - 136

Madencilik işlemlerinde robotların kullanılabilirliğinin araştırılması  
Gökhan KÜLEKÇİ, Faruk ÜNKER

Sayfa: 137 - 142

Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Özgür CENGİZ, Şükriye AKTEPE

Sayfa: 143 - 150

Hava Yaylarında Kullanılan Polyamid 6.6 Kord Bezi ile Güçlendirilmiş Kauçuk Kompozit Yapıların Isı Transfer Özelliklerinin Araştırılması

Hasan KASIM

Sayfa: 151 - 157

Comparison of Long-Short Term Memory and Gated Recurrent Unit Based Deep-Learning Models in Prediction of Streamflow Using Machine Learning

Hüseyin Çağan KILINÇ, Ahmet POLAT

Sayfa: 158 - 164

A Comparison between IM and IPMSM with Same Stator Core for EV and Performance Analysis of IPMSM

Emin Tarik KARTAL, Fatma KESKİN ARABUL

Sayfa: 165 - 172

Non-topological soliton solution of (2+1)-dimensional complex three coupled nonlinear Maccari's model via modified new Kudryashov scheme

Müslüm ÖZİŞİK, Ramazan TEKERCİOĞLU

Sayfa: 173 - 178

Ephemeroptera (Insecta) Fauna of The Western Black Sea Basin

Gülhan ALYANAK, Ayşe TAŞDEMİR, Eylem AYDEMİR ÇİL

Sayfa: 179 - 190

Tarım Makine İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması

Fuat LULE, Vahdettin KOÇ

Sayfa: 191 - 197

Böbrek Görüntülerinde Filtreleme Tekniği Kullanarak Kist Belirlenmesi

Aziz İlyas ÖZTÜRK, Osman YILDIRIM, Yavuz ATEŞ, Ali KURU

Sayfa: 198 - 204

Trambüs Sisteminin Seçimi ve Uygulama Koşullarının Değerlendirilmesi: Malatya Örneği

Tacettin GEÇKİL, Bahadır KARABAŞ, Ceren Beyza İNCE

Sayfa: 205 - 217

Zonguldak İli Çaycuma İlçesinin Geleneksel Cızlama Ekmeği Üzerine Bir Araştırma

Nuran ERDEM, Suleyman GÖKMEN

Sayfa: 218 - 228

İnşaat Sektörü Kapsamında Yapılan Derin Öğrenme Çalışmalarının Bibliyometrik Profili

Zeynep Yeşim İLERİSOY, Elif KILIÇ

Sayfa: 229 - 235

On the Solution of a Nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov Equation

Kenan YILDIRIM

Sayfa: 236 - 239

- Farklı Derin Ötektik Çözücülerin pH ve Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi  
Naciye KUTLU KANTAR  
Sayfa: 240 - 246
- Use of Daylight in Houses and Villas from Modern Architectural Buildings  
Mehmet Sait CENGİZ  
Sayfa: 247 - 258
- Lisans Öğrencilerinin Sürdürülebilir Beslenme Hakkındaki Davranışları ve Bilgi Düzeyleri ile Besin Tercihleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tek Merkezli Çalışma  
Şevval ENGİN, Yonca SEVİM  
Sayfa: 259 - 269
- Yenilikçi Bir Uygulama Olarak Elektrikli Bisiklet Paylaşım Sistemlerinin İncelenmesi  
Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Yunus AYÖZEN  
Sayfa: 270 - 275
- Antosiyanin Stabilite Artırma Metotları: Fenolik Kopigmentasyonu  
Şeyma Nur DEMİRCİ, Banu METİN, Mehmet DEMİRCİ  
Sayfa: 276 - 281
- Entegre Kentsel Su Yönetimi, Kentsel Su Güvenliği ve Değerlendirme Yöntemi Üzerine Bir Çalışma  
Cengiz KOÇ  
Sayfa: 282 - 295
- Sampling Techniques and Application in Machine Learning in order to Analyse Crime Dataset  
Ayla SAYLI, Sevil BAŞARIR  
Sayfa: 296 - 310
- Demirçelik Sektöründeki İşletmelerin İnovasyon Düzeyleri ve Modern Yönetim Tekniklerini Kullanımları Üzerine Bir Araştırma, Hatay İli Örneği  
Emine Vasfiye KORKMAZ, Remziye ALKAN  
Sayfa: 311 - 320
- Sandviç Üretimi, Çeşitleri, Özellikleri ve Ambalajlanması  
Hilal DİKMEN, Özlem ÇABİR, Neslihan POLAT, Osman SAÇDIÇ  
Sayfa: 321 - 328
- 4 Boyutlu Modelde Spinör Tipi İntanton Çözümlerinin Dalgacık Entropisinin İncelenmesi  
Mine AK  
Sayfa: 329 - 334
- Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Biyogaz Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılması ve Etkileri  
Rahman ÇALHAN  
Sayfa: 335 - 340
- Gölgelerin Oyunu: İzdüşümlerin İstatistiksel Çıkarımları ve Türkiye'de Döviz Kurlarını Etkileyen Makroekonomik Göstergeler Üzerine Bir Uygulama  
Yunus GÜRAL, Arzu DEMİRELLİ, Mehmet GÜRCAN  
Sayfa: 341 - 351
- Erzurum Piyasasında Tüketime Sunulan Mahalli ve Endüstriyel Dondurmaların Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması  
Nurullah Zekeriya AKAR, Salih ÖZDEMİR  
Sayfa: 352 - 359
- Navigation Under GNSS Denied Environments: Zero Velocity and Zero Turning Update  
Oğuzhan ÇİFDALÖZ  
Sayfa: 360 - 369
- Öğretmen Adaylarının Öğretim Kalitesi Yeterlik Algılarının Cinsiyet ve Fakülte Açısından İncelenmesi  
Cüneyt ARI, Faruk KARDAŞ  
Sayfa: 370 - 375
- Augmented Reality Aided Pre-Diagnosis Environment For Telemedicine: Superficial Vein Surveillance System  
Hüseyin Aşkın ERDEM, Semih UTKU  
Sayfa: 376 - 385

- DNA Damage and Antioxidant Defence Responses in The Brain and Liver Tissues of Rainbow Trout Infected With Different Bacteria*  
Fatih KURT, Aslı ÇİLİNGİR YELTEKİN  
Sayfa: 386 - 391
- Performance Comparison of YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 algorithms : A Case Study for Poultry Recognition*  
Oğuzhan KIVRAK, Mustafa Zahid GÜRBÜZ  
Sayfa: 392 - 397
- Microscopic Evaluation of Balloon Variety Jack Dempsey (Rocio octofasciata Regan, 1903) Larval Ontogeny*  
Ahmet SEPİL, Asude ÇAVUŞ, Seda İLMEN ÇEVİK  
Sayfa: 398 - 405
- PEG-DA/Concanavalin A Biyokompozit Hidrojel Sentezi ve Kanser Tedavisi İçin Araştırılması*  
Sabiha DEMİRCİ, Fatma AYHAN  
Sayfa: 406 - 414
- Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi*  
Selçuk USTA  
Sayfa: 415 - 427
- Free Vibration Analysis of Isotropic Plates Using Regressive Ensemble Learning*  
Oğuzhan DAŞ, Duygu BAĞCI DAŞ  
Sayfa: 428 - 434
- The Effect of Lithium Toxicity on the Goldfish (Carassius auratus) Brain*  
Aslı ÇİLİNGİR YELTEKİN, Sama EL-TEKRETİ  
Sayfa: 435 - 439
- The role of tourism, energy consumption, urbanization, and economic growth on ecological footprint: The Turkish case*  
Gülden BÖLÜK, Murat GÜVEN  
Sayfa: 440 - 449
- Prediction of Metacognition Awareness of Middle School Students: Comparison of ANN, ANFIS and Statistical Techniques*  
Seda GÖKTEPE, Sevda GÖKTEPE YILDIZ  
Sayfa: 450 - 461
- Aşı Okuryazarlığı ve Covid-19 Pandemisinde Yaşama Yansıyan Tereddüt, Aşı reddi ve Aşı karşıtlığı Üzerine Bir Araştırma*  
Gulsah KINALI, Betül Kübra ÖRGEV, Cemil ÖRGEV, Bayram TOPAL, Hasan ŞAHİN  
Sayfa: 462 - 472
- Siklon Ayırıcılarda Dalma Boru Çapının Siklon Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*  
Ayşegül BALIKCI, Tarkan KOCA  
Sayfa: 473 - 478
- Classification of Cardiovascular Diseases Using Electronic Nose Dataset with Artificial Neural Network Classifier*  
Cemaleddin ŞİMŞEK, Ahmet YILMAZ, Bilge Han TOZLU, Önder AYDEMİR, Yusuf KARAVELİOĞLU  
Sayfa: 479 - 483
- Minimization of Labor Costs in Textile Manufacturing with Dynamic Programming*  
Hanefi GEZER  
Sayfa: 484 - 490
- Novel Extruder Heat Block Designs to Improve the Thermal Efficiency of 3D Printers*  
Hasan DEMİR  
Sayfa: 491 - 500

# İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Machine Learning based Natural Language Processing for Turkish Venue Recommendation Chatbot Application  
Gorkem TOPRAK, Jawad RASHEED  
Sayfa: 501 - 506
- Aydın İlinde Tüketime Sunulan Marullarda E. coli O157:H7 Varlığının Araştırılması  
Nalan TURGUT, Osman KAYA  
Sayfa: 507 - 513
- Some Binary Quasi-perfect Linear Codes Defined by APN Functions  
Seher TUTDERE  
Sayfa: 514 - 519
- İnvazive Mekanik Ventilatörde Hava Miktarını Ölçmek için Hava Ölçme Sensörünün Tasarımı, İmalatı ve Testi  
Mahmut TURHAN  
Sayfa: 520 - 523
- Determination of Micropropagation Performance of Selected Peach-Nectarin Hybrids in In Vitro Iron Stress  
Kübra TEPER, Mansur HAKAN EROL, Belgin BİÇEN, Dicle DÖNMEZ, Songül ÇÖMLEKÇİOĞLU, Sevim GÖK, Özhan ŞİMŞEK, Ayzin KÜDEN, Yıldız AKA KAÇAR  
Sayfa: 524 - 528
- Düz Çatılarda Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Yoluyla Tasarımı ve Performans Karşılaştırılmasının Yapılması  
Süleyman ŞİMŞEK, Muhammed UÇUM  
Sayfa: 529 - 533
- Yapım İşlerinde Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ), Riskler ve Paylaşım  
Hikmet BAYIRTEPE, Özge BİCAN SAYILIR  
Sayfa: 534 - 543
- Galvaniz Kaplamada Banyo Sıcaklığı ve Akım Yoğunluğunun Kaplamanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi  
Süleyman ŞİMŞEK, Batuhan ÇETİN  
Sayfa: 544 - 552



# The Effect of Gypsophila Extract as Natural Emulsifier on the Steady, Dynamic Rheological Behavior and Microstructural Properties of the Ice Cream Mix

Halis Kablan<sup>1</sup>, Nevzat Artık<sup>1\*</sup>, Salih Karasu<sup>2</sup>, Zeynep Hazal Tekin Cakmak<sup>2</sup>, Osman Sagdic<sup>2</sup>, Hasan Cankurt<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Ankara, Turkey, [halis-kablan@hotmail.com](mailto:halis-kablan@hotmail.com), [artik@ankara.edu.tr](mailto:artik@ankara.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-8946-5511; 0000-0001-5583-6719)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Food Engineering, İstanbul, Turkey, [skarasu@yildiz.edu.tr](mailto:skarasu@yildiz.edu.tr), [zhazaltekin@gmail.com](mailto:zhazaltekin@gmail.com), [sagdic@gmail.com](mailto:sagdic@gmail.com) (ORCID: 0000-0002-2324-1865; 0000-0002-3369-3128; 0000-0002-2063-1462)

<sup>3</sup> Kayseri University, Vocational School, Department of Food Technology, Kayseri, Turkey, [hancankurt@kayseri.edu.tr](mailto:hancankurt@kayseri.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-3842-6539)

(İlk Geliş Tarihi 12 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086551)

**ATIF/REFERENCE:** Kablan, H., Artık, N., Karasu, S., Tekin Cakmak, H. T., Sagdic, O. & Cankurt, H. (2022). The Effect of Gypsophila Extract as Natural Emulsifier on the Steady, Dynamic Rheological Behavior and Microstructural Properties of the Ice Cream Mix. *European Journal of Science and Technology*, (38), 1-7.

## Abstract

In this study, it was aimed to use the gypsophila extract as an emulsifier in ice cream production. For this purpose, the effect of different ratios of gypsophila extract on the steady, dynamic rheological properties and microstructural properties of the ice cream mix was aimed. All of the ice cream mix samples showed non newtonian shear thinning character. K and n values were calculated by modeling the rheological properties of the steady shear exponent with the law model. The K value of the frozen samples decreased to a certain level with the addition of gypsophila extract, but showed the highest value in the sample containing 0.3% gypsophila extract and 0.1% lecithin. All of the ice cream mix samples exhibited viscoelastic solid character. In the ice cream mix samples produced with gypsophila extract, the oil droplets showed a more homogeneous distribution in the form of small particles. The results of this study showed that the gypsophila extract could be used successfully as an emulsifier in ice cream production.

**Keywords:** Rheology, steady shear, microstructural, gypsophila extract.

## Çöven Estraktının Dondurma Miksinin Steady, Dinamik Reolojik Davranışları Ve Mikroyapısal Özelliklerine Etkisi

### Öz

Bu çalışmada çöven ekstraktının dondurma üretiminde emülgatör olarak kullanım potansiyeli amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı oranlarda çöven ekstraktının dondurma miksinin steady, dinamik reolojik özellikleri ve mikroyapısal özellikleri üzerine etkisi amaçlanmıştır. Dondurma miksi örneklerinin tamamı non newtonian shear thinning karakter göstermiştir. Steady shear reolojik özellikleri üssü yasa modeli ile modellenerek K ve n değerleri hesaplanmıştır. Dondurma örneklerinin K değeri çöven ekstraktı ilavesiyle belirli bir düzeye kadar azalmış ancak en yüksek değerini %0.3 çöven ve %0.1 lesitin içeren örnekte göstermiştir. Dondurma miksi örneklerinin tamamı viskoelastik katı karakter sergilemiştir. Çöven ekstraktı ile üretilen dondurma miksi örneklerinde yağ damlacıkları küçük partiküller halinde ve daha homojen dağılım göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları çöven ekstraktının dondurma üretiminde emülgatör olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rheology, yatışkan faz, mikroyapısal özellik, gypsophila ekstraktı.

\* Corresponding Author: [artik@ankara.edu.tr](mailto:artik@ankara.edu.tr)



## 1. Introduction

Gypsophila (soapwort) belongs to the genus Gypsophila of the Caryophyllaceae family and is a perennial herbaceous plant with stemless and many-branched leaves, white flowers, and pile-rooted (Yıldırımli, 2002). Plants of the genus, Gypsophila mainly grow in the Mediterranean region, especially Turkey, Caucasus, northern Iraq, and northern Iran (Acebes, Daz-Lanza, & Bernabé, 1998). In Turkey, 56 species belonging to 60 taxa (out of 126 species in the World) of the Caryophyllaceae family naturally grow. 46 of these species, provided that a few of them have commercial importance. The soapwort plant's commercially used roots and rhizomes are dried and sold. Soapwort extract is obtained by boiling soapwort roots and rhizomes in water. The main component of soapwort extract is saponin. Battal, Sarı, and Veliöğlu (2003) reported that total saponin was 11.58-19.58% in soapwort extracts.

Many food manufacturers are trying to replace synthetic food ingredients with more natural and sustainable alternatives. The word saponin is derived from the Latin word *sapo*, which means soap (SIROHI, SINGH, & PUNIYA, 2007). Saponins are natural surfactants and the physical properties of saponins in solution are due to their amphiphilic nature. The saponins act as emulsifiers, their surfactant is very strong, they form stable foams. All saponins have one or more sugar chains attached to the hydrophobic aglycon (triterpenoid or steroid) in common (Vincken, Heng, de Groot, & Gruppen, 2007).

A stable white foam is generated when the soapwort extract is stirred at high speed (Çağlayanlar, 2006). In Turkey, soapwort extract has been used for the foam formed in the food industry in the production of tahini halva, sultan (pasa) delight and nougat. This extract, which is turned into foam, bleaches the color of the product, prevents the separation of sesame oil from the halva as an emulsifier, ensures the desired structure of the product, increases the volume, and thus ensures the formation of characteristic features specific to the product (Çam & Topuz, 2018; Veliöğlu, 2001). Çelik, Yılmaz, Işık, and Üstün (2007) studied the effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. In this study, the effect of soapwort extract on rheological properties of ice cream.

Ice cream is an oil-in-water emulsion obtained by blending milk with emulsifiers, stabilizers, sugar, and flavoring substances (Boor, 2001). Ice cream is an important food product since it is easy to digest, provides energy, and is high in vitamins and minerals, in addition to being delicious. However, ice cream has a very complex physicochemical system. The stability of this system is an important factor in the production of quality and suitable ice cream. For the quality of ice cream production, the ice cream mix must be balanced in mass and well-processed, as well as emulsifier and stabilizer substances added to the content. These substances are added to the mixture in small quantities and are effective in the physical quality of the ice cream and the formation of the viscous structure (Elife, ERDEM, & TEKİN, 2017).

The aim of this study is to reduce the cholesterol in the blood in terms of human health (Kim et al., 2003), hemolytic (facilitating oxygen transport), prevent cancer (Gurfinkel & Rao, 2003), and trigger bone development (Yamaguchi, Ono, & Ma, 2001), which is reported to have positive effects, as well as technically stable foam forming, bleaching, emulsifier in products. The aim of the study is to measure the changes in the

chemical, physicochemical, rheological, textural, and sensory properties of ice cream by incorporating the saponin extract containing the glycoside called saponin, which can act as an antiseptic and reduce the surface tension, in the production of ice cream, provided that the maximum dose that can be taken daily is not exceeded, and to determine whether it is beneficial to use the lye extract in ice cream production. For this purpose, it will be revealed how the foaming feature of the litter's effect on the volume increase of the ice cream, the emulsifier feature on the icing, oil release, microstructure, texture properties (especially the gumminess), and the bleaching feature on the color, as well as the effects of the use of lint extract on the first dripping time and total melting time of the ice cream.

## 2. Material and Method

The cow milk used in this study were obtained from local farm. XG and egg yolk powder (EYP) were obtained from Sigma-Aldrich (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO), and the sugar, milk, and milk cream were purchased from the local market.

### 2.1. Preparation of ice cream samples

The formulation data to be used in ice cream production was shown in Table 1. Full-fat cow's milk is used in the production of ice cream. Milk dry matter was increased up to 14.5 percent by evaporation at 100 C. 40 g of Emulsifier, 30 g of Guar gum, 30 g of European salep and 30 g of Osmaniye salep were taken into an empty container. Afterwards, 1.8 kg of sugar was added to the same container. When the temperature of the mixture came to 85°C, pasteurization was performed for 30 minutes. The pasteurized mixes were cooled to 65-70°C and taken into hoppers. It was cooled a little more in the boxes and rested at +4°C for 1 night. For the trial production of gypsophila extract in ice cream, 1, 2.5, 5, 4 mL of gypsophila extracts per 1 kg of mix were separately whipped with 50 g of sugar in 50 ml of hot water for 10 minutes. Soup mixture, whose volume was increased by whisking, was poured into the ice cream machine with the mix. The ice cream mix was mixed in the ice cream machine for 10 minutes. Packaged ice creams were left to rest at -18°C for 1 day.

### 2.2. Rheological Analyzes

Flow behavior and dynamic rheological behavior of ice cream mixes were tested by a stress and temperature-controlled rheometer (MCR 302, Anton Paar, Australia). A parallel plate probe (PP50, Anton Paar, Australia) was utilized for steady and dynamic rheological analysis. All measurements were conducted in triplicated at 25 °C.

#### 2.2.1. Flow Behavior Rheological Properties

The steady shear rheological properties of ice cream mixes were determined using a parallel plate probe (plate diameter 50 mm, gap size 0.5 mm) with a shear rate in the range 0.1–100 (1/s). The measurement was conducted at a temperature of 25 °C, and three parallel measurement were performed for each sample. The data obtained from steady shear the rheological analysis were modeled by the power law model, and nonlinear regression was utilized to estimate K and n values;

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

where, the  $\tau$  value shows the shear stress (Pa),  $K$  the consistency coefficient (Pa.sn),  $\dot{\gamma}$  the shearrate ( $s^{-1}$ ), and  $n$  the flow behavior index.

### 2.2.2. Dynamic Rheological Properties

Parallel plate configuration was applied for the dynamic rheological analysis of ice cream mix samples. Before the frequency sweep test, the amplitude sweep test was conducted at a range between 0.1% and 100% strain to observe the linear viscoelastic region. The frequency sweep test was carried out in the frequency range of 0.1–10 Hz and angular velocity of 0.1–64 ( $\omega$ ). Elastic modulus ( $G'$ ) and viscose modulus ( $G''$ ) corresponding to angular velocity and frequency values were tested.

### 2.2.3. Microstuructural Properties

A light microscope (Olympus BX41, Japan) at 100 time magnification was used to examine morphology of the emulsions before and after thermal loop test. One droplet of sauce sample without dilution was placed on microscope slide and covered by a coverslip. Different areas of slides were observed to evaluate the emulsion stability thoroughly.

### 2.2.4. Statistical anlysis

All Ice cream samples were prepared in three replications, and four parallel measurements were carried out from each replicate. The mean and standard deviation values were shown. Statistical analysis were performed wit the Statistica software package (IBM, USA). To compare the mean values of the rhepological parameters, the duncan multiple comparison test conducted ( $p < 0.05$ ). The Power Law model parameters of steady shear rheological analysis were estimated by using of nonlinear regression analysis. Statistica software program (Stat Soft Inc., Tulsa, UK) was utilized to conduct nonlinear regression analysis.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Steady Shear Rheological Properties

Flow behavior rheological properties of ice cream mixes at 4°C and 25 °C are shown in figure 1. The rheological properties of the ice cream mix are one of the most important parameters

affecting the quality of the final product. Having a certain level of consistency of the ice cream mix will affect the melting properties. As can be seen from the figure, a decreasing increase in the shear stress value was observed depending on the increasing shearrate. In this case, a decrease in the viscosity of the ice cream mixes was observed due to the increase in shear rate. All of the ice cream mixes showed a non-Newtonian shear thinning flow characteristic. This flow characteristic is typical flow behavior of ice cream mixes. Similar results have been reported in the literature (Karaman & Kayacier, 2012; Martin, Odic, Russell, Burns, & Wilson, 2008; Tekin, Sahin, & Sumnu, 2017). This type of flow behavior of the ice cream mixer can be explained by the deformation observed in the structure together with the weakening of the interaction between protein and stabilizers due to the increased shear rate (Sharma et al., 2017).

Steady shear flow rheological behavior of the ice cream mixer was modeled using the power low model to make a numerical comparison in order to make a numerical comparison. Power low model parameters are shown in Table 2. The fact that the  $R^2$  value is greater than 0.99 shows that the power low model can be used successfully in modeling the stady shear rheological properties of ice cream mixes. All of the  $n$  values of the samples were found to be less than 1. This result is a different indication that the shear thinning of the samples exhibited a flow behavior characteristic. The values for  $n$  of the samples varied between 0.258 and 0.290. These value ranges are expected values from ice cream mix samples. A value of  $n$  below 0.2 means that the samples exhibit excessive consistency or weak gel, which is undesirable in terms of ice crystals and melting profile in the final product. The  $K$  values of the samples were determined as 6.97-9.38  $\text{Pa.s}^n$  and 4.59-6.31  $\text{Pa.s}^n$  for 4°C and 25°C, respectively. A significant difference was observed between the  $K$  values of the samples. As the lecithin level decreased, the  $K$  value decreased, while the  $K$  value showed the highest value in the sample containing 0.3 gypsophila extract and 0.1 lecithin. The lowest  $K$  value was obtained from the sample containing purely gypsophila extract. These results indicate that gypsophila extract does not have as much effect as lecithin when used alone, but they can have a synergistic effect when used together. This synergy can be explained by the interaction observed between the hydrophilic groups of lecithin and saponin of the gypsophila extract. The  $K$  values of the samples at 4°C were found to be significantly higher than the  $K$  values at 25 °C. This result is expected. With the increase in temperature, the interaction of macromolecules with water weakened, and the viscosity and consistency value decreased.

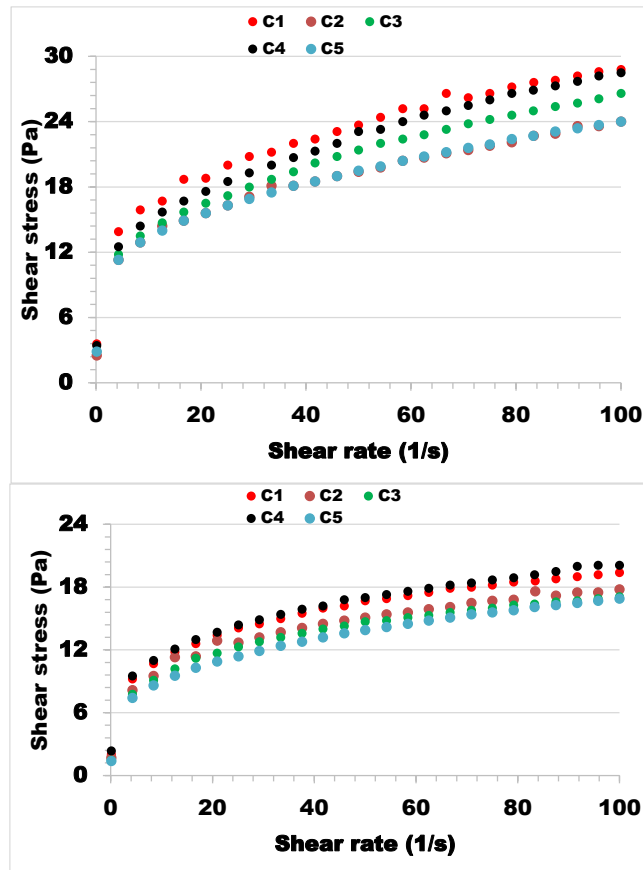


Fig1 Steady Shear rheological properties of ice cream mixes.

Table 1. Power law model parameters corresponding to steady shear rheological analysis.

Temperature	Samples	Power Law model parameters		
		K	n	R <sup>2</sup>
4 °C	S1	8.7273 <sup>b</sup>	0.2588	>0.99
	S2	7.1016 <sup>c</sup>	0.2611	>0.99
	S3	6.9773 <sup>d</sup>	0.2875	>0.99
	S4	9.3812 <sup>a</sup>	0.2909	>0.99
	S5	7.0181 <sup>cd</sup>	0.2643	>0.99
25 °C	S1	6.1842 <sup>b</sup>	0.2509	>0.99
	S2	5.5897 <sup>c</sup>	0.2539	>0.99
	S3	5.2452 <sup>d</sup>	0.2595	>0.99
	S4	6.3103 <sup>a</sup>	0.2531	>0.99
	S5	4.5948 <sup>e</sup>	0.2832	>0.99

S1, S2, S3, S4, S4 and S5 indicate the samples formulated with 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 and 0.0 lecithin respectively. The different lowercase letter in same column shows statically differences.

### 3.2. Dynamic Rheological Properties

Fig 2 demonstrated the dynamic rheological behavior of the ice cream mix samples. Steady shear rheological properties, as well as dynamic rheological properties, is an important rheological property for ice cream mix. Since it contains stabilizer in the ice cream mix structure, it is expected to exhibit viscoelastic solid behavior. As a result of the interaction of the stabilizers with water and other macromolecules, the mobility of the continuous phase is restricted and the rheological character emerges in the solid structure. As can be seen from the figure, the  $G'$  value is higher than the  $G''$  value in the entire frequency range. This result shows that all of the ice cream mix samples exhibit viscoelastic solid character. The similar results were reported from previously

published studies (Atik, Cakmak, Avci, & Karasu, 2021; Toker et al., 2013). A decrease was observed in  $G'$  and  $G''$  values as the slurry ratio in the stuffing increased. These results are in agreement with steady shear rheological properties. Another result to be explained based on the figure is that the difference between  $G'$  and  $G''$  values is low in the low frequency range. As the frequency value increases, the difference between  $G'$  and  $G''$  values increases. This increase in the  $G'$  value, which appears due to the increase in the frequency value, shows the deformation in the structure. These results showed that all of the samples could meet the rheological properties expected from ice cream mixes.

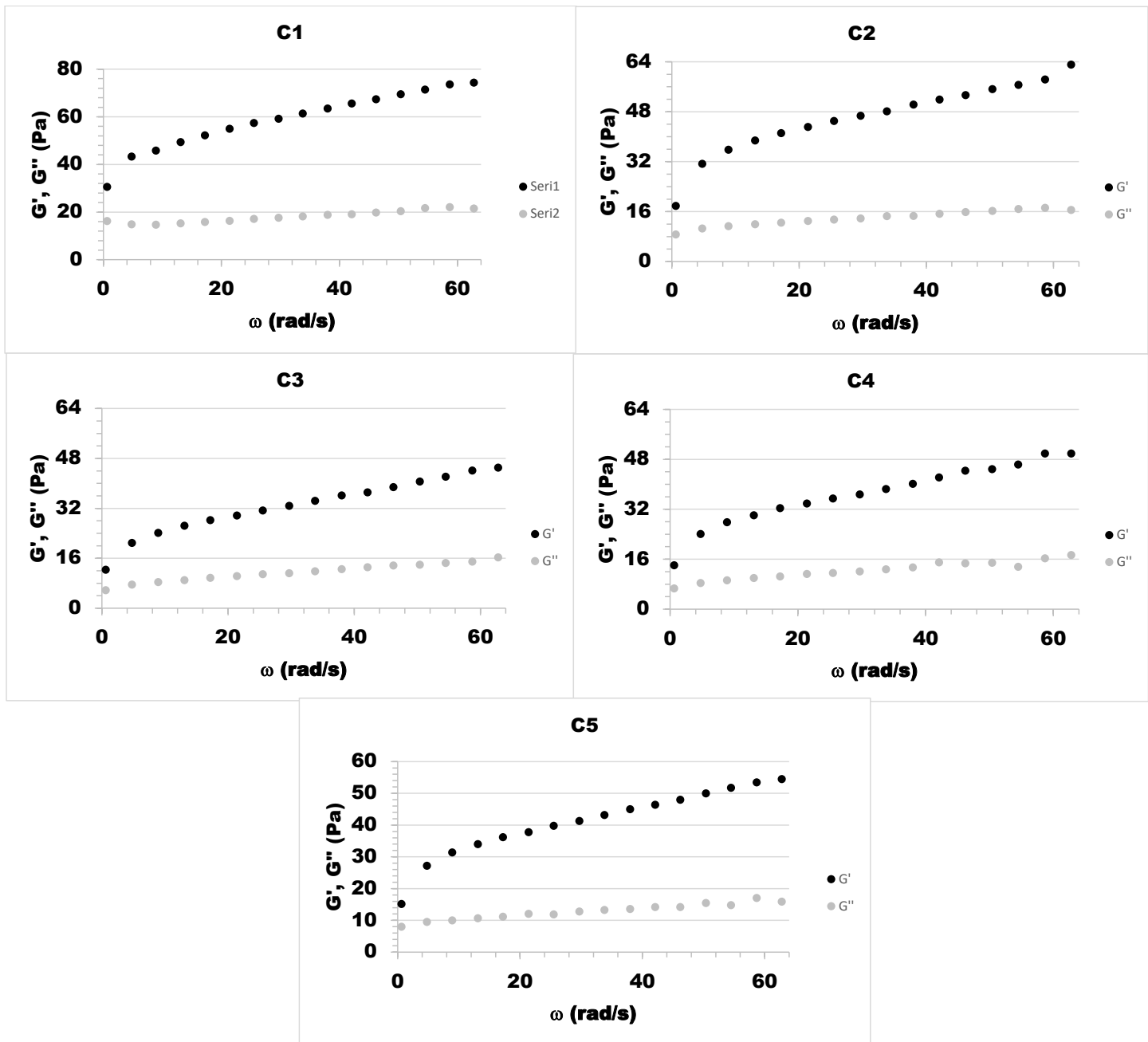


Fig 2. Dynamic rheological properties of ice cream mix.

### 3.2. Micro Structural Properties

Ice cream mix is an emulsion in which oil droplets are dispersed in the continuous phase of water. In this type of emulsion, the size of the oil droplet and the distribution of the droplet size is an important factor that determines the stability of the emulsion. For ice cream mixes, it is desired that the oil droplets were homogeneously dispersed in the water as small particles. Thus, an Oil/Water emulsion with high emulsion stability is obtained. Emulsifiers are one of the important factors affecting oil droplet size and distribution. Figure 3 shows the oil droplet distribution. It has been observed that the oil droplet size exhibits different behavior according to the emulsifier type used. It has been clearly seen that the oil particle sizes of the samples containing the gypsophila extract showed a lower and more homogeneous distribution. This indicates that the gypsophila

extract can be used to improve the emulsion properties of the ice cream mix. The lower droplet size and homogeneous distribution of the oil droplet can be explained by the saponin richness of the gypsophila extract. The difference between hydrophilic and lipophilic balance values of saponin and lecithin may have caused this result. The saponin showed a high HLB value, resulting in higher adsorption kinetics at the oil-water interface and ultimately a decrease in oil droplet size (Salminen, Bischoff, & Weiss, 2020). The easy dissolution of saponin in water through its hydrophilic groups and its interaction with other components may have had a positive effect on the oil droplet distribution in the ice cream mix. Similar results have also been reported in the literature (Jarzebski et al., 2020; Salminen et al., 2020).

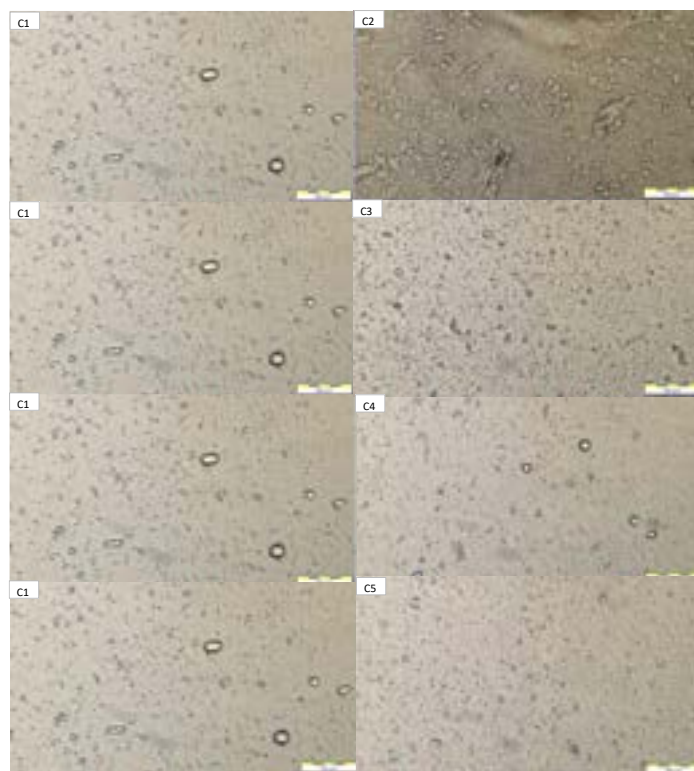


Fig 3. Microstructural properties of ice cream mix.

### Conclusion

In this study, the potential of using gypsophila extract as an emulsifier in ice cream production was investigated. All products showed shear thinning and viscoelastic characteristics expected from ice cream. The oil droplets of the products containing Çöven extract were lower and the oil droplets were more homogeneously distributed. The results of this study showed that the cayenne extract can be used successfully in ice cream production.

### References

- Acebes, B., Daz-Lanza, A. M., & Bernabé, M. (1998). A saponin from the roots of *Gypsophila bermejoi*. *Phytochemistry*, 49(7), 2077-2079.
- Atik, I., Cakmak, Z. H. T., Avci, E., & Karasu, S. (2021). The Effect of Cold Press Chia Seed Oil By-Products on the Rheological, Microstructural, Thermal, and Sensory

- Properties of Low-Fat Ice Cream. *Foods*, 10(10). doi:10.3390/foods10102302
- Battal, H., Sari, F., & Velioglu, S. (2003). Çöven ekstraktı üretimi üzerine bir araştırma.
- Boor, K. J. (2001). ADSA foundation scholar award fluid dairy product quality and safety: looking to the future. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 1-11.
- Çağlayanlar, E. (2006). The effect of soapwort extract on starter performance, dough rheological properties and bread quality.
- Çam, İ. B., & Topuz, A. (2018). Production of soapwort concentrate and soapwort powder and their use in Turkish delight and tahini halvah. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1), e12605. doi:https://doi.org/10.1111/jfpe.12605
- Çelik, İ., Yılmaz, Y., Işık, F., & Üstün, Ö. (2007). Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. *Food Chemistry*, 101(3), 907-911. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.063

- Elife, K., Erdem, T. K., & Tekin, F. B. (2017). Maraş Dondurması Üretimi ve Üretilen Dondurmanın Fizikokimyasal Niteliklerinin Belirlenmesi. *Caucasian Journal of Science*, 4(1), 45-56.
- Gurfinkel, D. M., & Rao, A. V. (2003). Soyasaponins: The Relationship Between Chemical Structure and Colon Anticarcinogenic Activity. *Nutrition and Cancer*, 47(1), 24-33. doi:10.1207/s15327914nc4701\_3
- Jarzebski, M., Siejak, P., Smulek, W., Fathordoobady, F., Guo, Y., Pawlicz, J., . . . Pratap-Singh, A. (2020). Plant Extracts Containing Saponins Affects the Stability and Biological Activity of Hempseed Oil Emulsion System. *Molecules*, 25, 2696. doi:10.3390/molecules25112696
- Karaman, S., & Kayacier, A. (2012). Rheology of Ice Cream Mix Flavored with Black Tea or Herbal Teas and Effect of Flavoring on the Sensory Properties of Ice Cream. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3159-3169. doi:10.1007/s11947-011-0713-5
- Kim, S.-W., Park, S.-K., Kang, S.-I., Kang, H.-C., Oh, H.-J., Bae, C.-Y., & Bae, D.-H. (2003). Hypocholesterolemic property of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* extracts in human body. *Archives of pharmacal research*, 26(12), 1042-1046.
- Martin, P. J., Odic, K. N., Russell, A. B., Burns, I. W., & Wilson, D. I. (2008). Rheology of commercial and model ice creams. *Applied Rheology*, 18(1). Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000254452800009
- Salminen, H., Bischoff, S., & Weiss, J. (2020). Formation and stability of emulsions stabilized by *Quillaja saponin*-egg lecithin mixtures. *Journal of Food Science*, 85(4), 1213-1222. doi:https://doi.org/10.1111/1750-3841.15104
- SIROHI, S., SINGH, N., & PUNIYA, A. (2007). Promising Plant Secondary Metabolites for Enteric Methane Mitigation and Rumen Modulation.
- Tekin, E., Sahin, S., & Sumnu, G. (2017). Physicochemical, rheological, and sensory properties of low-fat ice cream designed by double emulsions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(9). doi:10.1002/ejlt.201600505
- Toker, O. S., Karaman, S., Yuksel, F., Dogan, M., Kayacier, A., & Yilmaz, M. T. (2013). Temperature Dependency of Steady, Dynamic, and Creep-Recovery Rheological Properties of Ice Cream Mix. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 2974-2985. doi:10.1007/s11947-012-1005-4
- Velioğlu, S. (2001). Çöven Ekstraktı Üretim Koşullarının Belirlenmesi ve Standardize Edilmesi Üzerine Araştırma. TÜBİTAK, Tarım Ormancılık ve Gıda Teknolojileri Araştırma Grubu (TOGTAG), Proje(2467).
- Vincken, J.-P., Heng, L., de Groot, A., & Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, 68(3), 275-297. doi:https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.10.008
- Yamaguchi, M., Ono, R., & Ma, Z. J. (2001). Prolonged intake of isoflavone-and saponin-containing soybean extract (Nijiru) supplement enhances circulating  $\gamma$ -carboxylated osteocalcin concentrations in healthy individuals. *Journal of health science*, 47(6), 579-582.
- YILDIRIMLI, Ş. (2002). The chorology of the Turkish species of Caryophyllaceae, Casuarinaceae, Celastraceae, Ceratophyllaceae and Cercidiphyllaceae families. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 9(2), 175-199.



# Uzaktan Algılama Verilerinden Kentsel Büyüme, Yayılma Analizi ve Nüfus Projeksiyonu: Köyceğiz Örneği, Muğla-Türkiye

Cengiz Koç<sup>1\*</sup>, Yıldırım Bayazıt<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000 0001 7310 073X) cengizko9@gmail

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Türkiye (ORCID: 0000-0002-8699-4741) yldrmbyz88@gmail

(İlk Geliş Tarihi 22 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1091854)

**ATIF/REFERENCE:** Koç, C. & Bayazıt, Y. (2022). Uzaktan Algılama Verilerinden Kentsel Büyüme, Yayılma Analizi ve Nüfus Projeksiyonu: Köyceğiz Örneği, Muğla-Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 8-15.

## Öz

Hızlı ve plansız kentleşmenin olduğu bir kentin altyapısını çevresel açıdan uygun şekilde planlayabilmek için kentsel büyüme ve modelini incelemek zorunludur. Geçirimsiz yüzey alanı, kentleşmeyi ve kentsel çevre kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Geçirimsiz yüzeylerin dinamik değişimlerinin zamanında ve doğru bir şekilde analiz edilmesi kentsel imar planlaması için büyük önem taşımaktadır. Köyceğiz ilçesi, Muğla ilinin en eski yerleşimlerinden birisi olup, mevcut yapısını, tarihsel statüsünü ve kültürel dokusunu korumaktadır. Bu çalışmada, Köyceğiz ilçesinin nüfus artışı, kentleşme ve arazi kullanım değişiklikleri arasındaki ilişki, şehir görüntüsüne etkisi ve geçirimsiz yüzey alanlarındaki artış incelenmiştir. İlçenin genişleme ve arazi kullanım değişiminin farklı desenlerini belirlemek için 2004 ve 2019 yıllarına ilişkin uydu görüntüleri ve nüfus sayım verileri kullanılmıştır. Köyceğiz'deki kentsel genişleme 15 yıllık bir süreç (2004-2019) için değerlendirilmiştir. Haritalar 2004 ve 2019 yılları arasında kentsel veya gelişmiş arazi miktarının yıllık %3,25 arttığını, boş alanların %0,28, yeşil alanların %0,44 azaldığını göstermiştir. İlçe merkezi için kentsel gelişme indeksi 1,36 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel genişleme, CBS, Uzaktan Algılama, Köyceğiz.

## Population Projection, Urban Growth and Spread Analysis from Remote Sensing Data: The Case of Köyceğiz, Muğla-Türkiye

### Abstract

In order to be able to plan the infrastructure of a city where rapid and unplanned urbanization occurs, it is necessary to examine the urban growth and its model. Impermeable surface area is an important factor affecting urbanization and urban environmental quality. Timely and accurate analysis of the dynamic changes of impermeable surfaces is of great importance for urban zoning planning. Köyceğiz district is one of the oldest settlements of Muğla province and preserves its current structure, historical status and cultural texture. In this study, the relationship between population growth, urbanization and land use changes, the effect on the city image and the increase in impermeable surface areas of Köyceğiz district were examined. Satellite images and census data for the years 2004 and 2019 were used to identify different patterns of expansion and land use change in the district. Urban expansion in Köyceğiz was evaluated for a period of 15 years (2004-2019). Maps show that between 2004 and 2019, the amount of urban or developed land increased by 3,25% annually, while non-plant areas decreased by 0,28% and green areas by 0,44%. The urban growth index for Köyceğiz was calculated 1,36.

**Keywords:** Urban expansion, GIS, Remote Sensing, Köyceğiz.

\* Sorumlu Yazar: [cengizko9@gmail.com](mailto:cengizko9@gmail.com)

## 1. Giriş

Peyzajdaki geçirimsiz yüzey miktarı çevresel kalitenin önemli bir göstergesidir. Geçirimsiz yüzeyler, suyun sızmadığı, öncelikle ulaşım ve bina çatılarıyla ilişkili herhangi bir yüzey olarak tanımlanır (Bauer vd., 2007). Ekonomik kalkınma sürdürülebilir arazi yönetimini gerektirir. Arazi kullanımı/razi örtüsü türleri hakkında mekansal bilgiler ve bunların zaman serilerindeki değişiminin belirlenmesi şehir planlaması ve yeni imar faaliyetleri için önemli araçlardır (Ewing vd., 2002). Kentsel büyüme, farklı kentsel büyüme türlerini kapsayan bir mekansal zaman birleştirme süreci olarak tanımlanmıştır (Wu vd., 2016). Ayrıca, kentsel büyüme, insan yapımı ve doğal unsurların birleşik etkilerinden kaynaklanmaktadır (Lambin vd., 2001). Antropojenik yöner, kentsel gelişime ek olarak öncelikle nüfus ve ekonomik büyüme içerir, ancak mekansal heterojenliğe katkıda bulunan doğal faktörler çoğunlukla toprak özelliklerini ve topografyayı içerir. Her iki bileşen de kentsel büyüme ve değişimde çeşitli arazi örtüsü/kullanım sınıflarına dönüşümleriyle sonuçlanan peyzaj özelliklerini anlamlı bir şekilde değiştirebilir (Lambin vd., 2001). Kentsel genişleme ve büyüme, arazi örtüsü/kullanım düzenini, site yoğunluğunu ve arazi değerlerini değiştirerek birçok sosyal, çevresel ve ekonomik soruna ve engelle neden olmaktadır (Katyambo & Ngigi, 2017). Kentsel genişlemenin ekonomik, politik ve sosyal büyümenin bir göstergesi olarak değerlendirildiği, ekili araziler ve kentin yeşil alanları üzerinde istenmeyen etkileri olduğu ileri sürülmektedir (Karanam & Neela, 2017). Birçok çalışma, kentsel genişlemenin yol açtığı peyzaj dönüşümünün sürdürülebilir kalkınmayı tehdit eden kritik çevre sorunlarına yol açtığını ortaya koymuştur (Li & Yeh, 2004; Liu & Weng, 2009). Kentsel genişlemenin etkisi altındaki doğal değişimler çok yönlü olup, zaman ve mekan içerisinde belirlenir (Andersson, 2009). Kentsel büyümenin dinamik doğası, kentin demografisi ve ekonomisine ek olarak, etkilenen bölgelerin arazi ve arazi kullanımına bağlıdır (Zhou & Zhao, 2013). Kentsel büyüme, çoğunlukla beton, asfalt ve minerallerden oluşan insan yapımı peyzajlar üzerinde ağırlıklı olarak bitki örtüsü, toprak ve kayalardan oluşan peyzajlarda dönüşümlere yol açmaktadır (Andersson, 2009 ; Bhatta, 2009 ; Zhou vd., 2014). Kentsel büyümenin temel sorunu, peyzajların gelişmiş arazi kullanımına dönüştürülmesidir (Batisani & Yarnal, 2009). Dünya yüzeyinin kentsel olmayan araziden kentsel araziye dönüşümü geri döndürülemez bir süreç haline gelmekte (Carrion-Flores & Irwin, 2004; Seto vd., 2011) bu nedenle, tarım arazisi kaybı, ısı adası etkisi, sel tehlikesi ve habitat parçalanması gibi ciddi problemler yaratmaktadır (Bhatta vd., 2010; Myronidis vd., 2016). Uzaktan algılama, kentsel genişlemeyi ve özelliklerini görüntülemenin, izlemenin, analiz etmenin ve karakterize etmenin önemli bir yolu olarak tanımlanmıştır. Kentsel dönüşümlerin farklı düzeylerde izlenmesi ve tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wu vd., 2016; Karanam & Neela, 2017; Pimazar vd., 2018). Uzaktan algılama, zamansal ve yüksek mekansal doğruluğa bağlı kentsel büyüme araştırması için önemli bir veriler sağlamaktadır (Soffianian vd., 2010). Arvind vd. (2006), Lunetta & Balogh (1999), Yuan vd. (2005), Zubair vd. (2006), arazi örtüsünün sınıflandırılması için çok zamanlı uydu görüntülerinin değerini göstermiştir. Uzaktan algılama ve GIS teknolojisinin güçlü gelişimi kentsel alan gelişimini incelememize yardımcı olmaktadır. Bu çalışma, Köyceğiz ilçesinin 2004 ve 2019 yılları arasındaki (15 yıl) nüfus projeksiyonu, kentsel genişleme ve arazi kullanımı

değişiklikleri arasındaki ilişkiyi ve ilçe peyzajı üzerindeki etkilerini analiz etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### Çalışma Alanı

Köyceğiz ilçesi, Türkiye'nin güneyinde, Ege ve Akdeniz'de sahili olan Muğla ili sınırları içerisinde olup, 36° 58' 17" kuzey enlemi ve 28° 41' 20" doğu boylamı arasında yer almaktadır (Şekil 1). Köyceğiz, Marmaris ve Fethiye ilçeleri arasında, Dalaman Havalimanı'na 35 km uzaklıktadır. İlçe adını aldığı Köyceğiz gölü kenarında kurulmuş olup, yüzölçümü 1,758 km<sup>2</sup> dir. Köyceğiz'in doğu ve batı kesimlerinde eşine az rastlanan Günlük Ağaçları (Liquidamber Orientalis) yer almaktadır. Köyceğiz şehrinde Akdeniz iklimi görülmektedir. Köyceğiz'in yıllık ortalama sıcaklığı 16.4 °C 'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 861 mm dir (Koç, 2008). Köyceğiz ilçe merkezinde Gelişim Mahallesi, Gülpınar Mahallesi, Yeni Mahalle ve Ulucami Mahallesi olmak üzere dört mahalle yer almaktadır. Köyceğiz Özel Çevre Koruma (ÖÇK) bölgeleri içerisinde bulunmaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, 2007). Köyceğiz Dalyan bölgesi 12.06.1988 tarihli 88/13019 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı İle Özel Çevre Koruma Bölgesi ilan edilmiş 05.07.1988 tarihli 19863 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Daha sonra 18.01.1990 ve 90/77 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile bölgenin sınırları genişletilerek yeniden belirlenmiş, 02.03.1990 tarih ve 20449 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Özel Çevre Koruma Bölgesi Muğla İli'ne bağlı Köyceğiz ve Ortaca ilçelerinin sınırları içindedir (Kazancı vd., 1992). Köyceğiz yavaş değişen bir yerleşim yeridir ve bunu da Cittaslow ünvanını alarak tescillemiştir. Köyceğiz 2017 yılında bu uygulamaya başvurmuş ve 2019 yılında yavaş şehir uygulamasına kabul edilmiştir (Keskin & Bozyer, 2021). İlçenin en büyük gelir kaynağı tarımdır. Köyceğiz'de yerel halk ekonomik faaliyet olarak genellikle narenciye ve sebze üretimi gibi tarımsal faaliyetler ile hayvancılık, turizm ve ormancılık gibi ticari işler ile ilgilenmektedir ( Köyceğiz Belediyesi Cittaslow Raporu, 2017).



Şekil 1. Köyceğiz ilçesinin konumu (Figure 1. Location of Köyceğiz district)



## Veri Toplama

Kentsel gelişme, kent manzaralarının genişlemesine yol açarak arazi kullanımında değişikliklere yol açmaktadır. Çalışma, özellikle kentin arazi kullanımı değişim kalıplarını ve büyümesini uydu ve demografik verilere dayalı olarak yorumlamaya odaklanmaktadır. Kentleşme ve nüfus değişiminin kentsel genişleme üzerindeki etkisini incelemek için gerekli birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler ve temin edildikleri yerler aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir:

## Uydu Görüntüleri

Çalışmada şehirleşmenin değişimini incelemek için 2004 ve 2019 yıllarına ait 2 adet uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüleri Google Earth uydu görüntülerinden alınmıştır (Google Earth, 2022). Google Earth, global olarak ücretsiz uydu görüntüsü temin edilebilen web tabanlı bir yazılımdır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen uydu görüntüleri bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı olan ArcGIS 10.4.1'de koordinatlarına göre georeferanslandırılarak (Universal Transverse Mercator (UTM) Projeksiyonu European Datum 35N Zone) çalışma alanı sınırlarına kesilmiştir. Uydu görüntüleri Metot bölümünde anlatılan yöntemle göre şehirleşmedeki artışın incelenmesi için hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri (Table 1. Satellite images used in the study)

Uydu Görüntü Tipi	Tarih (yıl)	Mekansal Çözünürlük (m)	Bulut Örtüsü
Google Uydu Görüntüsü	2004 2019	10	%0

## 2.2. Metot

Çalışmada kentsel alanlardaki değişimi incelemek için uydu görüntülerinin sınıflandırılıp anlamlandırılması gerekmektedir. Uydu görüntülerinde farklı özellik tipleri, doğal spektral yansıtma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı sayısal değerler içeren kombinasyonlar oluşturmaktadır. Bu farklılıktan yararlanılarak aynı spektral özellikleri taşıyan yer yüzündeki nesnelere gruplandırılabilir. Sınıflandırma; birçok bilim dalında kullanılan bir karar verme işlemidir. Görüntü sınıflandırma işleminde amaç, bir görüntüdeki bütün pikselleri arazide karşılık geldikleri sınıflar veya temalar içine otomatik olarak atamak, yerleştirmektir. Uydu görüntüleri gibi pixel tabanlı verilerde sınıflandırma Kontrollü (Supervised) ve Kontrolsüz (Unsupervised) olmak üzere iki yöntemle yapılabilir. Kontrolsüz sınıflandırma yönteminde kullanıcı müdahalesi olmadan algoritmalar yardımıyla otomatik olarak kümelendirilmesi temeline dayanmaktadır. Bu yöntem daha çok uydu görüntüsündeki veri tanımlanmadığında başvurulan bir yöntemdir. Ancak, bu çalışmada uydu görüntülerindeki pixel verileri tanımlanabildiğinden kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

## Kontrollü Sınıflandırma Yöntemi

Bu yöntemde çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan yeterli sayıda örnek bölgeler (test alanlar) kullanılarak, sınıflandırılacak her bir cisim için spektral özellikleri tanımlı özellik dosyaları oluşturulur. Bu dosyaların görüntü verilerine uygulanması ile her bir görüntü elemanı

(piksel), hesaplanan olasılık değerlerine göre en çok benzer olduğu sınıfa atanmaktadır. Çalışmada uydu görüntüleri incelenerek piksellerin sınıflandırılması maximum likelihood yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem, sınıflar için eş olasılık eğrilerinin tanımlanmasına ve sınıflandırılacak piksellerin üyelik olasılığı en yüksek olan sınıfa atanması ilkesine dayanır. Çalışmada 3 arazi sınıfı için sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Arazi sınıflandırmasında kullanılan arazi tipleri (Table 2. Land types used in land classification)

Sınıflandırma	Tanımlama
Orman	Yaprak döken, yaprak dökmeyen ormanlar, çalılar ve karışık ormanlar
Çıplak Arazi	Bitki örtüsü yok, likenler/yosunlar
Yerleşim Alanı	Kırsal evler, kentsel binalar

Bu çalışmada ArcGIS 10.4.1 yazılımı kullanılarak Maximum Likelihood Classification araç modülü kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen sınıflara göre 2004 ve 2019 yıllarına ait uydu görüntüleri için ayrı ayrı kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Orman, çıplak arazi ve yerleşim alanları belirlendikten sonra alanları hesaplanarak ne kadar yer kapladığı tespit edilip yıllara göre artış ve azalışları hesaplanmıştır. Böylece Köyceğiz merkez ilçelerinde 2004 yılından 2019 yılına kadar şehirleşmedeki değişim ortaya konmuştur. Çalışmada uygulanan yöntemin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada uygulanan yöntemin akış şeması (Figure 2. Flow chart of the method applied in the study)

## Nüfus Verileri ve Hesaplama

Bölgedeki nüfus artışının şehirleşmeyle olan ilişkisini ortaya koyabilmek için Köyceğiz ilçesinin merkez mahallelerinin 2007-2020 yıllarına ait nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) veri tabanlarından alınmıştır (TÜİK, 2020). Köyceğiz merkez mahalleleri için 2050 yılına kadarki 5 yılda bir nüfus projeksiyonları Türkiye İller Bankası yöntemine göre yapılmıştır (Bartlett 1993; Anonymous 2002). Bu yöntemde kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$P_{future} = P_{past} (1 + i)^N \quad (1)$$

Eşitlikte,  $P_{future}$ , gelecekteki nüfus,  $P_{past}$ , geçmişteki nüfus,  $i$ , yıllık nüfus artış oranı, ve  $N$ , projeksiyon yılları,

## Kentsel Büyümenin Analizi

Kentsel genişlemenin yıllık oranı (K), kentsel genişlemeyi değerlendirmek için kullanılan önemli bir göstergedir ve aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır (Xiao vd., 2006).

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

Eşitlikte, K, kentsel genişlemenin yıllık oranı (%),  $U_b$ , incelenen yıllarda son yıla ait kentsel alan (ha),  $U_a$ , incelenen yıllarda ilk yıla ait kentsel alan (ha), T, a zamanından b zamanına kadar geçen süre (yıl)

## Kentsel Genişleme İndeksi

Kentsel genişlemenin nüfus artışına oranı olarak bir kentsel yayılma indeksi (USI) hesaplanmıştır (OECD, 2013). Kentsel genişleme indeksi, belirlenen süreçte nüfus artışına göre kentsel alandaki büyümeyi ölçer. İndeks, nüfus değiştiğinde, yerleşim alanının nüfusa paralel olarak artacağı bir kritere göre zaman içinde kentsel alandaki artışı ölçer. Nüfus ve kentsel alan zaman içerisinde sabit olduğunda indeks sıfıra eşittir. Kentsel alanın genişlemesi nüfus artışından daha büyük olduğunda, yani kentsel alanın yoğunluğu azaldığında sıfırdan büyüktür.

$$USI = Ky / Py \quad (3)$$

Eşitlikte, USI, kentsel genişleme indeksi,  $Ky$ , yıllık kentsel genişleme oranı (%),  $Py$ , yıllık nüfus artış oranı (%)

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Arazi Kullanımı ve Kentsel Alandaki Değişimler

Kentleşme, arazi kullanımı değişikliklerinin ve arazi dönüşümlerinin önemli bir nedenidir. Kent peyzaj yapısı üzerinde öngörülemeyen ve uzun süreli değişiklikler yapar. Değişiklik tespitinin önemi, neyin neye dönüştüğü, yani hangi arazi kullanım sınıfının diğerine dönüştüğünü belirlemektir. Arazi kullanımındaki ve arazi örtüsündeki mekansal ve zamansal değişiklikleri analiz etmek bir alanın mevcut çevresel durumunu ve değişiklikleri anlamamın etkili yollarından birisidir (Arvind vd., 2006; Yuan vd., 2005; Zubair, 2006). Uydu görüntülerinden elde edilen görüntüler kontrollü sınıflandırma yapılarak çalışma alanı 3 ana arazi kullanımı sınıfı (Yeşil Alanlar, Boş Alanlar, Yapay Alanlar) altında değerlendirilmiştir. Köyceğiz'deki dört merkez mahalle ve merkez ilçenin tamamı için 2004 ve 2019 yıllarına ait kontrollü sınıflandırma yöntemine göre oluşturulmuş arazi kullanım haritaları Şekil.3'de verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde ilk göze çarpan kırmızı renkle gösterilen yerleşim alanlarının her bir mahalle için, 2004 yılına göre 2019 yılında belirgin bir artış göstermesidir. Sarı ile gözüken çıplak arazilerin yerini yerleşim yerlerine bıraktığı gözlenmiştir. Bu durum, Köyceğiz merkez mahallelerinin giderek artan turizm özelliği nedeniyle şehirleşmenin çıplak arazilerin yerine geçtiği görülmüştür. Orman arazilerinde ise çıplak araziye göre nispeten daha düşük oranda azalma meydana geldiği görülmüştür. Şekil. 4'de verilen raster haritalarının piksel boyutu 10x10 m boyutlarında olduğu bilindiğine göre incelenen yıllarda arazi değişimini alansal olarak incelemek mümkündür. Şekil 4'de verilen grafikler 2004 ve 2019 yıllarında arazi değişimini alansal olarak ortaya konmuştur.

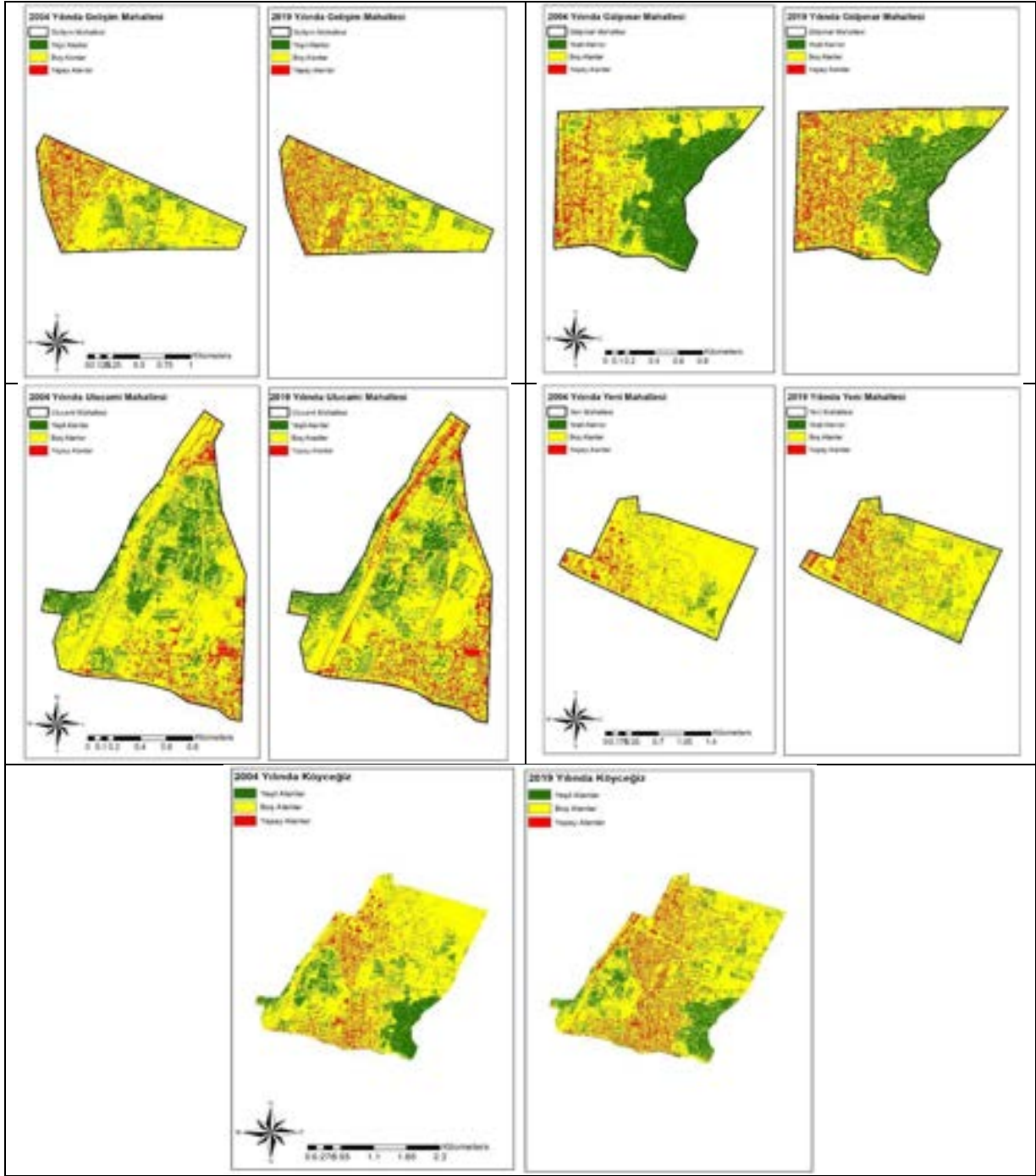
Şekil 4'e göre Köyceğiz ilçesinde yeşil alanlar % 6,59 azalarak 2019 yılında 77,22 ha'lık bir alanı kapladığı hesaplanmıştır. İncelenen 15 yıllık bir süre içerisinde çıplak araziler ise % 4,24 azalarak 2019 yılında 311,92 ha alan kapladığı görülmüştür. Köyceğizdeki tüm merkez mahallerinde ve ilçenin tamamında ise yerleşim alanlarında orman ve çıplak arazinin aksine artış görülmüştür. 2004 yılında 39,94 ha'lık alanla Köyceğiz'in sadece % 8,91'lik kısmını kaplayan yerleşim alanları, 2019 yılına gelindiğinde 59,40 ha'lık alanla %13,24'ünü kapladığı görülmüştür. Bu durum 15 yıl gibi kısa bir sürede ilçedeki şehirleşmenin % 4,33'lük bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Araştırma alanında yer alan Ulucami, Gülpınar, Gelişim, Yeni mahalle ve tüm ilçe merkezi için kentsel büyüme analizi yapılmıştır. İncelenen 2004 ve 2019 yılları arasında yeşil alanlara ilişkin kentsel genişleme yıllık oranları ( $Kg$ ) Ulucami, Gülpınar, Gelişim mahallerinde azalmıştır. Yeni mahallede ise artmıştır. Boş alanlar ( $Kb$ ), Ulucami, Gelişim ve Yeni mahallede azalmış, Gülpınar mahallesinde artmıştır. Tüm ilçe merkezinde boş alanlardaki yıllık değişim %0,28 oranında azalmıştır. Yapay alanlar ( $Ky$ ) (konut, işyeri, yol) ulucami mahallesinde %3,58, Gülpınar mahallesinde %2,79, Gelişim mahallesinde %2,59, Yeni mahallede %3,96, tüm ilçe merkezi için %3,25 oranında artış gerçekleşmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kentsel genişleme oranları ve USI indeksi (Table 3. Urban expansion rates and the USI index)

	Ulucami Mahallesi	Gülpınar Mahallesi	Gelişim Mahallesi	Yeni Mahalle	Toplam
$Kg$ (%)	-0,92	-1,11	-1,00	4,11	-0,44
$Kb$ (%)	-0,10	0,29	-0,28	-0,60	-0,28
$Ky$ (%)	3,58	2,79	2,59	3,96	3,25
$Ny$ (%)	2,29	1,78	2,88	2,59	2,39
USI	1,56	1,57	0,90	1,53	1,36

Özellikle, Ulucami, Gülpınar ve Gelişim mahallerinde önemli miktarda alan oluşturan narenciye bahçeleri imar uygulamalarıyla imara açılmış ve yerleşim alanlarına dönüşmüştür. Özellikle, Ulucami ve Gülpınar mahallerinde belirli sülalelere ait tarımsal amaçlı kullanılan arazilerin (narenciye) imara açılması yeşil alanların azalmasına ve konut için ihtiyaç duyulan alanların artmasına neden olmuştur. Keskin ve Bozyer (2021) yaptıkları çalışmada, büyük arazilerin bazı sülalelerin mülkiyetinde olmasının imara açılacak alanların azalmasına yol açtığını belirtmiştir. Yeni mahalle ilçede en son imara açılmış bölgedir. Bu mahallede Özel Çevre Koruma kurallarını temel alan yapılaşma (özellikle, parsellerde %25 oranında inşaat alanı) yeşil alanların artmasına ve korunmasına yol açmıştır. Yapay alanlardaki yıllık artış oranı en fazla yeni mahalle ve ulucami mahallerinde gerçekleşmiştir. İlçede en fazla kentsel genişlemenin ulucami ve yeni mahalle yönünde olduğu görülmektedir.

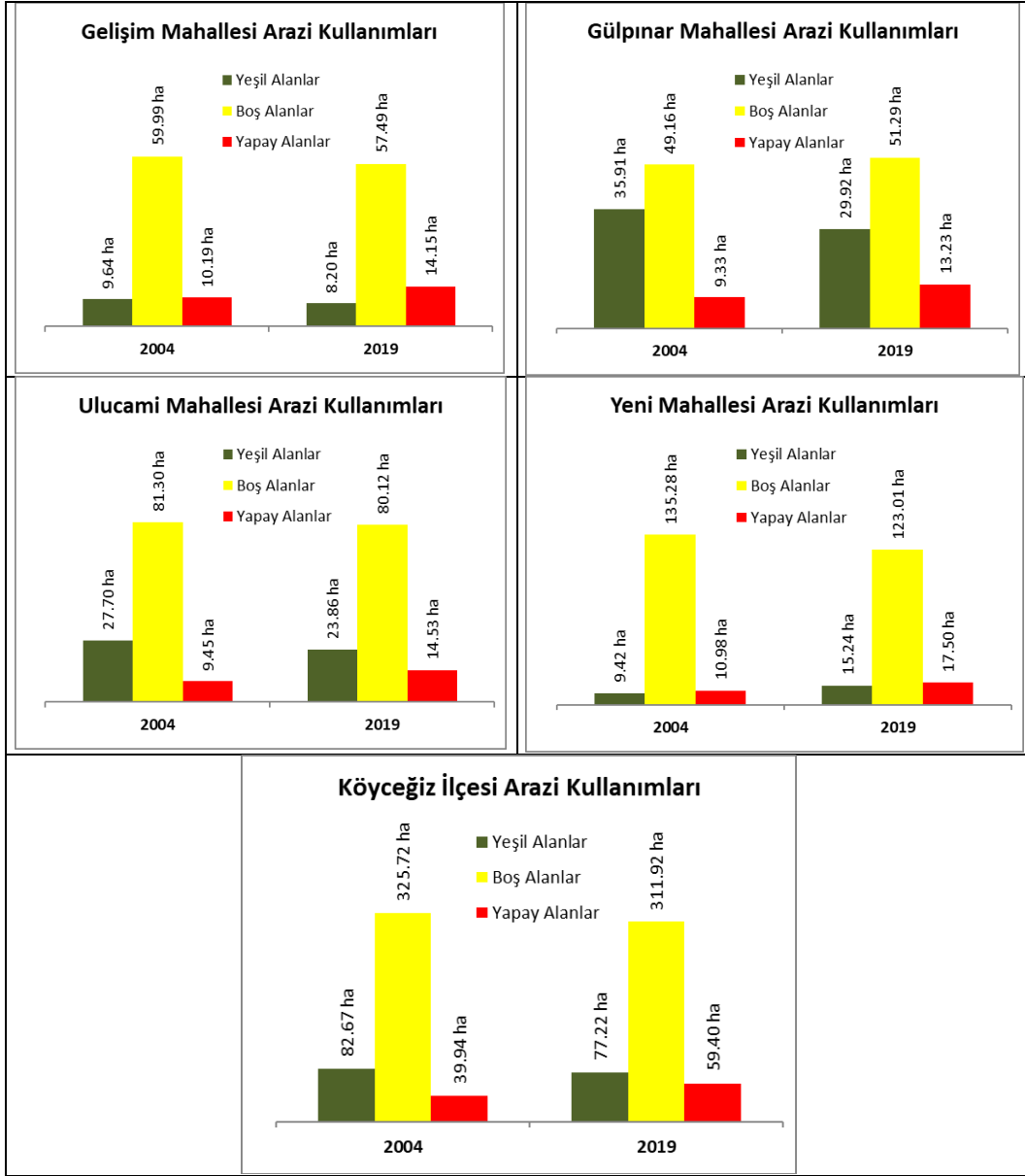
Kentsel genişlemenin nüfus artışına oranı olarak tanımlanan kentsel genişleme indeksi (USI) Ulucami, Gülpınar, Gelişim ve Yeni mahalle için sırasıyla 1,56, 1,57, 0,90 ve 1,53 olarak hesaplanmıştır. Tüm ilçe merkezi için 1,36 dır (Tablo 3). İncelenen alanlarda kentsel alanın büyümesi nüfus artışından daha yüksek olarak bulunmuştur. Yapay alanlardaki artış nüfus artış oranından daha fazladır. Araştırma alanı kentsel genişlemesi yavaş olarak gelişmektedir.



Şekil 3. Köyceğiz ilçesinin yıllara göre arazi kullanım durumundaki değişim (Figure 3. Change in land use of Köyceğiz district by years)

Keskin ve Bozyer (2021) çalışmalarında, Köyceğiz'deki değişimin yavaş olduğunu ve bunu etkileyen faktörleri; Özel Çevre Koruma Bölgesi ve kurulan Özel Çevre Koruma Kurumu, tarım arazileri ve yerleşilebilir nitelikteki arazilerin büyük çoğunluğunun Köyceğizli aile ve sülalelerde toplanmış olması, Köyceğiz hinterlandının daralması, mevcut belediyeçilik anlayışı, siyaset kurumunun aldığı kararlar ve yaptığı uygulamalar, imar plan ve uygulamaları olarak özetlemiştir. Köyceğiz'in 1990 yılında Kanun Hükmünde Kararname ile Özel Çevre Koruma Bölgesi ilan edilmiştir. Özel Çevre Korumanın inşaat alanları ve inşaat tiplerine getirdiği kararlar ile yüksekliği az binalar (2 kat ve izinsiz inşa edilen Çatı Katları) inşa edilmiş, binaların yapımı, alanı ve

görünümü bu kararlara göre belirlenmiştir. Özel Çevre Koruma kararları bina inşaatında özel sektörün toplu konut inşaatlarıyla ilçeye yatırım yapmasını engellemiştir. İlçede yaşayan kişiler sadece kendi gereksinimlerini karşılayacak bina inşaatlarını gerçekleştirmişlerdir. Bu koşul, ilçenin daha yavaş genişlemesine neden olmuştur. Köyceğiz'de Özel Çevre Koruma kurallarını temel alan imar planlamaları ve bu alana yönelik uygulamalar Köyceğiz'e yapılması düşünülen özel sektör yatırımlarını olumsuz etkilemiş, Köyceğiz'e yatırım yapmaya ve yerleşmeye yönelik caydırıcı faktör olmuştur.



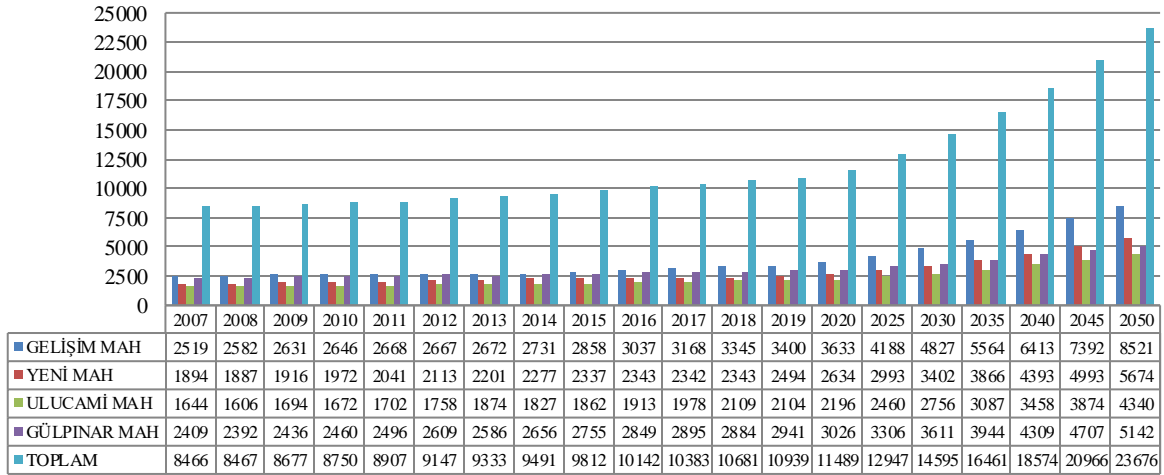
Şekil 4. Arazi kullanımındaki değişimler (Figure 4. Changes in land use)

### 3.2. Nüfus Projeksiyonu

Hesaplanan nüfus verilerine göre yıllık nüfus artış hızları Gelişim Mahallesinde % 2,88, Yeni Mahallesinde % 2,59, Ulucami Mahallesinde % 2,29, Gülpınar Mahallesinde % 1,78 olarak hesaplanmıştır. Köyceğiz merkez ilçesi ve mahallerine ilişkin 2050 yılına kadar beklenen nüfus projeksiyonu Şekil 5'da gösterilmektedir. İncelenen yıllarda en fazla nüfus artışı Gelişim ve Yeni mahallerinde beklenmektedir. Nüfus projeksiyonuna göre 2050 yılında, Gelişim, Yeni, Ulucami ve Gülpınar mahallerinde beklenen nüfus sırasıyla, 8521, 5674, 4340 ve 5142 olarak hesaplanmıştır. Köyceğiz'in merkez ilçelerinde yaşayan toplam nüfusun 23676 kişi olacağı tahmin edilmiştir. Bölgenin turistik potansiyeli göz önüne alınırsa bu rakamın özellikle yaz aylarında daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır.

Günümüzde Köyceğiz ilçesi turizm ağırlıklı bir cazibe merkezi haline gelmiştir. Bu nedenle pek çok kişinin 2. Konut sahibi olmak amacıyla tercih ettiği bir yerleşim alanı olmuştur.

Özellikle, turizm ve 2. Konut nüfusu haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında önemli artışlar göstermektedir. Bu nedenle, kıyı alanlarındaki nüfus yoğunluk artışının bu değerlerin üzerinde olması beklenmektedir. Mevsimsel nüfus hareketlilikleri daha çok turizm ve 2. Konut alanlarındaki artışlar nedeniyle oluşmaktadır (Öğüt, 2011). Bu tip yerleşimlerde yerleşik nüfus dışında mevsimsel olarak farklılığa neden olan unsurlar; turizm nüfusu, 2. Konut nüfusu ve günübirlik nüfustur. Köyceğiz gibi kıyı bölgelerde doğal olarak yaz aylarında mevsimsel hareketlilikler gözlenmektedir. Küresel turizmin sonucu olarak pik sezonlarda nüfus yoğunlukları büyük artış göstermektedir. 2004 ve 2019 yıllarında kişi başına düşen yapay alan miktarları, sırasıyla, Gelişim mahallesinde, 40,53-41,62 m<sup>2</sup>/kişi, Yeni mahallede, 57,92-70,17 m<sup>2</sup>/kişi, Ulucami mahallesinde, 57,48-69,06 m<sup>2</sup>/kişi, Gülpınar mahallesinde, 38,73-44,98 m<sup>2</sup>/kişi olarak hesaplanmıştır. Tüm ilçe merkezi için ise 47,18-54,30 m<sup>2</sup>/kişi'dir. Kişi başına düşen yapay alanlar Ulucami ve Yeni mahallede en yüksek, Gelişim mahallesinde en düşük olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5. Köyceğiz ilçesinin 2007-2050 yılları arasında Gelişim, Yeni, Ulucami, Gülpınar Mahalleleri ve toplam nüfus projeksiyonu (Figure 5. Projection of Gelişim, Yeni, Ulucami and Gülpınar neighbourhoods and total population in Köyceğiz district between

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırma ile çok zamanlı uydu görüntüleri (Google Earth) kullanılarak araştırma alanının farklı dönemlerdeki kentsel genişlemesi belirlenmiştir. Sınıflandırma ile yeşil alanlar, boş alanlar ve yapay alanlar net bir şekilde hesaplanmıştır. Köyceğiz ilçesinde kentsel genişlemenin ana yönü kentin kuzey ve güneyinde meydana gelmektedir. Uzaktan algılama verilerinden elde edilen bilgiler, arazi örtüsündeki değişikliklerin doğasını ve nerede meydana geldiğini ölçmek ve anlamakta önemli bir rol oynayabilir. Bu tür bilgiler, kentsel büyüme ve gelişmeyi planlamak için gereklidir.

Köyceğiz'deki arazi kullanım değişiminin genel kalıpları ve eğilimleri, 2004-2019 döneminde tarım, orman ve mera kullanımından kentsel kullanıma (geçirimsiz alan) dönüştürülen arazi alanı miktarı sınıflandırılarak değerlendirilmiş, Google-Earth ile üretilen istatistiklerin sonuçlarını diğer envanterlerden gelen tahminlerle karşılaştırılmış, değişiklik saptama haritalarının doğruluğu nicel olarak değerlendirilmiş ve nüfus artışı ile ilgili olarak büyük kentsel arazi kullanımı değişim kalıplarını analiz edilmiştir.

Kentleşme üzerine yapılan bu araştırmanın sonuçları sürdürülebilir kalkınmaya yönelik karar vermeyi desteklemek için bilimsel kriterler sunmaktır. Şehir planlarının kentsel arazi sistemlerinin sürdürülebilir kullanımı için bir strateji belirlemesi gerektiğinde kentsel genişlemeyi tanıması ve değerlendirmesi çalışmalarında yardımcı olacaktır.

Kentin büyüklüğü ve nüfusu arttıkça, bir şehrin mekansal, sosyal ve çevresel yönleri arasındaki ve içinde yaşayanlar arasındaki uyum büyük önem kazanır. Kentsel gelişim, birbirine bağlı yeşil alanı, çok yönlü bir ulaşım sistemini ve karma kullanımlı gelişimi destekleyen sürdürülebilir bir planlama ve yönetim vizyonu tarafından yönlendirilmelidir. Politikacılar, yerel yöneticiler, düzenleyiciler ve geliştiriciler, kirliliği azaltan ve yerleşik ve doğal sistemler arasında bir denge oluşturan sürdürülebilir alan planlama ve inşaat tekniklerini desteklemelidir.

#### Kaynakça

- Adersson E. (2006). Urban landscape and sustainable cities. *Ecology and Society*. 11:34.
- Anonymous (2002). Planning analysis: calculating growth rates. Available at: [https://pages.uoregon.edu/rgp/PPPM613/class8\\_a.htm](https://pages.uoregon.edu/rgp/PPPM613/class8_a.htm) (accessed 10 August 2020).
- Arvind C., & Pandey, Nathawat, M.S. (2006). Land Use Land Cover Mapping Through Digital Image Processing of Satellite Data – A case study from Panchkula, Ambala and Yamunanagar Districts, Haryana State, India.
- Bartlett, A. A. (1993). The arithmetic of growth: methods of calculation. *Population and Environment*, 14(4), 359–387.
- Batisani N., & Yarnal, B. (2009). Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations. *Appl Geogr.* 29:235–49.
- Bhatta B. (2009). Analysis of urban growth pattern using remote sensing and GIS: A case study of Kolkata, India. *International Journal of Remote Sensing*. 30:4733–46.
- Bhatta, B., Saraswati, S., & Bandyopadhyay, D. (2010). Urban sprawl measurement from remote sensing data. *Appl. Geogr.* 30, 731–740.
- Carrion-Flores, C., & Irwin, E.G. (2004). Determinants of residential land-use conversion and sprawl at the rural-urban fringe. *Am. J. Agric. Econ.* 86, 889–904
- Dewan, AM, Kabir, MH., Nahar, K., & Rahman, MZ. (2012). Urbanization and environmental degradation in Dhaka metropolitan area of Bangladesh. *Int J Environ Sust Dev.* 11:118-47.
- Google Earth, (2022). Satellite image landsat. Available from: <https://www.google.com/tr/intl/tr/earth/>. [Accessed 16 Mar 2020].
- Huttner S, Bruse M., & Dostal, P. (2008). Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr. 18, Proceeding of the 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, 307–12.

- Karanam, HK., & Neela, VB. (2017). Study of normalized difference built-up (NDBI) index in automatically mapping urban areas from Landsat TN imagery. *Int J Eng Sci Math.* 8:239-48.
- Katyambo, MM., & Ngigi MM. (2017). Spatial monitoring of urban growth using GIS and remote sensing: a case study of Nairobi metropolitan area, Kenya. *Am J Geogr Inf Syst.* 6:64-82.
- Kazancı, N., İzbirak, A., Çağlar, S. S., & Gökçe, D. (1992). Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi Sucul Ekosisteminin Hidro Biyolojik Yönden İncelenmesi. Ankara : Özyurt Matbaası.
- Keskin, ÜB., & Bozyer, AÜ. (2021). Köyceğiz'de Yavaş Değişimin Sosyolojik Analizi, Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 28; 176-201
- Koç, C. (2008). The Influence of Drainage Projects on Environmental and Wetland Ecology”, An Official Publication of the American Institute of Chemical Engineers, Environmental Progress, ISSN 0278-4491, Volume 27, No. 3, 353-364
- Köyceğiz Belediyesi Cittaslow Raporu (2017). Erişim Tarihi: 10.11.2019.
- Lambin, EF, Turner, BL, & Geist HJ et al. (2001). The cause of land cover change moving beyond the myths. *Glob Environ Change.* 11:261–9.
- Li, X., & Yeh, AGO. (2004). Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape Urban Plan.* 69:335–54.
- Liu, H., & Weng, Q. (2009). Scaling-up effect on the relationship between landscape pattern and land surface temperature: a case study of Indianapolis, United States. *Photogramm. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 75:291–304.
- Myronidis, D., Stathis, D., & Sapountzis, M. (2016). Post-Evaluation of flood hazards induced by former artificial interventions along a coastal mediterranean settlement. *J. Hydrol. Eng.* 21, 05016022
- OECD (2013). Urbanisation and urban forms, in OECD regions at a Glance 2013. OECD Publishing, Paris, [http://dx.doi.org/10.1787/reg\\_glance-2013-7-en](http://dx.doi.org/10.1787/reg_glance-2013-7-en)
- Öğüt, AA. (2011). Mevsimsel Nüfus Farklılıklarının Gözlemlendiği Turizm Alanlarında Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi: Bodrum Yarımadası Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 289s.
- Padmanaban, R., & Thomas, V. (2013). Inventory of liquefaction area and risk assessment region using remote sensing. *Int J Adv Remote Sens GIS.* 2:198.
- Pirnazar, M., Ali-Askari, K., & Eslamian, S et al.(2018). Change detection of urban land use and urban expansion using GIS and RS, case study: Zanjan Province, Iran. *Int J Con Res Civ Eng.* 4:23–38.
- Seto, KC., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M.K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS ONE*, 6, e23777
- Soffianian., A., Ahmadi, M., Yaghmael, L., & Falahatkar, S. (2010). Mapping and analyzing urban expansion using remotely sensed imagery in Isfahan, Iran. *World Appl Sci J.* 9:1370–8.
- T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı. (2007). Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Zenginliğinin Tespiti ve Yönetim Planının Hazırlanması.
- TÜİK. (2020). Address based population registration system results. Available online: [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1059](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059) (Accessed on 5 May 2020).
- Wu, Y., Li, S., & Yu, S. (2016). Monitoring urban expansion and its effects on land use and land cover changes in Guangzhou city, China. *Environ Monitor Assess.* 188:54.
- Xiao, JY., Shen, YJ., & Ge, JF et al.(2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape Urban Plan.* 75:69–80.
- Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C., & Bauer, M.E. (2005). Land cover classification and change analysis of the twin cities (minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 98, 317–328.
- Zhou, D., Shi, P., & Wu, X et al. (2014). Effects of urbanization expansion on landscape pattern and region ecological risk in Chinese coastal city: a case study of Yantai city. *Sci World J.* 821781: 1–9
- Zhou, N., & Zhao, S. (2013). Urbanization process and induced environmental geological hazards in China. *Natural Hazards.* 67:797–810.
- Zubair, A.O. (2006). Change Detection In Land Use And Land Cover Using Remote Sensing Data And Gis: A Case Study Of Ilorin And Its Environs in Kwara State. <[www.geospatialworld.net/uploads/thesis](http://www.geospatialworld.net/uploads/thesis)>.



# Comparison of standard optimization method and multicriteria optimization (MCO) method using intensity-modulated radiotherapy (IMRT) technique for patients with localized prostate cancer

Ayşe Gülbin Kavak<sup>1\*</sup>, Hatice Coşkun<sup>2</sup>, Abdullah Tuncay Demiryürek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Faculty of Medicine, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1995-1642), [gulbinkavak@yahoo.com](mailto:gulbinkavak@yahoo.com)

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Adana City Training and Research Hospital, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0146-8185), [drhaticecoskun@hotmail.com](mailto:drhaticecoskun@hotmail.com)

<sup>3</sup>Department of Medical Pharmacology, Faculty of Medicine, and Vocational School of Health Services, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey, (ORCID:0000-0002-9994-8541), [demiryurek@gaziantep.edu.tr](mailto:demiryurek@gaziantep.edu.tr)

(First received 23 February 2022 and in final form 15 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078027)

**ATIF/REFERENCE:** Kavak, A.G., Coşkun, H. & Demiryürek, A.T. (2022). Comparison of standard optimization method and multicriteria optimization (MCO) method using intensity-modulated radiotherapy (IMRT) technique for patients with localized prostate cancer. *European Journal of Science and Technology*, (38), 16-23.

## Abstract

This study aimed to evaluate the implementation of intensity-modulated radiation therapy (IMRT) using multicriteria optimization (MCO) in the RayStation treatment planning system for patients with prostate cancer. A total of 10 consecutive prostate cancer patients previously treated by IMRT were included in this study and re-planned using the MCO modality. The plan quality was analyzed and compared using the conformity index (CI) and homogeneity index (HI) of the dose sparing of organs at risk (OAR) and planning target volume (PTV). Dose-escalation with PTV-based IMRT planning was closely connected with elevated OAR doses, particularly in high-dose areas. Although HI and CI were similar for both modalities, we detected a marked decrease in mean monitor units for MCO when compared to IMRT ( $P < 0.05$ ). The MCO-plan showed markedly better bladder and femoral heads sparing effects ( $P < 0.05$ ). It has been found that the MCO method shortens the total planning time compared to the IMRT method ( $P < 0.01$ ). Our findings showed that MCO improved plan quality and was the superior modality for prostate cancer in terms of PTV coverage and OAR sparing.

**Keywords:** Intensity-modulated radiation therapy, Multicriteria optimization, Plan quality, Prostate cancer.

## Lokalize prostat kanserli hastalarda yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) tekniği kullanılarak standart optimizasyon yöntemi ile çok kriterli optimizasyon (MCO) yönteminin karşılaştırılması

### Öz

Bu çalışmada, prostat kanserli hastalar için RayStation tedavi planlama sisteminde çok kriterli optimizasyon (MCO) yöntemi kullanılarak yoğunluk ayarlı radyasyon tedavisi (IMRT) uygulamasını değerlendirmek amaçlandı. Çalışmaya daha önce IMRT ile tedavi edilen toplam 10 ardışık prostat kanseri hastası dahil edildi ve MCO modalitesi kullanılarak yeniden planlandı. Plan kalitesi, risk altındaki organlar (OAR) ve planlama hedef hacminin (PTV) uygunluk indeksi (CI) ve homojenlik indeksi (HI) kullanılarak analiz edildi ve karşılaştırıldı. PTV tabanlı IMRT planlaması ile doz yükseltme, özellikle yüksek doz alanlarında, yüksek OAR dozları ile yakından bağlantılıydı. HI ve CI her iki modalite için benzer olmasına rağmen, IMRT ile karşılaştırıldığında MCO için ortalama monitör birimlerinde belirgin bir düşüş saptandı ( $P < 0.05$ ). MCO planı, belirgin şekilde mesane ve femur başı için daha iyi koruyucu etkiler gösterdi ( $P < 0.05$ ). MCO yönteminin IMRT yöntemine göre toplam planlama süresini kısalttığı görülmüştür ( $P < 0.01$ ). Bulgularımız, MCO'nun plan kalitesini iyileştirdiğini ve PTV kapsamı ve OAR koruması açısından prostat kanseri için üstün bir modalite olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yoğunluk ayarlı radyasyon tedavisi, Çok kriterli optimizasyon, Plan kalitesi, Prostat kanseri.

\*Corresponding Author: [gulbinkavak@yahoo.com](mailto:gulbinkavak@yahoo.com)

## 1. Introduction

Prostate cancer represents the second most frequently diagnosed cancer (after lung cancer) in men worldwide and the fifth most common cancer-related mortality in men (Ferlay et al. 2019). Prostate cancer mortality and incidence rates are highly correlated to age with the highest incidence being seen in men who are 65 or older (Rawla 2019). The age-adjusted prostate cancer incidence rate was reported to be 35 cases per 100,000 in Turkey (Zorlu et al. 2014). Increased incidence rates for prostate cancer have been observed worldwide, particularly in Northern and Western Europe and Asia (Teoh et al. 2019).

Radiation therapy uses high-energy photons to eradicate prostate cancer while minimizing damage to critical organs. Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) is generally accepted as a standard of care for dose-escalated radiotherapy of prostate cancer (Bauman et al. 2012; Yu et al. 2016; Thorwarth et al. 2017). The goal of IMRT is to deliver a radiation dose to the tumor volume while protecting pivotal organs and sparing healthy tissues (Troeller et al. 2015).

Multicriteria optimization (MCO) is an advanced feature of the optimization method and it has proven to be an efficient treatment planning modality, both in terms of dosimetric quality and planning time (Craft et al. 2012, Wala et al. 2013). It is based upon the approximation of the Pareto surface-based technique that refers to a state where one parameter cannot be improved without negatively affecting another (Haas et al. 1998, Cotrutz et al. 2001, Craft et al. 2005, Craft et al. 2006). MCO is a new generation method to see all plans in one optimization derived Pareto plans. MCO plans eliminate the time-consuming trial-and-error process of selecting appropriate weighting factors in conventional IMRT planning and calculate these dosimetric trade-offs (Thieke et al. 2007, Breedveld et al. 2009, Bodensteiner 2018). The purpose of this study was to compare the standard optimization method and MCO method using the IMRT technique for patients with localized prostate cancer.

## 2. Material and Method

### 2.1. Patients

In this retrospective study, a total of 10 consecutive patients (average age: 70.8±1.7 years) with localized prostate cancer who had received radiotherapy with the IMRT technique at the Gaziantep University Oncology Hospital were enrolled. This study was reviewed and approved by the Institutional Clinic Ethics Committee.

Inclusion criteria comprised histopathologically confirmed prostate adenocarcinoma, age  $\geq 18$  years old, localized disease (pelvic/abdominal CT, bone scan), high risk according to D'Amico classification (D'Amico et al. 1998), and no history of prior surgery to the prostate. All of the patients received hormonal treatment (neoadjuvant therapy) before Radiation Therapy.

Exclusion criteria included prior pelvic radiotherapy, prior prostatectomy, prior transurethral resection, brachytherapy, distant metastases, other concurrent severe diseases or malignancies (e.g., blood coagulation restrictions, chronic inflammatory bowel disease, decompensated heart insufficiency), and serious medical or psychiatric illness preventing safe administration of RT.

### 2.2. Treatment planning

All of these patients had high-risk prostate cancer and undergone 3-mm slice thickness-computed tomography (CT) (Philips Brilliance 64 Slice CT, Philips Medical Systems, Netherlands) performed with empty rectum, comfortably full bladder, with patients in the supine position. All patients received 1 liter of water before CT as recommended by the protocol (Esen & Demir Apaydin 2020). All patients received step-and-shoot IMRT to a total dose of 76 Gy in 38 fractions with 6MV photons linear accelerator (Elekta Synergy Platform Linear Accelerator, Elekta Inc., Stockholm, Sweden). The planning CT scan, beam angles, and structure definitions were imported into RayStation (version 6, RaySearch Laboratories, Stockholm, Sweden) for planning.

The clinical target volume (CTV) covered the entire seminal vesicles and the prostate. The planning target volume (PTV) was determined as CTV with a margin of 5 mm posterior and 7 mm in other directions. The rectum, penile bulb, femoral heads, and bladder were contoured as the organs at risk (OARs). PTV and OARs were shaped by an experienced radiation oncologist. The PTV depended on the Radiation Therapy Oncology Group atlas (Gay et al. 2012).

Treatment plans for the patients with prostate cancer were arranged using 7 coplanar fields with angle intervals of  $51^{\circ}$ . Each plan was dependent on the principle of enhancing the dose coverage of the targets and minimizing the radiation of the normal tissues and OAR. The prescription was determined as follows: A 76 Gy total radiation dose was determined for PTV. At least 98% of the PTV received 98% of the prescribed dose. The maximum dose in the PTV had to be less than 107% of the prescribed dose. The rectum dose provides that D50% (dose at 50% volume) should not receive more than 50 Gy, D35% should not receive more than 65 Gy and D20% should not receive more than 70 Gy. The bladder dose provides that D35% should not receive more than 65 Gy. D5% of femoral heads should be less than 50 Gy. The maximum dose of the penile bulb should be less than 50 Gy. All plans were made by the same person who is a radiotherapy physicist experienced in IMRT treatment planning for more than 10 years to eliminate uncertainties due to the planner, and approved by a physician for clinical delivery. In order to experience the automatic planning feature while making treatment plans, templates were applied for each plan which was created for optimization objectives to provide the same conditions. Treatment plans were calculated and optimized on a single computer using collapsed cone algorithm (v3.2). The views of the treatment plan for both methods are shown in Figure 1.





Figure 1. The views show 95% of the prescription dose for multicriteria optimization (MCO) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) optimization method for a typical patient. "MCO and IMRT" represents the dose difference region for a typical patient.

Şekil 1. Görünümler, tipik bir hasta için çok kriterli optimizasyon (MCO) ve yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) optimizasyon yöntemi için tanımlanan dozunun %95'ini göstermektedir. "MCO ve IMRT" tipik bir hasta için doz farkı bölgesini temsil eder.

### 2.3. Evaluation of the plan quality

The plan quality was determined using the OAR and PTV dose-volume histogram (DVH) values. Mean doses to the femoral heads, bladder, rectum, and penile bulb were recorded, as well as the number of monitor units (MUs) for both algorithms. The homogeneity index (HI) and conformity index (CI) for all plans were calculated using the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) definitions (Feuvret et al. 2006) as follows:

$$CI = VPI/TV$$

where VP1 is the volume of the prescribed isodose, and TV represents the planning target volume included by the prescribed isodose.

$$HI = D5/D95$$

D5 describes the minimum dose that covers 5% of the PTV, and D95 indicates the minimum dose that covers 95% of the PTV. For a perfectly homogeneous and conformal dose distribution, HI and CI should be equal to 1.  $CI > 1$  describes undesired irradiation of healthy tissue with high doses and  $HI > 1$  indicates inhomogeneous dose distributions in the target.

### 2.4. Quality Assurance (QA) analysis

2D ionization chamber array I'mRT MatriXX (IBA, Schwarzenbruck, Germany) was utilized to assess Quality Assurance (QA) passing rates on the basis of the gamma index ( $\gamma$ ) analysis to compare the measured and calculated doses in terms of the distance to agreement (3%, 3 mm) and dose difference (Low et al. 1998).

### 2.5. Statistics

All results are expressed as mean  $\pm$  standard error of the mean (SEM). Qualitative data are presented as ratios with percentages. The normal distribution of variables was firstly identified with the Kolmogorov-Smirnov test. Paired Student's t test was utilized to compare two groups of normally distributed data. Pearson analysis was applied to identify the correlations. Statistical analysis was performed using GraphPad InStat (version 3.05, GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). Differences were considered to be statistically significant when  $P < 0.05$ .

## 3. Results

Dosimetric comparisons of PTV and OARs for the IMRT and MCO planning methods in patients with prostate cancer are shown in Figure 2. Dose-escalation to 76 Gy was determined to be feasible in all patients. The 99.38% and 99.63% of the target volume for IMRT and MCO methods were covered by 74.4 Gy. The average value of D95 for PTV was found 75.90 Gy and 75.88 Gy, and the average value of D1 for PTV was found at 79.60 Gy and 79.45 Gy for IMRT and MCO methods, respectively. Significant reductions in PTV D1 and D2 values were evident in MCO plans than in IMRT plans.

Table 1 shows the comparison of the IMRT and MCO plans. Lower D1 and higher D50 values were observed with MCO plans in the rectum. The mean V65 for bladder was received at 14.7% and 15.2% for IMRT and MCO plans. Both D1 and D2 values were markedly low in the bladder with MCO plans ( $P < 0.05$ ). Penile bulb doses were obtained in the limit of 50 Gy except for two patients. Penile bulb doses can be obtained below 50 Gy for all cases if PTV dose coverage is sacrificed in treatment planning. There were no significant changes in penile bulb values between IMRT and MCO methods. The mean D1 dose value decreased from 39.25 Gy to 36.08 Gy for the femoral head right and 38.72 Gy to 34.28 Gy for the femoral head left in the IMRT plan to MCO plan. D1 dose values for femoral heads did not exceed 45 Gy for both methods. However, the MCO plans showed the greatest sparing of right and left femoral heads in all dose levels. Moreover, dose-volume histogram (DVH) for IMRT and MCO methods are created by entering the PTV's, CTV's and OAR's (rectum, bladder, femoral heads and penile bulbs) dose values of the patients separately for each structure. They were illustrated in Figure 3 for IMRT.

The monitor units per fraction, conformity index (CI), and homogeneity index (HI) for the IMRT and MCO planning methods in patients with prostate cancer are presented in Table 1. The mean monitor unit was significantly low in MCO ( $640.41 \pm 27.87$  monitor units per fraction) when compared to IMRT ( $685.66 \pm 36.52$  monitor units per fraction,  $P = 0.0356$ ). Neither conformity index (CI) nor homogeneity index (HI) was markedly changed.

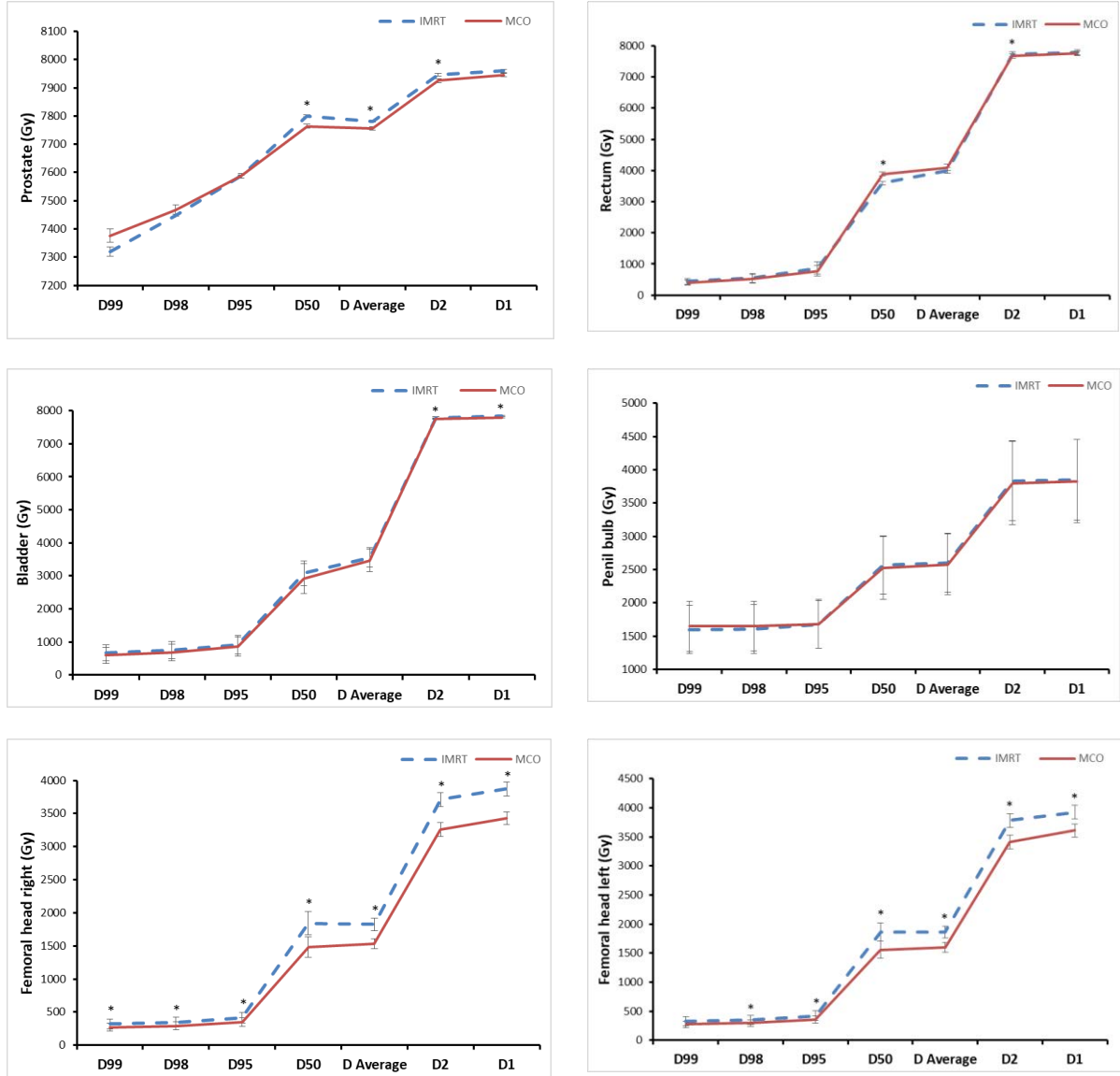
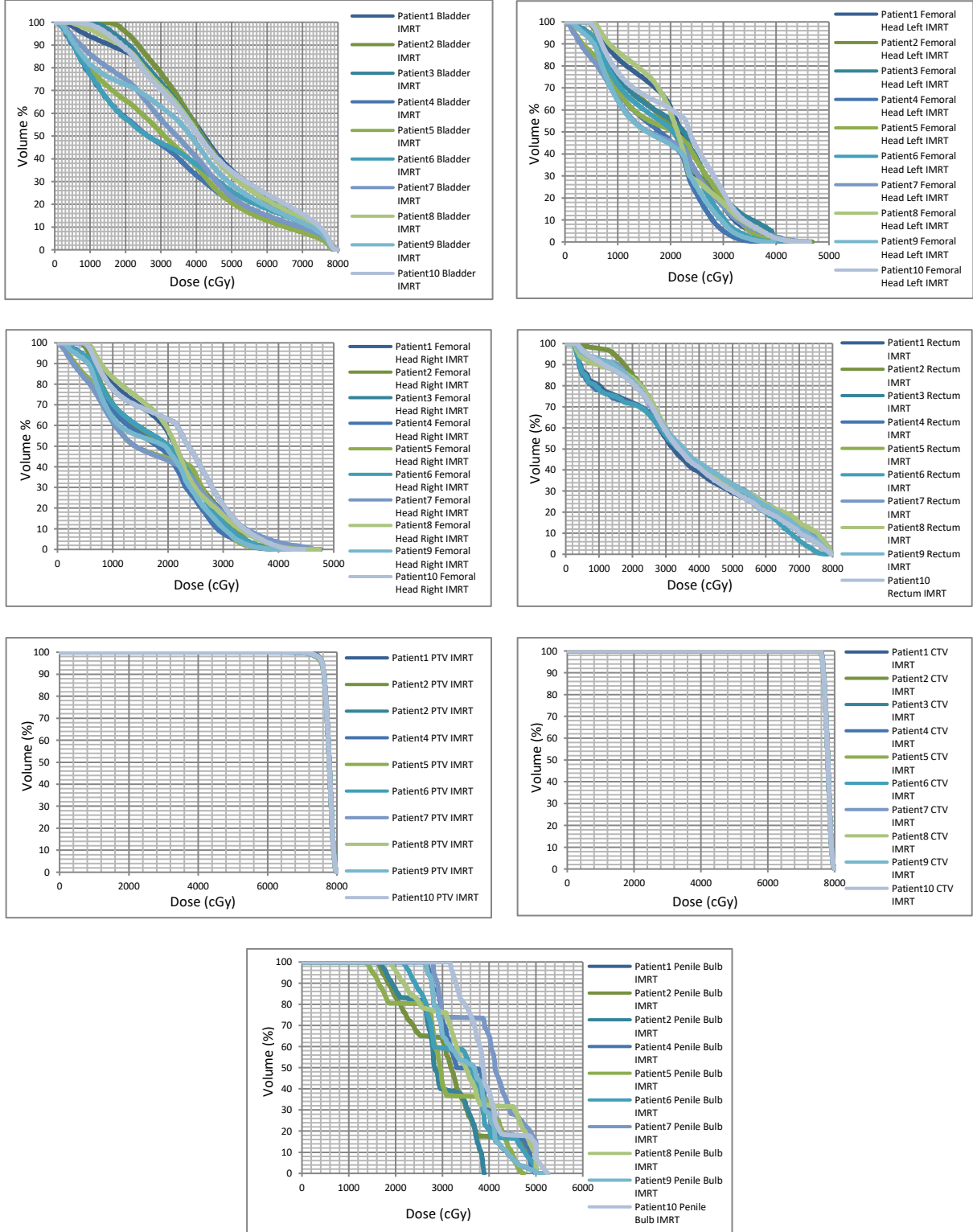


Figure 2. Dosimetric comparisons of the clinical planning target volume (PTV) and organs at risks (OARs) for the IMRT and MCO planning methods in patients with prostate cancer: All values were reported as mean  $\pm$  SEM. D99: Dose 99%, D98: Dose 98%, D95: Dose 95%, D50: Dose 50%, D Average: Average Dose, D2: Dose 2%, D1: Dose 1%. \* $P < 0.05$

Şekil 2. Prostat kanserli hastalarda IMRT ve MCO planlama yöntemleri için klinik planlama hedef hacminin (PTV) ve risk altındaki organların (OAR'lar) dozimetrik karşılaştırmaları. Tüm değerler ortalama  $\pm$  SEM olarak rapor edildi. D99: Doz %99, D98: Doz %98, D95: Doz %95, D50: Doz %50, D Ortalama: Ortalama Doz, D2: Doz %2, D1: Doz %1. \* $P < 0.05$



*Figure 3. The values of Dose Volume Histogram (DVH) for PTV and OAR's for IMRT methods.*

*Şekil 3. IMRT yönteminde PTV ve OAR'ler için Doz Hacim Histogramı (DVH) değerleri.*

Table 1. Comparison of the IMRT and MCO plans.

Tablo 1. IMRT ve MCO planlarının karşılaştırılması.

Index	IMRT	MCO	P
<b>PLANNING TARGET VOLUME (PTV)</b>			
V95 (%)	99.38 ± 0.08	99.63 ± 0.08	0.0400
D95 (Gy)	75.90 ± 0.02	75.88 ± 0.08	0,0900
D1 (Gy)	79.60 ± 0.06	79.45 ± 0.06	0.0600
Conformity index (CI)	0.995 ± 0.001	0.997 ± 0.001	0.0957
Homogeneity index (HI)	1.044 ± 0.001	1.040 ± 0.002	0.0670
Monitor units (MU)	685.66 ± 36.52	640.41 ± 27.87	0.0356
<b>RECTUM</b>			
V50 (%)	32.35 ± 0.72	34.31 ± 1.12	0.1600
V65 (%)	17.03 ± 1.08	17.58 ± 1.69	0.6100
V70 (%)	11.82 ± 1.19	12.37 ± 1.61	0.5100
V75 (%)	6.46 ± 1.00	6.60 ± 1.33	0.8100
Dmean (Gy)	40.03 ± 0.92	40.96 ± 1.07	0.0960
D50 (Gy)	35.99 ± 0.52	38.82 ± 0.61	0.0019
D2 (Gy)	77.36 ± 0.82	76.73 ± 0.76	0.0175
D1 (Gy)	77.96 ± 0.79	77.63 ± 0.71	0.1070
<b>BLADDER</b>			
V50 (%)	26.28 ± 2.44	27.27 ± 3.42	0.6200
V65 (%)	14.70 ± 1.32	15.25 ± 1.78	0.5870
V70 (%)	11.32 ± 1.03	11.74 ± 1.34	0.5970
V75 (%)	7.04 ± 0.69	7.14 ± 0.84	0.8300
Dmean (Gy)	35.62 ± 2.85	34.67 ± 3.37	0.4031
D2 (Gy)	77.91 ± 0.20	77.57 ± 0.20	0.0097
D1 (Gy)	78.38 ± 0.16	77.99 ± 0.18	0.0070
<b>FEMORAL HEAD LEFT</b>			
Dmean (Gy)	18.61 ± 0.97	15.98 ± 0.81	0.0006
D1 (Gy)	39.25 ± 1.19	36.08 ± 1.16	0.0520
<b>FEMORAL HEAD RIGHT</b>			
Dmean (Gy)	18.24 ± 0.93	15.31 ± 0.76	0.0002
D1 (Gy)	38.72 ± 1.07	34.28 ± 0.96	0.0010
<b>PENILE BULB</b>			
Dmean (Gy)	26.00 ± 4.39	25.77 ± 4.60	0.8500
D1 (Gy)	38.51 ± 6.05	38.29 ± 6.28	0.8300

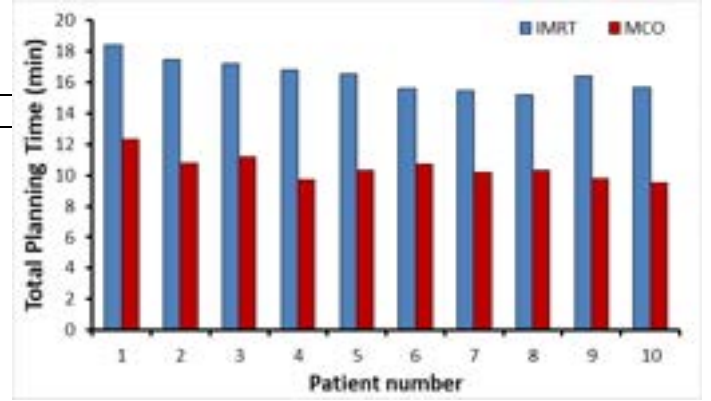


Figure 4. Total Planning Time per patient for IMRT and MCO methods with prostate cancer.

Şekil 4. Prostat kanserli IMRT ve MCO yöntemleri için hasta başına Toplam Planlama Süresi.

QA analyses were evaluated by OmniPro IMRT Software (Scanditronix Wellhofer, Germany). The average gamma that QA passing rate was determined as the percentage of points with  $\gamma > 1$  were attained 0.69 and 0.35 for IMRT and MCO plans, respectively. The screen view of QA analysis for a patient planned with the MCO method showed in Figure 5.

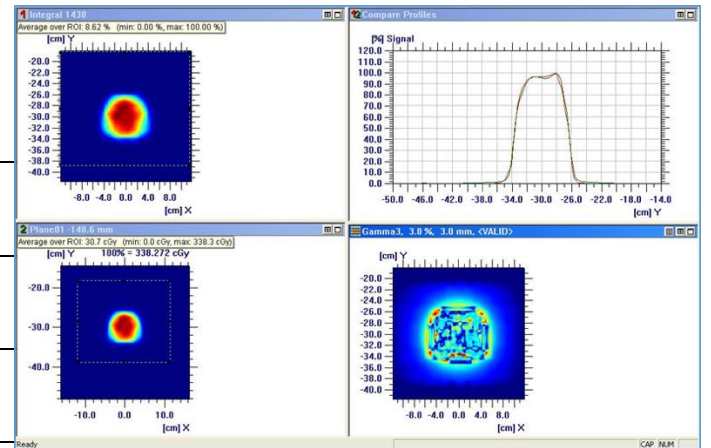


Figure 5. The screen view of Quality Assurance (QA) analysis for a typical patient.

Şekil 5. Tipik bir hasta için Kalite Kontrol (QA) analizinin ekran görüntüsü.

To generate the average time Pareto plans for MCO modality took 1.34 minutes for the number of Pareto plans is 20. We increased the number of Pareto plans from 20 to 40, the calculation time was 5.57 minutes. When the number of Pareto plans incremented to 60, this period took more than 20 minutes on average. Average optimization times for IMRT and MCO plans were found 1.50 and 1.45 minutes, respectively (Figure 4). While the mean of the total planning time was  $16.47 \pm 0.32$  min for the IMRT method, it was  $10.5 \pm 0.26$  min ( $P=0.0001$ ) for the MCO method.

We performed a correlation analysis between prostate-specific antigen and testosterone levels with MU, CI, and HI. These analyses revealed that there was only significant negative correlation between MU for MCO planning and pre-treatment testosterone levels ( $r = -0.7288$ ,  $r^2 = 0.5312$ ,  $P = 0.0168$ ). Other comparisons demonstrated no marked correlations.

## 4. Discussion

We applied IMRT and MCO planning modalities to demonstrate the feasibility and to compare the optimization algorithm in patients with prostate cancer. When we compared 95% of the prescription dose for both plans, PTV coverage was slightly better than the mean of MCO plans and the mean of IMRT plans. While the mean rectum doses were found slightly less in the IMRT method in our study, McGarry et al. (2014) showed that the mean rectum doses were lower in the MCO method. We demonstrated that the mean bladder dose values were obtained lower in the IMRT method compared to the MCO method. This result is in agreement with the data presented by McGarry et al. (2014). Although the contours of shell or similar structures were not used for any of the treatment plans in RayPlan Software,

similar OAR's results were obtained in our study and in the research published by McGarry et al. (2014). Moreover, our results of gamma analyses were also compatible with that study. In the present study, both femoral head dose values for MCO plans were found superior to IMRT plans. If femoral head doses were sacrificed, better rectum and bladder dose values would have been obtained with MCO plans than IMRT plans. Meanwhile, all dose values for OAR's were obtained below RTOG 0415 dose constraints (Lee et al. 2016). Collectively, we showed that MCO planning produced marked dose reductions and sparing of bladder and right and left femoral heads in prostate cancer patients. MCO provided an efficient planning modality by enabling to view of trade-offs in real-time for prostate cancer treatment.

IMRT is currently the standard treatment technique for prostate cancer, allowing for the delivery of highly conformal dose distributions. Therefore, IMRT has been extensively used as a method to diminish unwanted effects of treatment or as a tool for dose escalation to augment cure rates and local control. IMRT usually utilizes multiple beam angles, each of which is subdivided into multiple beamlets of varying intensity, permitting for an infinite number of treatment plans. Although IMRT provides greater flexibility in treatment planning, in reality, the standard IMRT treatment planning can reduce the flexibility for the physicians to change radiation plans as a result of process inefficiency. So, the current IMRT treatment planning process does not encourage physician participation and takes too long. To avoid drawbacks offered by IMRT, a new approach to MCO is gaining prominence. Our results also suggest that Pareto surface-based MCO approach is effective, faster, and yields better plans. Several studies have reported that the amount of time spent on optimization can be reduced, and the performance of the treatment plan can be improved by using MCO (Craft et al. 2007, Craft et al. 2012, Hong et al. 2008). Additionally, toxicity and cure rates of prostate IMRT can both be influenced by inappropriate PTV margins. Thus, compared with the traditional planning strategy, the MCO planning strategy reduced significantly the dose on the bladder and femoral heads. These results are in line with the data provided by Wala et al. (2013) who reported that MCO planning decreased high-dose of the bladder and femoral heads effectively. So, MCO provided acceptable planning target volume coverage with high conformity to the primary tumor and achieved better sparing effect on OAR. Another important advantage that was noted in our study was the much fewer monitor units in MCO than in IMRT. Collectively, these data showed that the MCO planning modality has proven to be an effective approach, both in terms of planning efficiency and dosimetric quality.

The total mean planning time in the MCO method was found shorter than in the IMRT method. Generated Pareto plans for different probability provided easiness to choose the optimal plan. In our study, the mean total treatment planning time was found to be shorter than the study of Wala et al. (2013) who showed that the total planning time in the RayStation treatment planning system was about 60 minutes per case. Since all treatment plans were made using the same treatment planning software, it was more meaningful in terms of evaluating to total planning time for the Pareto-based MCO method in our study.

As a result, the planning process time is shortened. Nevertheless, it is not recommended that the number of Pareto plans produced in the MCO method should be preferred bigger than 40 because of extending process time. However, it is necessary to run the optimization process over and over again until the optimal solution is found in the IMRT method. Therefore,

this calculation process can take more than the mean of planning time for IMRT plans. The planning time per patient for MCO was markedly low. Previous studies have demonstrated that plan quality relying on minimizing a weighted sum of the objectives (i.e., RayArc) depends on the time spent optimizing a plan and the planner's experience (Bohsung et al. 2005, Batumalai et al. 2013).

The main limitation of this study is that the number of study subjects is relatively small, therefore, the results of the present study should be interpreted with caution.

## 5. Conclusions and Recommendations

In summary, this work demonstrates MCO can improve planning efficiency. MCO plans substantially diminished the dose of OARs and active planning time without sacrificing the target coverage. Our findings also show that MCO-based treatment planning is an effective method for generating high-quality IMRT plans for localized prostate cancer treatment. Further investigations could provide some insight into human vs. automated planning methods which is of interest in this era where artificial intelligence is being used in more and more situations.

## References

- Batumalai, V., Jameson, M. G., Forstner, D. F., Vial, P., & Holloway, L. C. (2013). How important is dosimetrist experience for intensity modulated radiation therapy? A comparative analysis of a head and neck case. *Practical radiation oncology*, 3(3), e99–e106.
- Bauman, G., Rumble, R. B., Chen, J., Loblaw, A., Warde, P., & Members of the IMRT Indications Expert Panel (2012). Intensity-modulated radiotherapy in the treatment of prostate cancer. *Clinical oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))*, 24(7), 461–473.
- Bodensteiner D. (2018). RayStation: External beam treatment planning system. *Medical dosimetry: official journal of the American Association of Medical Dosimetrists*, 43(2), 168–176.
- Bohsung, J., Gillis, S., Arrans, R., Bakai, A., De Wagter, C., Knöös, T., Mijnheer, B. J., Paiusco, M., Perrin, B. A., Welleweerd, H., & Williams, P. (2005). IMRT treatment planning:- a comparative inter-system and inter-centre planning exercise of the ESTRO QUASIMODO group. *Radiotherapy and oncology: journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, 76(3), 354–361.
- Breedveld, S., Storchi, P. R., & Heijmen, B. J. (2009). The equivalence of multi-criteria methods for radiotherapy plan optimization. *Physics in medicine and biology*, 54(23), 7199–7209.
- Cotruz, C., Lahanas, M., Kappas, C., & Baltas, D. (2001). A multiobjective gradient-based dose optimization algorithm for external beam conformal radiotherapy. *Physics in medicine and biology*, 46(8), 2161–2175.
- Craft, D. L., Halabi, T. F., Shih, H. A., & Bortfeld, T. R. (2006). Approximating convex pareto surfaces in multiobjective radiotherapy planning. *Medical physics*, 33(9), 3399–3407.
- Craft, D. L., Hong, T. S., Shih, H. A., & Bortfeld, T. R. (2012). Improved planning time and plan quality through multicriteria optimization for intensity-modulated radiotherapy. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 82(1), e83–e90.

- Craft, D., Halabi, T., & Bortfeld, T. (2005). Exploration of tradeoffs in intensity-modulated radiotherapy. *Physics in medicine and biology*, 50(24), 5857–5868.
- Craft, D., Halabi, T., Shih, H. A., & Bortfeld, T. (2007). An approach for practical multiobjective IMRT treatment planning. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 69(5), 1600–1607.
- D'Amico, A. V., Whittington, R., Malkowicz, S. B., Schultz, D., Blank, K., Broderick, G. A., Tomaszewski, J. E., Renshaw, A. A., Kaplan, I., Beard, C. J., & Wein, A. (1998). Biochemical outcome after radical prostatectomy, external beam radiation therapy, or interstitial radiation therapy for clinically localized prostate cancer. *JAMA*, 280(11), 969–974.
- Esen, K., & Demir Apaydın, F. (2020). Abdominal incelemelerde ileri BT teknikleri ve protokolleri. *Türk Radyoloji Seminerleri* 8, 21-37.
- Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Mathers, C., Parkin, D. M., Piñeros, M., Znaor, A., & Bray, F. (2019). Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods. *International journal of cancer*, 144(8), 1941–1953.
- Feuvret, L., Noël, G., Mazeron, J. J., & Bey, P. (2006). Conformity index: a review. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 64(2), 333–342.
- Gay, H. A., Barthold, H. J., O'Meara, E., Bosch, W. R., El Naqa, I., Al-Lozi, R., Rosenthal, S. A., Lawton, C., Lee, W. R., Sandler, H., Zietman, A., Myerson, R., Dawson, L. A., Willett, C., Kachnic, L. A., Jhingran, A., Portelance, L., Ryu, J., Small, W., Jr, Gaffney, D., ... Michalski, J. M. (2012). Pelvic normal tissue contouring guidelines for radiation therapy: a Radiation Therapy Oncology Group consensus panel atlas. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 83(3), e353–e362.
- Haas, O. C., Burnham, K. J., & Mills, J. A. (1998). Optimization of beam orientation in radiotherapy using planar geometry. *Physics in medicine and biology*, 43(8), 2179–2193.
- Hong, T. S., Craft, D. L., Carlsson, F., & Bortfeld, T. R. (2008). Multicriteria optimization in intensity-modulated radiation therapy treatment planning for locally advanced cancer of the pancreatic head. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 72(4), 1208–1214.
- Lee, W. R., Dignam, J. J., Amin, M. B., Bruner, D. W., Low, D., Swanson, G. P., Shah, A. B., D'Souza, D. P., Michalski, J. M., Dayes, I. S., Seaward, S. A., Hall, W. A., Nguyen, P. L., Pisansky, T. M., Faria, S. L., Chen, Y., Koontz, B. F., Paulus, R., & Sandler, H. M. (2016). Randomized Phase III Noninferiority Study Comparing Two Radiotherapy Fractionation Schedules in Patients With Low-Risk Prostate Cancer. *Journal of clinical oncology: official journal of the American Society of Clinical Oncology*, 34(20), 2325–2332.
- Low, D. A., Harms, W. B., Mutic, S., & Purdy, J. A. (1998). A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Medical physics*, 25(5), 656–661.
- McGarry, C. K., Bokrantz, R., O'Sullivan, J. M., & Hounsell, A. R. (2014). Advantages and limitations of navigation-based multicriteria optimization (MCO) for localized prostate cancer IMRT planning. *Medical dosimetry: official journal of the American Association of Medical Dosimetrists*, 39(3), 205–211.
- Rawla P. (2019). Epidemiology of Prostate Cancer. *World journal of oncology*, 10(2), 63–89.
- Teoh, J., Hirai, H. W., Ho, J., Chan, F., Tsoi, K., & Ng, C. F. (2019). Global incidence of prostate cancer in developing and developed countries with changing age structures. *PLoS one*, 14(10), e0221775.
- Thieke, C., Küfer, K. H., Monz, M., Scherrer, A., Alonso, F., Oelfke, U., Huber, P. E., Debus, J., & Bortfeld, T. (2007). A new concept for interactive radiotherapy planning with multicriteria optimization: first clinical evaluation. *Radiotherapy and oncology: journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, 85(2), 292–298.
- Thorwarth, D., Notohamiprodjo, M., Zips, D., & Müller, A. C. (2017). Personalized precision radiotherapy by integration of multi-parametric functional and biological imaging in prostate cancer: A feasibility study. *Zeitschrift für medizinische Physik*, 27(1), 21–30.
- Troeller, A., Yan, D., Marina, O., Schulze, D., Alber, M., Parodi, K., Belka, C., & Söhn, M. (2015). Comparison and limitations of DVH-based NTCP models derived from 3D-CRT and IMRT data for prediction of gastrointestinal toxicities in prostate cancer patients by using propensity score matched pair analysis. *International journal of radiation oncology, biology, physics*, 91(2), 435–443.
- Wala, J., Craft, D., Paly, J., Zietman, A., & Efstathiou, J. (2013). Maximizing dosimetric benefits of IMRT in the treatment of localized prostate cancer through multicriteria optimization planning. *Medical dosimetry: official journal of the American Association of Medical Dosimetrists*, 38(3), 298–303.
- Yu, T., Zhang, Q., Zheng, T., Shi, H., Liu, Y., Feng, S., Hao, M., Ye, L., Wu, X., & Yang, C. (2016). The Effectiveness of Intensity Modulated Radiation Therapy versus Three-Dimensional Radiation Therapy in Prostate Cancer: A Meta-Analysis of the Literatures. *PLoS one*, 11(5), e0154499.
- Zorlu, F., Zorlu, R., Divrik, R. T., Eser, S., & Yorukoglu, K. (2014). Prostate cancer incidence in Turkey: an epidemiological study. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*, 15(21), 9125–9130.



# Universal ve CNC Kontrollü Torna Tezgahlarında FMEA Yöntemiyle Risk Değerlendirme Uygulaması

Hamdi Emre Bağırın<sup>1\*</sup>, Reşit Erçetin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2395-9700), [hamdibagiran@stu.aydin.edu.tr](mailto:hamdibagiran@stu.aydin.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0432-6393), [resitercetin@aydin.edu.tr](mailto:resitercetin@aydin.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 24 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078405)

**ATIF/REFERENCE:** Bağırın, H.E., Erçetin, R. (2022). Universal ve CNC Kontrollü Torna Tezgahlarında FMEA Yöntemiyle Risk Değerlendirme Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 24-31.

## Öz

Gelişen teknoloji ve üretim ihtiyacı makine metal üretim sektörüne olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Makine metal üretim sektöründe en çok kullanılan tezgahlardan biri olan torna tezgahında, her yıl ciddi yaralanmalı iş kazaları ve kullanıma bağlı olarak meslek hastalıkları meydana gelmektedir. Bunu önleyebilmek için genel anlamda bir iş güvenliği kültürü oluşturmak gereklilik haline gelmiştir. Sektördeki küçük ve büyük işletmelerde mevcut tehlikeleri ve meydana gelebilecek kazaları önlemek adına öncelikle bunların tespit edilmesi ve çözüm önerileri getirebilmek için de risk değerlendirmesinin etkin bir biçimde yapılması gerekmektedir. Risk değerlendirmesi yaparken herhangi bir makinede mevcut olan bir tehlikeden kaynaklanan riskin yok sayılmayacağı, tehlikeli bütün durumların ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılıp, gerekli çözüm önerilerinin getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bir üniversite laboratuvarında kullanılmakta olan universal ve CNC torna tezgahlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından mevcut tehlike ve riskleri ortaya konulmuş, Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılarak risk öncelik sayıları hesaplanmıştır. Universal torna tezgahı için 6 önemli risk ve 4 esaslı risk tespit edilirken, CNC torna tezgahında 1 olası risk, 5 önemli risk ve 1 esaslı risk tespit edilmiştir. Çıkan bu sonuçlara göre, tehlikelerin önlenmesi için düzeltici faaliyetler belirlenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Yapılan bu çalışma ile hem imalat yapan atölyelerde bulunan, hem de laboratuvarlarda eğitim amaçlı kullanılan torna tezgahlarının kullanımında iş sağlığı ve güvenliği açısından olumlu katkılar sağlayacağını düşünmekteyiz.

**Anahtar Kelimeler:** İş sağlığı ve güvenliği, İş kazası, Metal işleme, Risk değerlendirme, FMEA yöntemi.

## Risk Assessment Application with FMEA Method in Universal and CNC Controlled Lathe Machines

### Abstract

Developing technology and production needs are increasing the need for the machinery metal production sector. On the lathe machine, is one of the most widely used machines in metal production sector, work accidents and serious occupational diseases occur every year. In order to prevent this, it has become a necessity to create an occupational safety culture in general. In order to prevent the existing hazards and possible accidents in small and large enterprises in the sector, it is necessary to identify them first and to make an effective risk assessment in order to offer solutions. When making a risk assessment, it becomes clear that the risk arising from a hazard in any machine cannot be ignored, that all dangerous situations should be revealed in detail and necessary solutions should be proposed accordingly. In this study, the existing hazards and risks in terms of occupational health and safety of universal and CNC lathes used in a university laboratory were revealed, risk assessment was carried out with Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method and risk priority numbers were calculated. While 6 important risks and 4 fundamental risks were determined for the universal lathe, 1 possible risk, 5 important risks and 1 essential risk were determined for the CNC lathe. According to these results, corrective actions were determined to prevent hazards and solution suggestions were presented. We think that this study will make positive contributions to occupational health and safety in the use of lathes, which are both in manufacturing workshops and used for educational purposes in laboratories.

**Keywords:** Occupational health and safety, Work accident, Metal processing, Risk assessment, FMEA method.

\* Sorumlu Yazar: [hamdibagiran@stu.aydin.edu.tr](mailto:hamdibagiran@stu.aydin.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde hızla gelişen ve değişen dünya standartlarını yakalamak için, sadece teknolojik olarak buna ayak uydurmak yetmez. Bunu sağlayabilmek adına her alanda olduğu gibi sanayi alanında da ilerlemek ve üretim kalitesini yukarıya taşıyabilmek için iş güvenliğini ön plana çıkarmak gerekmektedir. Çünkü iş güvenliğinin maddi ve manevi kazanım ve kayıpları göz ardı edilemeyecek kadar çoktur. Ülkemizde özellikle sanayi alanında hızla gelişen adımlar atılırken iş güvenliği kavramını bu adımlara ekleyerek ilerlemek bir zorunluluk haline gelmiştir (Ulusoy vd., 2018).

Maalesef ülkemiz, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde Dünyada çok iyi bir noktada bulunmamaktadır. SGK' nın 2017 yılı verileri incelendiğinde, önceki yıllardan farklı olarak bağımsız çalışanların geçirdiği iş kazası ve meslek hastalıkları bilgilerine de yer verilmiştir. Ülkemizde 2017 yılında gerçekleşen 359653 iş kazasında toplam 1633 kişi hayatını kaybetmiştir. Ölümlü iş kazası oranı yüz binde kişide 9,97 olarak kayıtlara geçmiştir. Ayrıca 691 adet meslek hastalığı da kayıtlara geçmiştir. İş kazaları sektör olarak incelendiğinde ise makine imalat sektörü üst sıralarda yer almaktadır. Fabrikasyon metal ürünleri imalat sektöründeki iş kazası sayısı 23627, oranı ise %6,57' tir. Ölümlü iş kazalarının bakıldığında bu sayı 36, oranı ise %2,2' dir (Sosyal Güvenlik Kurumu [SGK], 2017). Sektöre bakıldığında iş kazası oranları son yıllarda azalma eğiliminde gibi görülse de, tüm iş kolları içinde azımsanmayacak bir orana sahip olduğu görülmektedir (Akman Duran, 2019).

Son yıllarda artan iş kazalarının önüne geçilmesinin en temel yolu risk değerlendirilmesidir. Bunun için risk değerlendirmesinin çok dikkatli ve titiz bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca iş kazalarını önleme maliyetinin, iş kazası olduktan sonraki maliyetten çok daha ucuz olduğunu da hatırlatmak gerekir (Koç ve Akbiyik, 2011).

Bu çalışmada, makine ve metal üretim sektöründe çok sık kullanılan universal ve CNC torna tezgahlarının mevcut tehlikeleri ile bu tehlikelerden kaynaklanan risklerin Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemli ile risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiş, universal ve CNC torna tezgahlarının risk değerlendirme sonucuna göre kıyaslanması yapılmıştır. Uygulama için bir üniversitenin makine laboratuvarındaki universal ve CNC torna tezgahları incelenmiştir. Ayrıca bu tezgahlarda koruyucu ve önleyici önlemler alınırken dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında önerilerden bahsedilerek, gerçekleştirilebilecek olası iş kazalarının önlenmesi amaçlanmıştır.

### 1.1. Torna Tezgahları ve Barındırdığı Tehlikeler

Torna ve CNC tezgahları metal üretim sanayinde kullanılan en temel tezgahlardandır. Ayrıca çalışma durumları bakımından bu tezgahlar, iş sağlığı ve güvenliği açısından da üzerine düşülmesi gereken iş ekipmanları arasında yer alırlar. Bu nedenle torna ve CNC gibi takım tezgahlarının güvenilirliğini artırmak ve üretim sürecinde olası riskleri azaltmak, endüstrinin geleceği açısından oldukça önemli hale gelmiştir (Lo vd., 2019).

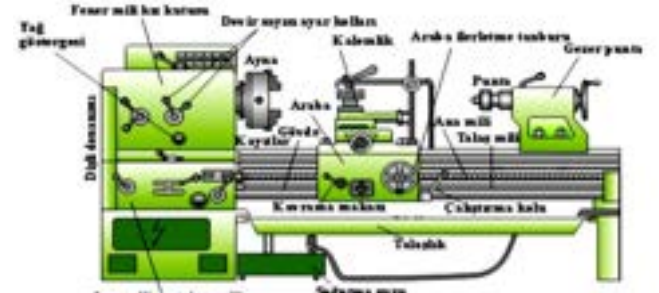
#### 1.1.1. Universal Torna Tezgahı

Torna tezgahı, biri hareketli diğeri sabit olan iki parçanın iş parçasına silindirik şekil vermesini sağlayan takım tezgahlarından

birisidir (Demirel, 2016). Silindirik parçaları işlemeye yarayan torna tezgahında işlenecek parça, tezgahın ayna denilen bölümüne bağlanarak döndürülür. Bu esnada kalem adı verilen takım, işlenen parçaya değdirilip üzerinde yavaşça ilerletilerek talaş kaldırma işlemini gerçekleştirir (Bozdemir vd., 2006).

Torna tezgahlarında silindirik ve konik yüzeylerin işlenmesinin yanı sıra, vida açma, delik delme, yay sarma, kılavuz salma gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Ayrıca demir, çelik, plastik ve tahta gibi malzemelere de şekil verme uygulamaları yapılabilmektedir.

Universal tornanın kısımları aşağıdaki şekilde Şekil 1' de gösterilmektedir.



Şekil 1. Torna Tezgahının Kısımları (MEGEP, 2016).  
(Figure 1. Parts of the Lathe)

Universal torna tezgahlarında, gövde, fener mili, ana mili ve talaş mili hız kutularından oluşan sabit kısımlar ile ayna, gezer punta ve araba adı verilen hareketli kısımların meydana getirdiği iki ana kısım bulunmaktadır. Alınacak güvenlik tedbirlerinden önce bu parçaların içerdiği tehlike ve risklerin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

#### 1.1.2. Universal Torna Tezgahlarında Bulunan Tehlikeler

Torna tezgahındaki en önemli tehlikeleri ayna adı verilen dönen parça meydana getirmektedir. Bu parça yüksek hızda döndüğünden el, kol, vb uzuvların kaptırılması riski çok yüksektir. Bu nedenle mutlaka ayna koruyucusu kullanılmalıdır. Bu koruyucunun açılıp kapanabilen özellikte olması, hatta bunu kullanmayı mecbur kılmak için kapanmadan kullanılmayı engelleyen basit bir switch anahtar sisteminin eklenmesi de iş güvenliği açısından oldukça önemlidir.

Mevcut en önemli tehlikelerden birisi de işlem gören parçadan sıçrayabilecek olan talaş parçalarıdır. Bu metal parçaları özellikle göze teması söz konusu olduğunda ciddi yaralanma riski oluşturmaktadır. Bunu önlemek için işlenen parçanın görülmesini engellemeyen hareketli ve şeffaf bir koruyucu siperlik kullanılmalıdır (Uğurlu, 2017).

Ayrıca tezgaha bağlanan ve işlenen parçaların çalışma esnasında yüksek hızlarda dönmesi de en önemli tehlikelerden biridir. Bu nedenle torna üzerine eklenecek koruyucu ekipmanlar ile işçinin gerekli koruyucu ekipmanları kullanmasına önem verilmelidir.



### 1.1.3. CNC Torna Tezgahı

CNC tezgahlar, bilgisayar tabanlı üretim yapmaya olanak sağlayan ve metal işleme olayının kapalı bir kabin içerisinde gerçekleştiği sistemlerdir. Parça işlemenin kısa sürmesi, üretilen parçaların seri ve özdeş olarak ortaya çıkarılması ve universal torna tezgahında üretilmeyen parçaların üretilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Yapılacak işleme göre devir sayısı, kesici türü, işlem basamakları gibi birçok bilgi bilgisayar altyapısı sayesinde programda belirlenerek işlemlerin çok daha kısa sürede ve güvenli bir şekilde yapılmasına olanak verir. Günümüzde CNC torna tezgahları karmaşık geometriye sahip parçaların işlenmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Keleş vd., 2006).



Şekil 2. CNC Torna Tezgahı (MEGEP, 2016)  
(Figure 2. CNC Lathe)

### 1.1.4. CNC Torna Tezgahlarında Bulunan Tehlikeler

Bu tezgahlarda işlem, işlenecek parçanın bağlanması ve bilgisayar ile yapılmak istenen işlem doğrultusunda bilgilerin girilmesi, dolayısıyla çalışan kişinin herhangi bir müdahalesi olmaksızın gerçekleşmesi esasına dayanır. Bu sayede oldukça güvenli bir iş ortamı sağlanmış olur. CNC tezgahlarında tehlike olarak sayılabilecek en büyük durum, işlem sırasında kabin kapağının açılması olarak gösterilebilir. Bunu önlemek için kabin kapağının işlem sırasında açılması esnasında sistemin elektrik enerjisini kesebilecek bir switch sisteminin bulunması gerekmektedir. Başka bir öneri olarak ise işlemin başlatılmasından bitişine kadar kabinin açılmasını engelleyecek bir kilit sistemi kullanılabilir. Fakat CNC tezgahlar bu güvenlik önlemleriyle üretilse de, çalışanların ayar, sıfırlama gibi işlemleri yapabilmek için bu kilit sistemlerini iptal ettikleri görülebilmektedir (Uçum, 2020).

Ayar veya sıfırlama gibi kabin kapağının açılmasını gerektiren durumlarda tezgahın çalışma hızı çok düşük olduğundan tehlike durumu söz konusu olmasa da, bu kilit sistemlerinin devre dışı bırakılması çare değildir. Böyle durumlarda, ayar veya sıfırlama yaparken sistemin çalışmasını engelleyen, parça işleme sırasında ise aktif duruma gelen bir sistem tasarımı çok daha etkili olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Risk Değerlendirmesi

Son yıllarda makineleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte ülkemizde üretim ve rekabet üst seviyelere çıkmıştır. Bu durum aynı zamanda çalışanların sağlık ve güvenliğine yönelik riskleri e-ISSN: 2148-2683

de oldukça arttırmıştır. Ülke olarak ölümlü iş kazalarında Avrupa ve Dünya sıralamasında çok da iyi bir yerde olduğumuz söylenemez. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), WHO (Dünya Sağlık Örgütü), TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu)'in verilerine göre Türkiye iş kazası sıralamasında Avrupa'da birinci, dünyada ise üçüncü sırada yer almaktadır (Ulusoy vd., 2018). SGK tarafından tutulan iş kazası ve meslek hastalıkları istatistikleri her yıl paylaşılmaktadır. Bu istatistikleri oluşturan kazalar ve hastalıklar kayıt altına alınmış olanlardır. Kuruma bildirilmeyen yani kayıt dışı olanlar da hesaba katıldığında bu sayı çok daha yukarılara çıkmaktadır.

İş güvenliğini çalışma yaşamına katarken, proaktif yaklaşımla yani kazayı önlemek adına gerekli tüm tedbirleri alarak kazanın olma olasılığını en az seviyeye indirmeyi amaçlamak önemlidir. Proaktif yaklaşımın olmazsa olmazı da iyi hazırlanmış bir risk değerlendirmesidir. Son yıllardaki veriler incelendiğinde maddi ve manevi kayıpların azaltılması için risk yönetim ve değerlendirme sürecinin çok iyi şekilde yürütülüp uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Horozoğlu, 2017).

30 Haziran 2012 tarihine 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile daha önceden yürürlükte olan 4857 sayılı İş Kanunu'na göre işverenlere daha kapsamlı sorumluluklar getirilmiştir. Bu sorumluluklardan belki de en önemlisi risk değerlendirmesidir. Bu kanun ile risk değerlendirmesi zorunlu hale getirilip, iş kazası ve meslek hastalıklarının azaltılması hedeflenmiştir. İşveren sadece risk değerlendirmesini yapmakla sorumluluğunu yerine getirmiş olmamakla beraber, bunun yanı sıra uygulama ve takip etme süreçlerini de aynı hassasiyetle yapması gerekmektedir. (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı [ÇSGB], 2012).

İncelemesini yaptığımız makine metal üretim sektörü birçok tehlikeyi içinde barındırmaktadır. Bu tehlikelerden yola çıkarak işçiler ve ortamdaki kişiler maddi ve manevi zararlara, kaza ve yaralanmalara maruz kalabilmektedirler. Bunu engellenmesi adına risk değerlendirmesinin en iyi şekilde uygulanması ve yönetilmesi gerekmektedir.

#### 2.1.1. Risk Değerlendirme Yöntemleri

İş yerlerinde bulunan mevcut tehlikeler faaliyet durumuna bakılarak en uygun risk değerlendirme yöntemiyle analiz edilmelidir. Bu sayede tehlikeli durumlar açıkça ortaya çıkarılarak olumsuz durumları en aza indirmek hedeflenmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirmesi yaparken, proaktif ve reaktif olmak üzere iki yaklaşımdan söz edilebilir. Proaktif yaklaşımda amaç, kaza olmadan tedbirlerin alınması ve önleyici yöntemlerin uygulanmasıdır. Reaktif yaklaşımda ise, kaza meydana geldikten sonra yapılan düzenlemeler söz konusudur. Tahmin edileceği üzere artık reaktif yaklaşım yerini proaktif yaklaşıma bırakmıştır. Risk değerlendirmesi yaparken, çalışılan ortamda var olan tehlikelerden kaynaklı riskleri belirlemek ve bu risklerin seviyelerinin tespit edilip önleyici faaliyetler sunmak gerekmektedir. Riskleri değerlendirmek için birçok teknik mevcut olup, bunlar sonuçları değerlendirme işlemi olarak kantitatif ve kalitatif olarak iki gruba ayrılır. (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)

Tablo 1. Risk değerlendirme yöntemleri (Ceylan ve Başhelvacı, 2011) (Table 1. Risk assessment methods)

Sıra No	Risk Değerlendirme Yöntemi
1	Ön Tehlike Analizi
2	Birincil Risk Analizi
3	Risk Haritası
4	İş Güvenliği Analizi
5	Göreceli Sıralama-Dow ve Mond İndisleri Analizi
6	Süreç/Sistem Kontrol Listeleri
7	İşlemleri İnceleme Tekniği
8	Risk Analizi
9	Olsa Ne Olur? Analizi
10	Tehlike ve İşletebilirlik Analizi
11	Hata Türleri, Etkileri ve Kritiklik Analizi
12	Hata Ağacı Analizi
13	Olay Ağacı Analizi
14	İnsan Hatası Analizi
15	Neden – Sonuç Analizi
16	İnsan Güvenilirlik Değerlendirmesi
17	İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği
18	Hiyerarşik Görev Analizi
19	Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı Analizi
20	Güvenlik Bariyer Diyagramları
21	Fine-Kinney Modeli
22	Zürih Tehlike Analizi
23	Makine Risk Değerlendirmesi
24	Tehlike Erken Uyarı Modeli
25	Ortalamalardan Sapma Tekniği
26	Risk Değerlendirme Tablosu a) L Tipi Matris b) X Tipi Matris

Tablo 1’ de görülen risk değerlendirmelerinin kendilerine özgü kantitatif yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmamızda, kantitatif risk değerlendirme yöntemlerinden olan FMEA (Hata modu ve etkileri analizi) yöntemi kullanılmıştır.

### 2.1.2. Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA)

FMEA yöntemi, hataları tespit etmenin yanı sıra önleyici faaliyetleri de dikkate almaktadır. Yalnızca hatayı belirlemek yeterli olmamakta, hatanın çözümü için tedbirler üretmek gerekmektedir. FMEA’ da hata olmadan önce yani proaktif bir yaklaşımla işlemin en kaliteli şekilde çalışmasını sağlar. FMEA diğer risk değerlendirmelerinden farklı kılan unsur “Fark edilebilirlik” kavramıdır. Bu sayede sistemde oluşabilecek riskler önceden saptanabilir ve bunun sonucunda da iyileştirme faaliyetleri net bir şekilde ortaya konulabilir (Erginel, 2004).

Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) yönteminde anahtar kavram hata türüdür. Hata türü literatürde temel olarak iki şekilde tanımlanmaktadır. “Hata oluşturan ya da doğru çalışmayan şey” ve “bir nesne (parça/madde/ürün/ekipman) ya da sürecin kendisinden beklenen fonksiyon ya da zorunlulukları yerinde getirememeye ya da karşılayamama şeklindedir” (Birgören ve Yalçınkaya, 2019).

Sistemin bütününde potansiyel hataların tanımlanmasının yerine potansiyel riskler tanımlandığında sistemin bütünlüğü içerisinde riskler de değerlendirilmiş olur. Bu yöntem sistemdeki hatalar hakkında bilgi vermekte ve zarar verecek olası durumların

azaltılması sağlanmaktadır. Kısacası potansiyel riskler; olasılık, şiddet ve saptanabilirliğinin bileşkesinden oluşmaktadır (Pillay ve Wang, 2003).

FMEA yönteminin üç temel unsuru şu şekildedir;

- Şiddet (S): Hatanın gerçekleşmesi durumunda sonuçların derecesini gösteren değerdir. (1-10 arası)

Tablo 2. FMEA risk değerlendirmesi şiddetin etkileri ve dereceleri tablosu (Pillay ve Wang, 2003). (Table 2. Table of effects and degrees of severity of FMEA risk assessment)

Etkisi	Şiddetin Etkileri (S)	Derecesi
Uyarısız Tehlikeler	Felakete sebep olan hata	10
Uyarısız Tehlikeler	Toplu ölümlere yol açabilecek ve yüksek zararlara sebep verecek hatalar	9
Çok Yüksek	Toplu ölümlere yol açabilecek ve yüksek zararlara sebep verecek hatalar	8
Yüksektir	Çalışılan ekipmanın tamamen kullanılamaz hale gelen, ölümlere, zehirlenmelere vb. sebep olan hatalar	7
Orta	Sistemin çalışmasını düşüren, uzuv kaybı, ağır yaranma vb. neden olan hatalar	6
Düşüktür	Kırıklar, 2.derecede oluşan yanıklar beyin sarsıntıları vb. sebep olan hatalar	5
Çok düşüktür	İncinmeler, sıyrıklar, küçük ve hafif kesikler vb. gibi hafif şekilde yaralanmalara neden olan hatalar	4
Küçüktür	Sistemde ağırlaştırmaya neden olan hatalar	3
Çok Küçüktür	Sistemde karmaşaya yol açan hata	2
Yoktur	Herhangi bir Etkisi Oluşmaz	1

- Olasılık (P): Hatanın zaman içerisinde gerçekleşme sıklığını gösteren değerdir. (1-10 arası)

Tablo 3. FMEA risk değerlendirmesi olasılık ihtimalleri tablosu (Pillay ve Wang, 2003). (Table 3. FMEA risk assessment probabilities table)

OLASILIK (P)			
Hata Olasılıkları	Hatanın İhtimalleri		Derecesi
Çok Yüksek: Kaçınılmaz bir hata	½’ den fazla	%50,0	10
	1/3	%33,3	9
Yüksek: Hataların tekrarlanması	1/8	%12,5	8
	1/20	%5,0	7
Orta: Ara sıra olan hata	1/80	%1,25	6
	1/20	%5,0	5
	1/2000	%0,05	4
Düşük: Az olan hata	1/15000	%0,006	3
	1/150000	%0,0006	2
Çok az: Hata olasılığı yok	1/1500000		1

- Fark edilebilirlik (D): Hatanın istenmeyen sonuçlara neden olmadan tespit edilebilme derecesini gösteren değerdir. (1-10 arası)

Tablo 4. FMEA risk değerlendirmesi fark edilebilirlik tablosu (Pillay ve Wang, 2003). (Table 4. FMEA risk assessment detectability chart)

FARK EDİLEBİLİRLİLİK (D)		
Fark Edilebilirlikler	Fark edilebilirlik ihtimali	Derecesi
Fark Edilmez	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi mümkün değil	10
Çok az edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi çok uzaktır.	9
Az edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi uzaktır.	8
Çok Düşük Edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi düşüktür.	7
Düşük edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi çok düşüktür.	6
Orta edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi ortadır.	5
Yüksek ortalama edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi yüksek ortadır.	4
Yüksek Edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi yüksektir.	3
Çok Yüksek Edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi çok yüksektir.	2
Kesin Edilir	Hatanın nedeni ve keşif edilmesi kesindir.	1

Tablo 2, 3 ve 4'te yer alan şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik bileşenlerinin belirlenen sayısal değerlerinin çarpımı sonucunda Risk Öncelik Sayısı (RÖS) bulunmaktadır. Bu değer, sorunların tespit edilmesi ve önleyici tedbirlerin hayata geçirilmesini sağlamaktadır (Durhan, 2006; Toptancı ve Erginel, 2017).

FMEA'da Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplaması yaparken kullanılan formül, (1)

$$RÖS = S \times P \times D \text{ şeklindedir.} \quad (1)$$

Aşağıda RÖS değerlerini gösteren tablo görülmektedir.

Tablo 5. FMEA risk değerlendirmesi RÖS değerleri tablosu (Pillay ve Wang, 2003). (Table 5. FMEA risk assessment ROS values table)

RÖS Değerleri	Önlemler
RÖS<20	İlgili kişilere durumdan haber et
20<RÖS<40	Kontrolleri ve eğitimleri sıklaştır
40<RÖS<100	Kontrol sistemini kontrol et eğitim ver
100<RÖS<250	Önlemleri al ve planla
250<RÖS	İşi Mutlaka durdur ve çalışmalarını izin verm

RÖS değerinin 100'den büyük olduğu hatalar birçok işletme tarafından düzeltici önlem alınması gereken ve risk taşıyan hatalar olarak kabul görmektedir (Özakın, 2021). FMEA yöntemi

ülkemizde sıklıkla kullanılan bir risk değerlendirme yöntemi olup, hata analizinin yapılabilmesi bakımından diğer yöntemlere göre daha avantajlı sonuçlar ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır (Durmuş vd., 2021).

## 2.2. Uygulama: Universal Torna ve CNC Torna Tezgahlarında Risk Değerlendirmesi

Bu bölümde bir üniversitenin makine laboratuvarında kullanılan universal ve CNC torna tezgahlarında, Tablo 6' da verilen mevcut bazı tehlikeler belirlenerek FMEA yöntemiyle risk değerlendirmesi yapılmış ve çıkan sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 6. Torna tezgahlarında oluşabilecek tehlikeler (Table 6. Hazards that may occur in lathes)

Sıra No	Torna Tezgahlarında Oluşabilecek Tehlikeler
1	Döner aksamlara, el, kol vb. herhangi bir uzvun kaptırılma tehlikesi
2	Enerji izolasyonlarının iyi olmadığı durumlarda, elektrik akımına kapılmak
3	Ayna parçasında unutulmuş ayar anahtarının fırlama tehlikesi
4	Parçanın düzgün sabitlenmemesi neticesinde fırlama tehlikesi
5	İş kıyafetinde söküklere yırtıklar olması, saat, kolye vb. dolayı uzvun kaptırılması
6	Döner aksamlara müdahale edilmesi durumunda sarma tehlikesi
7	Makine çalışırken gürültüye maruz kalma tehlikesi ve buna bağlı olarak işitme kaybı ve iletişim bozukluğu
8	Parça işlenirken meydana gelen spiral talaşlara elle müdahale etme. Talaş çekeceğini kullanmama tehlikesi
9	Gerektiğinde talaş sperliği kullanmama tehlikesi
10	Soğutma için kullanılan bor yağları nedeniyle ellerde tahriş ve zemine sızması sonucu kaygan zemin tehlikesi

Şekil 2' deki universal torna tezgahı incelendiğinde, çalışan için birçok tehlikenin olduğu görülmektedir. Bu tehlikeler göz önünde bulundurularak meydana getireceği riskler tablo 6' da sıralanmış ve mevcut duruma göre risk değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 2. Universal torna tezgahı (Figure 2. Universal lathe)

Tablo 7. Universal Tornanın FMEA ile Risk Değerlendirmesi (Table 7. Risk Assessment of Universal Lathe with FMEA)

RİSK DEĞERLENDİRME RAPORU				FMEA METODU								
BÖLÜM: Makine Laboratuvarı				Kısımlar: Üretim Alanı								
NO	Ana faaliyet	Hata kaynağı	Hatanın kazaya dönüşmesinde olası durum	Etkilenen kişiler	RİSK DERECELENDİRMESİ				Karar	Düzeitici faaliyet	Sorumlular	Süre
					Olasılık (P)	Şiddet (S)	Fark Edilebilirlik (D)	Risk Değeri				
1	Torna tezgahında çalışma	Göze metal talaşı kaçması	Yaralanma, gözün zarar görmesi	Tüm işçiler	7	6	5	210	Esaslı risk Planla	Çalışanın iş gözlüğü kullanması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
2	Torna tezgahında çalışma	İş önlüğünün tezgaha kapıtılması	Parmakların ve kolların ciddi yaralanması	Tüm işçiler	3	5	5	75	Önemli risk Eğitim ver	Önlüklerin lastikli olması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
3	Torna tezgahında çalışma	Ayna ayar anahtarının fırlaması	Çalışanın ve çevrede bulunanların ciddi yaralanması	Tüm işçiler	5	5	5	125	Esaslı risk Önlem al	Ayna koruyucu ekipmanın olması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
4	Torna tezgahında çalışma	Parçanın fırlaması	Çalışanın ve çevrede bulunanların ciddi yaralanması	Tüm işçiler	5	6	4	120	Esaslı risk Önlem al	Tezgah önünde koruyucu olması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
5	Torna tezgahında çalışma	Koruyucusuz çalışma	Yaralanma, uzuv kaybı	Tüm işçiler	7	6	4	168	Esaslı risk Planla	Makine koruyucusu kullanılması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
6	Torna tezgahında çalışma	Gürültü	İşitme kaybı	Tüm işçiler	5	4	3	60	Önemli risk Kontrol et	Gürültü ölçümünün yapılması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
7	Torna tezgahında çalışma	Elektrik çarpması	Kalp ritminin bozulması	Tüm işçiler	2	5	5	50	Önemli risk Kontrol et	Topraklama kontrolü ve ölçümünün yapılması	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
8	Torna tezgahında çalışma	Spiral talaşlara elle müdahale	El ve parmakların yaralanması	Tüm işçiler	4	4	3	48	Önemli risk Eğitim ver	Uygun iş eldiveni giyilmesi	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
9	Torna tezgahında çalışma	Soğutma maddesi nedeniyle ellerde tahriş	Ciltte deformasyon	Tüm işçiler	5	4	3	60	Önemli risk Eğitim ver	Uygun iş eldiveni giyilmesi	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde
10	Torna tezgahında çalışma	Soğutma maddesinin zemine sızması sonucu kayma/düşme	Kayma/düşme ve buna bağlı olarak yaralanma	Tüm işçiler	6	4	3	72	Önemli risk Kontrol et	İşleme başlamadan önce zeminin kontrolü	Laboratuvar Sorumlusu	Yıl içinde

Tablo 8. Universal Tornanın FMEA ile Risk Değerlendirme Durum Özeti (Table 8. Risk Assessment Status Summary of Universal Torna with FMEA)

RÖS <20 Öne msiz risk	20<RÖS <40 Olası Risk	40<RÖS <100 Önemli Risk	100<RÖS <250 Esaslı Risk	250<RÖS Kabul Edilm ez	Risk ortala ması
0 adet	0 adet	6 adet	4 adet	0 adet	98,80 Önemli Risk

Tablo 7'ye bakıldığında, universal tornada var olan tehlikeler neticesinde bir çok riskin bulunduğu, gerekli tedbirler alınmadığı takdirde iş kazalarının kaçınılmaz olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Hata kaynaklarından yola çıkarak yaptığımız risk değerlendirmesinde 6 önemli risk ve 4 esaslı risk saptanmış olup, bunların giderilmesi veya en aza indirgenmesi açısından alınacak önlemler tablo 7'de belirtilmiştir.



Şekil 3. CNC Torna Tezgahı (Figure 3. CNC Lathe)

Tablo 9. CNC Tornanın FMEA ile Risk Değerlendirmesi (Table 9. Risk Assessment of CNC Lathe with FMEA)

RİSK DEĞERLENDİRME RAPORU				FMEA METODU								
BÖLÜM: Makine Laboratuvarı				Kısımlar: Üretim Alanı								
NO	Ana faaliyet	Hata kaynağı	Hatanın kazaya dönüşmesinde olası durum	Etkilenen kişiler	RİSK DERECELENDİRMESİ				Karar	Düze itici faaliyet	Sorumlular	Süre
					Olasılık (P)	Şiddet (S)	Fark Edilebilirlik (D)	Risk Değeri				
1	CNC Torna tezgahında çalışma	Switch arızası durumu	Yaralanma, gözün zarar görmesi	Tüm işçiler	7	6	5	210	Esaslı risk planla	Kapasitif sensör uygulanması ile switch kapanmadığı durumlarda sistemin çalışmasına izin vermemesi	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
2	CNC Torna tezgahında çalışma	Operasyon sırasında yeterli soğutmanın olmaması durumunda malzeme alınırken el yanması	Ellerde yanık oluşması	Tüm işçiler	4	4	3	48	Önemli risk Eğitim ver	Soğutma sıvısını kontrol eden motorun çalışmasının kontrolü ve uygun iş eldiveni giyilmesi	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
3	CNC Torna tezgahında çalışma	Makine koruyucu kapağının açık olması durumunda soğutma sıvılarının sıçraması ve cilde teması	Ciltte deformasyon	Tüm işçiler	4	6	1	24	Önemli risk Eğitim ver	İş gözlüğü kullanılması	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
4	CNC Torna tezgahında çalışma	Gürültü	İşitme kaybı	Tüm işçiler	5	4	3	60	Önemli risk Kontrol et	Gürültü ölçümünün yapılması	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
5	CNC Torna tezgahında çalışma	Elektrik çarpması	Kalp ritminin bozulması	Tüm işçiler	2	5	5	50	Önemli risk Kontrol et	Topraklama kontrolü ve ölçümünün yapılması	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
6	CNC Torna tezgahında çalışma	Spiral talaşlara elle müdahale	El ve parmakların yaralanması	Tüm işçiler	4	4	3	48	Önemli risk Eğitim ver	Uygun iş eldiveni giyilmesi	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde
7	CNC Torna tezgahında çalışma	Soğutma maddesi nedeniyle ellerde tahriş	Ciltte deformasyon	Tüm işçiler	5	4	3	60	Önemli risk Eğitim ver	Uygun iş eldiveni giyilmesi	Laboratuvar sorumlusu	Yıl içinde

Tablo 6' da verilen tehlikelerden bazıları CNC torna tezgahında bulunmadığından, bu tehlikelerden 7 tanesi risk değerlendirme kapsamına alınmıştır.

Tablo 10. CNC Tornanın FMEA ile Risk Değerlendirme Durum Özeti (Table 10. Risk Assessment Status Summary of CNC Lathe with FMEA)

RÖS <20 Önemli risk	20<RÖS <40 Olası Risk	40<RÖS <100 Önemli Risk	100<RÖS <250 Esaslı Risk	250<RÖS Kabul Edilemez	Risk ortalaması
0 adet	1 adet	5 adet	1 adet	0 adet	71,42 Önemli Risk

CNC torna tezgahında mevcut olan hata kaynakları ve bunlar için alınması gereken tedbirler tablo 9' da sıralanmıştır. Ayrıca tablo 10' a bakıldığında 1 olası risk, 5 önemli risk ve 1 esaslı risk görünmekte olup, universal torna tezgahına kıyasla bu risklerin

hem risk puanlarının hem de meydana gelebilecek iş kazalarının etkilerinin çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan risk değerlendirilmesi ile tablo 7 ve 9' da önemli ve esaslı risklere karşı alınacak önlemler belirtilerek, düzeltici faaliyetler tek tek sıralanmıştır. Universal torna tezgahında mevcut olan hata kaynaklarının risk öncelik sayılarına bakıldığında RÖS değeri 100' ün altında 6 önemli risk bulunurken bu sayı CNC torna tezgahında 5 olarak ortaya çıkmıştır. Bu önemli riskler için FMEA yönteminin öngördüğü şekilde kontrollerin sağlanıp gerekli eğitimlerin verilmesi sağlanmalıdır. Universal torna tezgahında RÖS değeri 100' ün üzerinde 4 adet esaslı risk bulunmaktadır. Bu sayı CNC torna tezgahında sadece 1 ile sınırlı kalmıştır. Bu esaslı risklerin önlenmesi için planlama yapılarak önlemlerin en kısa sürede alınması hedeflenmelidir. Tüm bu riskler ele alındığında, universal torna tezgahındaki hata kaynaklarına bağlı olarak mevcut tehlikelerin ve barındırdığı risklerin, CNC tezgaha oranla çok daha fazla ve iş kazasına açık olduğu görülmektedir. CNC tezgahlarda işin kapalı ortamda ve bilgisayar destekli olarak gerçekleştirilmesi hem çalışan işçinin

hem de aynı ortamda bulunan diğer işçilerin güvenliği açısından büyük bir avantaj olduğu söylenebilir. CNC tezgahlarda bulunan az sayıdaki tehlikelerin ise, gerekli tedbirler alındıktan sonra rahatlıkla giderilebileceği yaptığımız bu çalışmadan da görülmektedir. Bununla birlikte, işçilerin torna tezgahı başında geçirdiği zamanla orantılı olarak güvenliklerinin yanı sıra yorgunluk, stres, gürültü gibi etkenler neticesinde yaptıkları işlerde sağlıklarını tehlikeye atabilecek dalgınlık ve dikkat dağınıklığının da önenebilmesi için, CNC tabanlı sistemler universal sistemlere göre oldukça güvenlidir. Mevcut tüm tehlikelerin giderilmesiyle çok daha güvenli bir üretim süreci oluşturulup, çalışanların can güvenliği büyük ölçüde sağlanmış olacaktır.

İş güvenliğinin yanı sıra yapılacak iş için harcanan iş gücü ve zamanın CNC sistemlerle daha aşağılara çekilebildiği de bir diğer önemli noktadır. Bu sayede üretim adetleri ve harcanan iş gücü optimal düzeyde kullanılmış olacak ve üretim hedeflerine daha kısa sürede ve en önemlisi de daha güvenli bir şekilde ulaşılabilecektir.

## Kaynakça

- Akman Duran, P. (2019). Fabrikasyon metal ürünleri imalatında iş kazalarının projeksiyonu ve risklere ilişkin alınacak önlemler, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019.
- Birgören, B., & Yalçınkaya, M. (2019). İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri Ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı. International Journal Of Engineering Research And Development, 11(1), 41-50.
- Bozdemir, M., Mendi, F., & Can, H. (2016). Takım Tezgahlarının Sistem Bileşenlerinin Seçimi İçin Uzman Sistem Destekli Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 51-66.
- Ceylan, H. (2011). Türkiye'deki iş kazalarının genel görünümü ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 18-24.
- Ceylan, H., & Başhelvacı, V. S. (2011). Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: Bir uygulama. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 25-33.
- ÇSGB (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı). (2012). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.
- Demirel, H. (2016). Demir Yolu Makas Üretiminde Risk Değerlendirmesi. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. Ankara.
- Durhan, D. (2006). Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Durmuş, H., Yurtsever, Ö., & Yalçın, B. (2021). Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney Ve FMEA Yöntemleri İle Risk Değerlendirmesi. International Journal Of Advances in Engineering and Pure Sciences, 33(2), 287-298.
- Erginel, M. N. (2004). Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model ve uygulaması. Endüstri Mühendisliği, 15(3), 17-26.
- Horozoğlu, K. (2017). İş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından analizi. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8(2), 265-281.
- Keleş, Ö., Usta, Y., Yeşilbağ, Y. Y., & Ercan, Y. (2006). Klasik Bir Torna Tezgahı İçin Bilgisayar Kontrollü Profil Tornalama Sistemi Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(3).
- Koç, M. & Akbıyık, N. (2011). Türkiye'de İş Kazalarının Maliyetleri Ve Çözüm Önerileri. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(2), 129-175.
- Lo, H. W., Liou, J. J., Huang, C. N., & Chuang, Y. C. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. Reliability Engineering & System Safety, 183, 173-183.
- MEGEP (2016). Torna, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Özakin, B. (2021). Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 1204-1209.
- Pillay, A., Wang, J., Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning, Reliability Engineering and System Safety, Cilt 79, pp.69-85, 2003.
- SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) 2017 yılı kaza istatistikleri ([http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari))
- Toptancı, Ş., & Erginel, N. (2017). Hata Türü ve Etkileri Analizi Ve Kalite Fonksiyon Yayılımı İle Bir İnşaat Firması İçin Risk Değerlendirmesi. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 5, 189-199.
- Uçum, M. (2020). CNC ve freze tezgahlarında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleriyle Risk Analiz Uygulamaları ve Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Esenyurt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- Uğurlu, Y. (2017). Takım Tezgahları İle İmalatta İş Güvenliği Kurallarının Ve Uygulamalarının Türkiye Genelinde İncelenmesi ve İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ulusoy, H., Atılğan, A., & Peker, H. (2018). Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Makinelerde Çalışma Güvenliği. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 11(1), 70-81.



# Finansal Verilere İlişkin Tahminleri Açıklamaya Yönelik Yeni Bir Model-Agnostik Yöntem ve Uygulaması

Samet Öztoprak<sup>1</sup>, Zeynep Orman<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0878-5979), [sametoztoprak@hotmail.com](mailto:sametoztoprak@hotmail.com)

<sup>2\*</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0205-4198), [ormanz@istanbul.edu.tr](mailto:ormanz@istanbul.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079145)

**ATIF/REFERENCE** Öztoprak, S., Orman Z., (2022). Finansal Verilere İlişkin Tahminleri Açıklamaya Yönelik Yeni Bir Model-Agnostik Yöntem Ve Uygulaması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (38), 32-39,

## Öz

Yapay sinir ağları, günümüzde insan hayatını doğrudan etkileyen sağlık, sürücüsüz araçlar ve ordu gibi kritik görev sistemlerinde ve bu sistemlerle ilgili verilere ilişkin tahminlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yapay sinir ağı algoritmalarının kara-kutu yapıları, kritik görev uygulamalarında kullanımlarını zorlaştırırken güven eksikliğine yol açan etik ve adli kaygıları da gündeme getirmektedir. Yapay zeka kavramının günden güne gelişmesi ve hayatımızda daha fazla yer kazanması, bu algoritmalarından elde edilen sonuçların daha açıklanabilir ve anlaşılır olması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Açıklamalı Yapay Zeka, yapay zeka kararlarının yüksek kaliteli yorumlanabilir, sezgisel, insan tarafından anlaşılabilir açıklamalarını oluşturabilen bir dizi araç, teknik ve algoritmayı destekleyen bir yapay zeka alanıdır. Bu çalışmada, açıklanabilirlik için borsa verileri ele alınarak finans sektörü için kullanılacak yeni bir model-agnostik yöntem oluşturulmuştur. Geliştirilen bu yöntem, oluşturulan modele verilen girdiler ve modelden elde edilen çıktılar arasındaki ilişkiyi anlamamızı sağlamaktadır. Tüm girdiler tekli ve birleşik olarak değerlendirilmiş ve değerlendirme sonuçları tablo ve grafikler ile gösterilerek açıklanmıştır. Çalışmada önerilen bu model, farklı makine öğrenimi algoritmaları ve uygulama alanları için de açıklanabilir bir katman oluşturmaya yardımcı olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Açıklanabilir Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Yapay Sinir Ağları, Finans, Borsa.

## A New Model-Agnostic Method and Implementation for Explaining the Prediction on Finance Data

### Abstract

Artificial neural networks are widely used in critical mission systems such as healthcare, self-driving vehicles and the army, which directly affect human life, and in predicting data related to these systems. However, the black-box nature of neural network algorithms makes their use in mission-critical applications difficult, while raising ethical and forensic concerns that lead to a lack of trust. The development of the Artificial Intelligence day by day and gaining more space in our lives have revealed that the results obtained from these algorithms should be more explainable and understandable. Explainable Artificial Intelligence is a field of AI that supports a set of tools, techniques, and algorithms that can create high-quality interpretable, intuitive, human-understandable explanations of artificial intelligence decisions. In this study, a new model-agnostic method that can be used for the financial sector has been developed by considering the stock market data for explainability. This method enables us to understand the relationship between the inputs given to the created model and the outputs obtained from the model. All inputs were evaluated individually and combined, and the evaluation results were shown with tables and graphics. This model will also help create an explainable layer for different machine learning algorithms and application areas.

**Keywords:** Explainable Artificial Intelligence, Machine Learning, Artificial Neural Networks, Finance, Stock Market.

\* Sorumlu Yazar: [ormanz@istanbul.edu.tr](mailto:ormanz@istanbul.edu.tr)

## 1. Giriş

Yapay zeka (YZ), çok çeşitli alanlarda hayatımıza daha fazla girmeye başlamıştır. Bununla birlikte, yapay zekanın önerdiği kararlara dair kesin bir açıklama bulunmamaktadır. Özellikle finans, askeri, tıp ve otonom sürüş gibi kritik alanlarda bu kararların açıklanabilmesi oldukça önem hale gelmiştir. Açıklanabilirlik için modelden bağımsız yöntemler ön plana çıkmaktadır. Model-agnostik olarak adlandırılan bu yöntemlerin modele özgü yöntemlere göre en önemli avantajı esnek bir yapı sunabilmeleridir. Bu sayede, açıklanabilirlik yönteminin hangi makine öğrenimi modeline uygulandığı geliştiricinin tercihine bırakılmıştır. Bunun yanı sıra, bir grafik veya bazı kullanıcı arabirimleri ile makine öğrenimi modellerinin açıklamasına dayanan çıktılar, aynı zamanda temeldeki makine öğrenimini modelden bağımsız hale getirmektedir. Genellikle, bir görevi yerine getirmek için birden çok türde makine öğrenimi modeli kullanılır ve bu modelleri açıklanabilirlik açısından karşılaştırmak gerekir. Bu aşamada modelden bağımsız açıklama yapmak daha kolaydır; çünkü aynı yöntem herhangi bir model türü için de kullanılabilir.

Modelden bağımsız açıklanabilirlik yöntemine bir alternatif, yalnızca açıklanabilir modelleri kullanmaktır; fakat bu genellikle diğer makine öğrenimi modellerine kıyasla daha az doğruluk sunması şeklinde bir dezavantaja sahiptir ve tek bir model tipine ve açıklanabilirliğe takılıp kalmaktadır. Diğer alternatif ise modele özgü açıklanabilirlik yöntemlerinin kullanılmasıdır. Buradaki dezavantaj ise tek bir algoritmaya bağlı kalınması ve başka algoritmaların denenmesinin oldukça zor olmasıdır. [Andreas Holzinger]

Açıklanabilir yapay zekayı çeşitli alanlarda kullanma isteği her geçen gün artmaktadır. Bu makalede, finans sektöründe önem arz eden borsa verilerine ilişkin tahminleri açıklamaya yönelik model-agnostik bir yöntem geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Geliştirilen bu yöntem literatürde yeni bir yaklaşım olarak görünmektedir. Bu yöntem iki soruya cevap vermektedir. Bu cevaplar ile hangi parametrelerin daha önemli olduğu ve eğitim için hangi parametrelerin gereksiz olduğu belirlenmektedir. Çalışmanın temel amacı, önerilen model ile finans sektörü araştırmacılarının verileri hızlı ve etkili bir şekilde analiz etmelerine, ana yönler hakkında net bir fikre sahip olmalarına ve anlamalarına yardımcı olmaktır. Çalışmamızın literatüre katkıları şu şekilde ifade edilebilir: çalışmada önerilen yaklaşım, herhangi bir makine öğrenimi algoritmasında kullanılabilen modelden bağımsız bir yöntemdir. Ayrıca, bu yaklaşım, finasta herhangi bir finansal aracın fiyatını tahmin etmek için kullanılan parametreleri anlaşılır hale getirmektedir. Bu amaçla, model ilk olarak, kullanılan parametreler için en önemliden en önemsiz doğru bir sıra bulmaya çalışır. İkinci olarak, eğitimde hangi parametrelerin kullanılmasının gereksiz olduğuna önerilen bu model ile karar verilir. Model sonucu elde edilen veriler grafikler ile görsel olarak da analiz edilmiştir.

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de ilgili çalışmalar sunulmuştur. Materyal ve metod bilgileri Bölüm 3'de sunularak, açıklanabilir yapay zeka alanındaki en son gelişmeler ve kullanılan yaklaşımlar ile çalışmada kullanılan veri seti ele alınmaktadır. Bölüm 4'de, önerilen AYZ yöntemi anlatılmakta ve grafiklerle açıklanmaktadır. Bölüm 5'de, geliştirilen AYZ yönteminin sonuçları değerlendirilmektedir. Son olarak, Bölüm 6, çalışmamızın sonuç bölümünü oluşturmaktadır.

## 2. İlgili Çalışmalar

Son zamanlarda yapay zekadaki açıklanabilirlik isteğinin artışı ile birlikte bu alandaki yapılan çalışmaların sayısında da artış görülmektedir. Bu bölümde literatürde bulunan açıklanabilir yapay zeka (AYZ) ile ilgili çalışmalar hakkında bilgiler verilmektedir.

Samek ve arkadaşları, bu alandaki en son gelişmeleri özetlemek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda yapay zeka uygulamalarında daha fazla yorumlanabilirliğin gerekliliği görülmektedir. Ayrıca, derin öğrenmenin tahminlerini açıklamak için iki yaklaşım sunulmaktadır. İlki girdideki değişikliklere göre tahminin hassasiyetini hesaplayan bir yöntem, ikinci olarak kararları girdi değişkenleri temelinde anlamlı bir şekilde ayrıştıran bir yaklaşım. Bu yöntemler görüntü sınıflandırması, metin belgesi sınıflandırması ve videolarda insan eylemi tanıma üzere üç tip sınıflandırma altında toplanmıştır.

Andreas Holzinger, olasılıklı öğrenme yöntemlerinin büyük bilgi gösterimleri ve mantıksal yaklaşımlar ile olan ilişkisini incelemiştir, böylece sonuçları geri işlenebilir, açıklanabilir ve istendiğinde anlaşılır hale getirmiştir.

Guo ve arkadaşları, çok değişkenli zaman serilerinde farklı dinamikleri yakalamak ve değişkenlerin tahmine katkısını ayırt etmek amacıyla ara katmandaki değişkenleri öğrenmek için uzun kısa süreli bellek (Long short-term memory-LSTM) mimarisinin tekrarlayan sinir ağlarının yapısını araştırmışlardır. Ara katmandaki değişkenler, hedefin üretici sürecini modellemek için bir karma dikkat mekanizması şeklinde önerilmiştir. Sonrasında, ağ parametresini, değişken ve zamansal önem ölçülerini aynı anda öğrenmeye yönelik olasılık tabanlı bir karışıma dayalı bir eğitim yöntemi belirlenmiştir. Gerçek veri kümeleri üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, farklı değişkenlerin hareketliliklerini yakalayarak gelişmiş tahmin performansını gösterir böylece yorumlama sonuçları hem niteliksel hem de niceliksel olarak değerlendirilmektedir. Tahmin ve de bilgi çıkarımı uçtan uca bir çerçeve olarak sergilenmektedir. Çok değişkenli veriler üzerinden bilgi çıkarımı ve tahmin yapılabilmektedir.

Peng ve arkadaşları, elde ettikleri deneysel sonuçlar ile karmaşık modellerin basit olanlardan daha iyi performans sergilediğini göstermişlerdir. Geliştirilen Random Forest tabanlı yaklaşım, tüm modeller arasında en yüksek doğruluğu (%91,9) elde etmektedir. Genel ve yerel yorumlanabilir yöntemleri birleştiren bu yaklaşım karmaşık modellerin şeffaflığını geliştirir ve karmaşık modellerden alınan verilere ilişkin bir bakış açısı yakalamamızı sağlar; bu sayede önerilen model tedaviye rehberlik edebilir ve hepatit hastalarının ön tanısını iyileştirmede kullanılabilir. Ayrıca, önerilen yöntem, klinik veri bilimcilerin daha uygun bir bilgisayar destekli tanı koyabilmelerine de yardımcı olabilmektedir.

Howard ve Edwards, derin öğrenme ve diğer yapay sinir ağı tabanlı çözümlerin nadiren şeffaf olduğu ve genellikle beyaz kutu çözümleri istendiğini göz önüne alarak, Multirun Subtree Encapsulation'ın Açıklanabilir Yapay Zekayı kolaylaştırmak için beyaz kutu çözümlerini nasıl sağlayabileceğini açıklamışlardır.

Pierrard ve arkadaşları, bulanık ilişkileri ve bulanık özellikleri öğrenmeye dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Açıklanmış bir karar oluşturmak için belirlenen veri kümesinden ilişkiler çıkarmışlardır. Yaklaşımları, sınıflandırma ve açıklama gibi farklı problemlerle ilgilidir. Oluşturulan bir yapay veri seti



üzerinde açıklamalı sınıflandırma yapmak için bir model oluşturmuşlardır. İkna edici açıklamalar sunarak örnekleri doğru bir şekilde sınıflandırmayı başarmışlardır. Bu çalışma ile gereksiz hesaplamalardan kaçınmak için ilişkileri ve özellikleri öğrenmeden önce veya öğrenirken filtreleme ihtiyacı gibi iyileştirilmesi gereken birkaç alan tespit edilmiştir.

Fernandez ve arkadaşları, evrimsel bulanık sistemler alanının kapsamlı analizini geliştiren bir çalışma amaçlamışlardır. Bu amaçla, bu konunun mevcut bağlamını ve önemini anlamak amacıyla "4W" soruları sorulup ele alınmaktadır. Özellikle, evrimsel bulanık sistemlerin açıklanabilir bir bakış açısıyla neden önemli olduğu, ne zaman başladıkları, ne için kullanıldığı ve yakın gelecekte bu alanda araştırmacıların dikkatlerinin nereye yönlendirilmesi gerektiği üzerinde durmaktadırlar. Verilerden öğrenmenin gelişen Açıklanabilir Yapay Zeka (AYZ) alanında önemli bir rol oynaması hedeflenmektedir.

Turek, çalışmasında daha akıllı, özerk ve simbiyotik sistemler gerektiren zorluklara değinmektedir. Açıklanabilir Yapay Zeka'nın, özellikle de Açıklanabilir Makine Öğrenimi'nin geleceğin savaşçılarında çok önemli hale geleceği vurgulanmaktadır. Akıllı savaş makinalarının birbirini anlaması, mantıksal şekilde güvenmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi için Açıklanabilir Yapay Zeka'nın gerekli olacağı öngörülmektedir.

Zhang ve arkadaşları, modelin yorumlanabilirliğini geliştirmek için Shapley ek açıklamaları, olgusal açıklamalar ve bağımlılık grafikleri kullanmışlardır. Çin borsasında işlem gören şirketlerin 2007'den 2020'ye kadar olan finansal verileri veri seti olarak alındığında, en yüksek AUC 0,92 değeri Light Gradient Boosting Machine tarafından sağlanmaktadır. Yerel açıklamalar, bireysel işletmelerin finansal sıkıntılarına yol açan temel özellikleri belirlemelerine yardımcı olur ve iyileştirme stratejileri sağlamak için açıklamalar üretilir. Küresel açıklamalar, özelliklerin önemini ve özellik etkileşiminin sonuçlar üzerindeki etkisini analiz ederek, "kara kutu" modellerinin şeffaflığını ve güvenilirliğini artırabilir.

Carta ve arkadaşları, amaçları S&P 500 endeksindeki bireysel şirketler için gelecekteki hisse senedi fiyat değişimlerinin büyüklüğünü (yüksek veya düşük) tahmin etmekte kullanılacak olan bir ikili sınıflandırma problemini çözmek için bir Makine Öğrenimi yaklaşımı önermişlerdir. Bunu yapmak için belirli bir zaman aralığında ve belirli bir iş sektörü içinde piyasadaki en etkili kelimeleri belirlemek amacıyla küresel olarak yayınlanan makalelerden sözlük setleri oluşturulur. Daha sonra oluşturulan sözlüklerden parametre süreci gerçekleştirilir ve elde edilen özellikler bir Karar Ağacı sınıflandırıcısı ile beslenir. Tahmini etiket (yüksek veya düşük), belirli bir eşğin üstünde veya altında olmak üzere, temel şirketin ertesi gün hisse senedi fiyat değişimini temsil eder. İleriye dönük bir strateji ile ve bir dizi sağlam temele dayalı olarak gerçekleştirdiğimiz performans değerlendirmesi, yaklaşımımızın açıkça rakiplerinden daha iyi performans olduğunu gösteriyor. Ayrıca, tasarlanan Yapay Zeka yaklaşımı, sınıflandırıcının arkasındaki beyaz kutuyu analiz eder ve elde edilen sonuçlar üzerinde bir dizi açıklama sunulmaktadır.

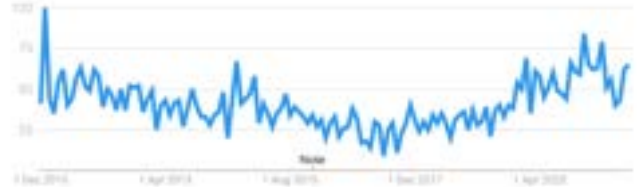
Yapay zeka modellerinin şeffaflığının olmaması, sosyal bilimlere ve tıbbi teşhis gibi hassas alanlarda büyük bir endişe unsuru olmaktadır. Makine öğrenimi modellerinin ön açıklama başarısına rağmen, mevcut modellerin çoğu tüm gözlemlerin birbirinden bağımsız olduğunu varsaydığından, kümelenmiş verilerdeki herhangi bir tahminciye uygulanabilecek açıklama yöntemlerinin eksikliği bulunmaktadır. Zhou ve arkadaşları çalışmalarında bu eksikliği ele alarak kümelenmiş veriler

üzerinde herhangi bir karmaşık modelin yerel davranışını taklit etmek için doğrusal bir karma model kullanmayı önermişlerdir. Bu da açıklama yönteminin karmaşık modellere uygunluğunu iyileştirebilmektedir. Film tavsiyesi ve tıbbi kayıt teşhisi dahil olmak üzere iki görevde derin bir sinir ağı modeli de dahil olmak üzere çeşitli modelleri açıklamak için geliştirdikleri yöntemlerini uygulamışlardır. Deney sonuçları, modelin aslına uygunluk ve kesinlik gibi çeşitli metriklerde temel modellerden daha iyi performans gösterdiğini saptamıştır.

Bu çalışmada, finans alanında kullanılacak açıklanabilir bir katman geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu katman sayesinde finansal araçların tahmininde daha yüksek bir doğruluk elde etmek amacı ile ilk olarak verilerdeki gereksiz parametreler ortadan kaldırılacak ve sonrasında sistem parametrelerinin önem sırası belirlenecektir.

### 3. Materyal ve Metot

Açıklanabilir Yapay Zeka, yapay zeka sistemleri sonuçlarını insanlar için daha anlaşılır hale getirmeyi amaçlayan bir araştırma alanıdır. AYZ kavramı nispeten yeni olsa da, açıklanabilirlik sorunu, araştırmacıların uzman sistemlerin açıklanmasını inceledikleri 1970'li yılların ortalarından beri var olmuştur [Turek]. Bununla birlikte, açıklanabilirlik sorununu çözmeye yönelik yapılan çalışmaların ilerleme hızı, yapay zeka ve makine öğreniminde gerçekleşen olağanüstü ilerlemelerle bir dönüm noktasına ulaşana kadar yavaşladı. O zamandan beri, YZ araştırmalarının odak noktası, karar süreçlerini açıklama yeteneğini devre dışı bırakırken tahmin gücünü vurgulayan modellerin ve algoritmaların uygulanmasına kaymıştır.



Şekil 1. "Açıklanabilir Yapay Zeka" terimi araştırması için Google Trends sonucu (Figure. 1. Google Trends search result for the term "Explainable Artificial Intelligence")

Özellikle, son yıllarda AYZ konusu akademik dünyada yeniden ilgi görmeye başlamıştır. Şekil 1, google trendlerini kullanan AYZ terimi için arama oranında dikkate değer bir canlanmayı göstermektedir. Bu araştırma konusunun yeniden canlanması, yapay zeka ve makine öğrenmesinin çeşitli sektörler arasında artan etkisinin ve kritik karar verme süreçleri üzerindeki önemli etkisinin doğrudan bir sonucudur. Bu nedenle, sosyal, etik ve yasal kararları açıklanabilir ve anlaşılır hale getirebilecek yeni yapay zeka tekniklerine gereksinim artmaktadır.

Tablo 1. AYZ terimini arayan ilk 10 ülke Google Trends sonucu (Table 1. Google Trends result for the top 10 countries searching for the term XAI)

1 Vietnam	6 Yunanistan
2 Güney Kore	7 Japonya
3 Çin	8 Norveç

1 Vietnam	6 Yunanistan
4 Singapur	9 İsrail
5 Tayvan	10 İspanya

Tablo 1, XAI anahtar kelimesinin İnternette en çok araştırıldığı ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Bu ülkeler dünyanın en büyük ekonomisi olmalarının yanı sıra Vietnam, İsrail gibi dünyanın yükselen ekonomilerinden oluşmaktadır. Makine öğrenimi alanında en çok kullanılan ve etkili algoritmalar yapay sinir ağlarına dayanmaktadır. Çalışmamızda modelden bağımsız bir yaklaşım belirlenmesinin nedeni, herhangi bir makine öğrenmesi algoritmasına bağımlı olmadan ortak bir açıklanabilirlik katmanı oluşturulabilmesidir.

### 3.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenimi (MÖ), yazılım uygulamalarının açıkça programlanmadan sonuçları tahmin etmede daha hassas olmasını sağlayan bir yapay zeka alanıdır. Makine öğrenimi algoritmaları, geçmiş verilere dayalı olarak çalışır ve yeni çıktı değerlerini tahmin etmek için geçmiş verileri girdi olarak kullanmaktadır. Makine öğreniminin tahminlerinde kullanılacak dört temel yaklaşım bulunmaktadır:

**Denetimli öğrenme:** Bu tür makine öğreniminde, veri bilimcileri algoritmalara etiketlenmiş eğitim verileri sağlayarak algoritmanın korelasyonlar için değerlendirmesini istedikleri değişkenleri belirlemektedir. Algoritmanın hem girdisi hem de çıktısı belirtilmiştir.

**Denetimsiz öğrenme:** Bu tür makine öğrenimi, etiketlenmemiş veriler üzerinde eğitim veren algoritmalar içermektedir. Algoritma, anlamlı bir bağlantı arayan veri kümelerini tarayarak algoritmaların eğitildiği veriler ve çıktılarının tahminleri veya önerileri önceden belirlenmektedir.

**Yarı denetimli öğrenme:** Makine öğrenimine yönelik bu yaklaşım, önceki iki türün bir karışımını oluşturmaktadır. Veri bilimcileri genellikle eğitim verilerini etiketleyen bir algoritma kanalı ile beslemektedir, ancak model verileri kendi başına keşfetme ve veri kümesine ilişkin kendi anlayışını geliştirme yeteneğine sahiptir.

**Pekiştirmeli öğrenme:** Veri bilimcileri, bir makineye açıkça tanımlanmış kurallar aracılığıyla çok adımlı bir süreci tamamlamasını öğretmek için genellikle pekiştirmeli öğrenmeyi kullanmaktadır. Veri bilimcileri, bir görevi tamamlamak için bir algoritma kullanarak ve bir görevin nasıl tamamlanacağını araştırırken ona olumlu veya olumsuz ipuçları vermektedir. Ancak çoğunlukla, algoritma yol boyunca hangi adımların atılacağına kendi başına karar vermektedir.

### 3.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), makine öğreniminin bir alt alanıdır ve derin öğrenme algoritmalarının kalbinde yer almaktadır. Adı ve yapısı, biyolojik nöronların birbirine sinyal gönderme şeklini taklit ederek insan beyninden esinlenmiştir. YSA, bir girdi katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıktı katmanı içeren bir düğüm katmanından oluşmaktadır. Her düğüm veya yapay nöron diğerine bağlanır ve ilişkili bir ağırlık ve eşik değerine sahiptir. Herhangi bir düğümün çıkışı belirtilen eşik değeri üzerinde ise, o düğüm etkinleştirilir ve ağırlık bir sonraki katmanına veri gönderilmektedir. Eğer belirtilen eşik değeri altında ise, ağırlık bir sonraki katmanına hiçbir veri iletilmemektedir.

Yapay Sinir ağları, zaman içinde doğruluklarını öğrenmek ve geliştirmek için eğitim verilerine dayanmaktadır. Öte yandan, bu öğrenme algoritmaları, doğruluk için ince ayar yapılabilir, bilgisayar bilimi ve yapay zekada güçlü araçlardır ve verileri yüksek hızda sınıflandırmamızı ve kümelememizi sağlamaktadır. Konuşma tanıma veya görüntü tanımadaki görevler, insan uzmanlar tarafından yapılan tanımlamaya kıyasla günler yerine sadece dakikalar içinde yerine getirilmektedir. En iyi bilinen sinir ağlarından biri Google'ın arama algoritmasıdır.

YZ özellikli bir sistemin belirli bir çıktıya nasıl yol açtığını anlayarak açıklanabilirlik, geliştiricilerin sistemin beklendiği gibi çalışmasını sağlamalarına yardımcı olabilmektedir. Düzenleyici standartları karşılaması gerekebilir veya bir karardan etkilenenlerin bu sonucu sorgulamasına veya değiştirmesine izin vermede önemli olabilmektedir.

Her düğümü, girdi verileri, ağırlıklar, bir sapma (veya eşik) ve bir çıktıdan oluşan kendi doğrusal regresyon modeli olarak düşünüldüğünde. Formüller şu şekilde olacaktır:

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i + b \quad (1)$$

Formül (1)'de sinir ağlarının toplam değerinin bulunması için uygulanan formül görülmektedir. Her bir düğümü, girdi verileri (x), ağırlıklar (w), bir sapma veya eşik (b) ve bir çıktıdan oluşan kendi doğrusal regresyon modeli olarak düşünülebilmektedir.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i=1}^m w_i x_i + b \geq 0, \\ 0 & \text{if } \sum_{i=1}^m w_i x_i + b < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Formül (2)'de aktivasyon ile ilgili formülü göstermektedir. Bir girdi katmanı belirlendikten sonra ağırlıklar atanmaktadır. Bu ağırlıklar, herhangi bir değişkenin önemini belirlemeye yardımcı olur ve daha büyük olanlar diğer girdilere kıyasla çıktıya daha fazla katkıda bulunmaktadır. Tüm girdiler daha sonra ilgili ağırlıklarıyla çarpılır ve toplandıktan sonra çıktıyı belirleyen bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir. Bu çıktı belirli bir eşik aşarsa, ağırlık bir sonraki katmana veri ileterek düğümü etkinleştirir. Bu bir düğümün çıktısının bir sonraki düğümün girdisi olması durumu ile gerçekleşir. Verileri bir katmandan sonraki katmana geçirme işlemi, bu sinir ağırlık ileri beslemeli bir ağ olarak tanımlanmaktadır.

### 3.3. Açıklanabilir Yapay Zeka (AYZ)

Açıklanabilir yapay zeka (AYZ), insan kullanıcılarının makine öğrenimi algoritmaları tarafından oluşturulan sonuçları ve çıktıları anlamasını ve bunlara güvenmesini sağlayan bir dizi süreç ve yöntemin tanımıdır. Açıklanabilir yapay zeka, bir yapay zeka modelini, beklenen etkisini ve potansiyel önyargıları tanımlama biçimidir. Yapay zeka destekli karar vermede model doğruluğunu, adaleti, şeffaflığı ve sonuçları tanımlamaya yardımcı olmaktadır. Açıklanabilir yapay zeka, yeni bir yapay zeka modeli kullanıma girildiğinde güven oluşturmak için çok önemlidir. Yapay zeka açıklanabilirliği ayrıca yeni modelin geliştirilmesinde sorumlu bir yaklaşım benimsenmesine yardımcı olmaktadır.

YZ daha karmaşık hale geldikçe, insanlar algoritmanın nasıl bir sonuca vardığını anlamak ve takip etmekte zorlanmaya başlamışlardır. Tüm hesaplama süreci, genellikle yorumlanması imkansız olan "kara kutu" olarak adlandırılan kavrama çevrilmektedir. Bu kara kutu modelleri doğrudan verilerden oluşturulmaktadır ve algoritmayı oluşturan mühendisler veya veri bilimcileri bile içlerinde tam olarak ne olduğunu veya yapay zeka algoritmasının belirli bir sonuca nasıl ulaştığını anlayamamakta ve açıklayamamaktadır.

Yapay zeka özellikli bir sistemin belirli bir çıktıya nasıl ulaştığını anlayarak geliştiricilerin sistemin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığını anlamaya yardımcı olmaktadır. Belirli standartları karşılaması gerekebilir veya bir karardan etkilenenlerin bu sonucu sorgulamasına veya değiştirmesine izin vermede önemli rol oynayabilmektedir.

### 3.4. Veri Kümesi

Çalışmada kullanılan borsa verileri <https://finance.yahoo.com/> web adresinden .csv uzantılı veri dosyası olarak indirilmiştir. Hisse senedi adı BİZİM hisse senedir ve Türk borsa hisselerinden biridir. İndirilen dosyadaki parametre listesi sırasıyla (D) Date, (O) Open, (H) High, (L) Low, (C) Close, (A.C) Adj Close (Ayarlamalardan Sonra Fiyat) ve Volume sütunlarından oluşmaktadır; Date sütunu, hisse senedinin tarih bilgisini göstermektedir. Open sütunu, hisse senedinin başlangıç fiyatı anlamına gelir. High sütunu, hisse senedinin gün içindeki en yüksek fiyatını göstermektedir. Low sütunu, hisse senedinin gün içindeki en düşük fiyatını göstermektedir. Close sütunu, günün sonunda hisse senedinin Kapanış fiyatını göstermektedir. Adj Close sütunu, hisse senedinin son alım oturumundaki kapanış fiyatını yansıtır ve hisse senedinin doğru değerinin teknik olarak daha doğru yansımaları nedeniyle eğitim alanı olarak seçilmiştir. Volume sütunu, ticaretin (alış ve satış) toplamıdır.

Tablo 2. Veri Kümesinin Örnek Parçası (Table 2. Sample Fragment of the Dataset)

Date	Open	High	Low	Close	Adj.C lose	Volume
2016-08-29	9.126 666	9.1733 33	9.0000 00	9.000 000	8.7720 33	114538
2016-08-30	9.000 000	9.0000 00	9.0000 00	9.000 000	8.7720 33	0
2016-08-31	9.006 666	9.0666 66	8.9000 00	8.906 666	8.6810 62	133443
2016-09-01	8.926 666	8.9666 66	8.6666 66	8.666 666	8.4471 42	338652

Tablo 2, bu çalışmada kullanılan veri setinin küçük bir örneğini oluşturmaktadır. Bu veri seti 2016 ve 2021 yılları arasındaki verileri içermektedir.

### 3.5. Ön İşleme

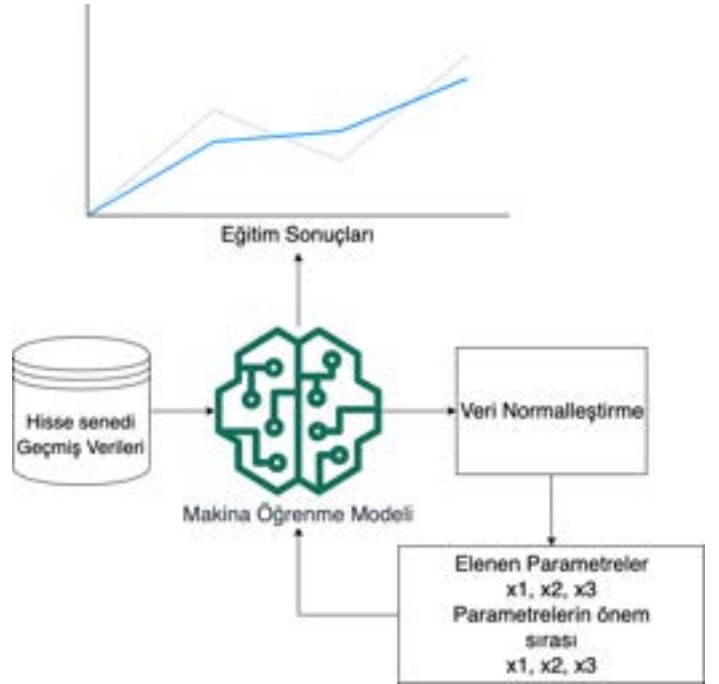
LSTM kullanarak hisse senedi fiyatını uygulamadan önce bu verileri önceden işlememiz gerekir. Phytonda bulunan MinMaxScaler() sınıfının fit\_transform fonksiyonu yardımıyla veri değerleri dönüştürülür. Bu method yardımı ile giriş verileri

üzerinde tek seferde sıgdırma ve dönüştürme işlemleri gerçekleştirilir ve veri noktaları dönüştürülür. Her ikisine de ihtiyacımız olduğunda fit ve transform yöntemlerinin ayrı ayrı kullanılması modelin verimliliğini düşürür, bu nedenle her ikisini de gerçekleştirebilen fit\_transform() methodu kullanılmıştır.

## 4. Önerilen AYZ Yöntemi

Şekil 2, Borsa Tahmin sistemi için önerilen AYZ'nın çerçevesini göstermektedir. Önerilen çerçeve, borsa tahmininin finansal anlayışını geliştirmek için açıklamalar sağlamaktadır. Hisse senedi kayıtları, veri toplama ve ön işleme ile elde edilmektedir. Ayrıca, riskin sonucunu tahmin etmek için model yüklenir. Daha sonra açıklamalara ulaşmak için model açıklama yöntemi uygulanır. Buradan sonra elimizdeki verilerin hangilerinin önemli olduğu ve hangilerinin gereksiz olduğu belirlenmektedir.

İlk önce, parametrelerin oryantasyon tablosu çıkartılır ve bu tablo daha sonrasında gereksiz parametrelerin elenmesinde ve parametrelerin değerlendirilmesinde kullanılacaktır. İlk olarak parametreler tek tek ele alınarak değerlendirmesi tamamlandıktan sonra parametreler ikili, üçlü ve dördü olarak değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda hangi parametrelerin daha önemli olduğu belirlenir ve bu veriler üzerinden algoritma eğitilmektedir.



Şekil 2. Finans Şeması AYZ Çerçevesi (Figure 2. Finance Scheme XAI Framework)

### 4.1 Tek Parametre Analizi

Parametre oryantasyon türleri tablosu oluşturulurken 3 adet durum bulunmaktadır. İlk durum önceki değer mevcut değerle aynıysa 0 olur. İkinci durum önceki değer bir sonraki değerden büyükse (-) olacaktır. Üçüncü durum olarak önceki değer bir sonraki değerden küçükse (+) olacaktır. Bu şekilde oryantasyon türleri Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 3. Oryantasyon Türleri (Figure. 2. Finance Scheme XAI Framework)

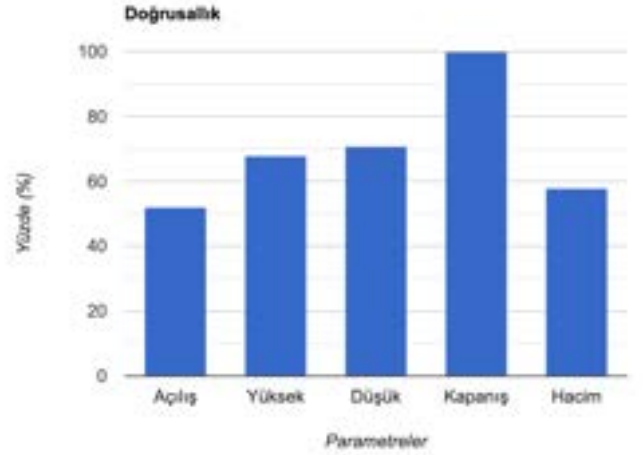
Oriyantasyon	Çıktı	Parametre
Doğrusal	+	+
Ters	+	-
Ters	+	0
Ters	-	+
Doğrusal	-	-
Ters	-	0
Ters	0	+
Ters	0	-
Doğrusal	0	0

Bu oryantasyon haritalarını birbirleriyle karşılaştıracağız ve parametreler arasındaki ilişkiyi bulacağız. Ters mi yoksa lineer mi olduğunu anlamaya çalışılacaktır. Parametreler sırasıyla Date, Open, High, low, Close, Adj. Close ve Volume sütunlarından oluşmaktadır. Tablo 3, doğrusal ve ters orantı için her bir parametrenin oranını göstermektedir.

Tablo 4. Parametrelerin Oryantasyon Oranı (Table 4. Orientation Ratio of Parameters)

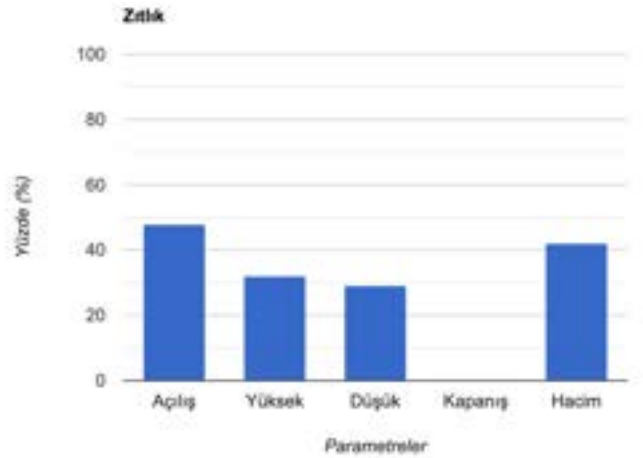
Parametre	Doğrusallık (%)	Terslik (%)
Open	52	48
High	68	32
Low	71	30
Close	100	0
Adj. Close	58	42

Tablo 4'ün 2 kategoride gösterilmesi gerekmektedir. Bunlardan biri, her bir parametrenin doğrusallık oranlarıdır. Diğeri ise her bir parametrenin ters oranlarıdır.



Şekil 3. Parametrelerin Doğrusallık Oranları (Figure. 3. Linearity Ratios of Parameters)

Şekil 3, parametrelerin doğrusallık oranını göstermekte ve bize bir parametrenin sonuca olumlu etkisi olup olmadığı hakkında fikir vermektedir. Bir parametredeki doğrusallık ne kadar fazlaysa, sonuç üzerinde o kadar olumlu etkisi vardır. Doğrusallık bizim çalışmamız için temel teşkil etmektedir.



Şekil 4. Parametrelerin Ters Oranları (Figure. 4. Inverse Ratios of Parameters)

Şekil 4, parametrelerin ters oranını gösterir. Bu durumda bir parametrenin sonuca ters etki yapıp yapmadığını anlamaya çalışıyoruz. Bu, sonucun bu parametreye göre ters gittiği anlamına gelir.

#### 4.1.2 Parametre Eleme

Tablo 5'teki doğrusallık oranına dayanarak, eğitim için yararlı olmayan gereksiz parametrelere karar vermek mümkündür. Bu çalışmada, Tablo 4'te lineer %100 veya %0 olan parametreleri elenmiştir. Bu iki tip parametre, bias nedeniyle açıklanabilir katmanda herhangi bir yön vermemektedir. Bu nedenle artık Close parametresini dikkate almayacağız. Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Elenen Parametre(ler) (Table 5. Eliminated Parameter(s))

Parametre	Doğrusallık (%)	Terslik (%)
Close	100	0

#### 4.1.3 Birleşik Parametre Analizi

Bir önceki bölümde sonuç üzerinde tek parametre tutarlılığını gösterilmiştir. Bu bölümde, Kombine parametre tutarlılığını sonuç üzerinde anlamaya çalışılmaktadır. Parametreleri ikili, üçlü veya dördü olarak ele alacağız. Çıktı ve seçilen parametrelerin aynı işaretle olma durumunda doğrusal orantılı olarak sayılacaktır. Aksi takdirde Ters orantılı olarak alınmaktadır. Birleşik parametreler bu şekilde değerlendirilecektir.

##### 4.1.3.1. Çift Kombinasyon

Tablo 6, oryantasyon haritalarındaki sonuçla parametre çiftlerini karşılaştırmayı ve parametreler arasındaki ilişkiyi bulmayı göstermektedir. High ve Low parametrelerinin kombinasyonu Tablo 6'da yüzde 57 ile en yüksek olasılığa sahiptir.

Tablo 6. Double Combination of Parameters (Table 6. Double Combination of Parameters)

Parametreler	Doğrusallık (%)
O, H	47
O, L	47
O, V	30
H, L	57
H, V	47
L, V	40

##### 4.1.3.2. Üçlü Kombinasyon

Oryantasyon haritalarındaki sonuçla parametrelerin üçlülerini karşılaştırmının sonucu olarak Open, High ve Low parametrelerinin kombinasyonu Tablo 7'de yüzde 42 ile en yüksek olasılığa sahiptir.

Tablo 7. Parametrelerin Üçlü Kombinasyonu (Table 7. Triple Combination of Parameters)

Parametreler	Doğrusallık (%)
O, H, L	42
O, H, V	29
O, L, V	26
H, L, V	37

#### 4.1.3.3. Dördü Kombinasyon

Dördü bir parametre kombinasyonu yalnızca birdir. Sadece 4 parametrenin dikkate alınması nedeniyle tüm parametrelerin doğrusallığı Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Parametrelerin Dördü Kombinasyonu (Table 8. Parametrelerin Dördü Kombinasyonu)

Parametreler	Doğrusallık (%)
O, H, L, V	25

## 5. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, tek parametre ile birleşik parametreler arasındaki veri tutarlılığı ele alınacaktır. Beklenen sonuç, birleşik parametrelerin tek parametre değerleriyle paralel olması gerektiğidir. Ancak, beklenen sonuç, birleştirilmiş parametre değerinden farklı olabilir. Bu durumda parametrelerin Tutarlılığının belirtilmesi gerekmektedir.

Tablo 9. Tekli Parametrelerin Azalan Değeri (Table 9. Decreased Value of Single Parameters)

Parametreler	Doğrusallık (%)
Low	71
High	68
Volume	58
Open	52

Parametrelerin doğrusallık yüzde değerleri Tablo 10'da azalan sırada sıralanmıştır. Beklenti, parametreler birbiriyle birleştirildiğinde, en yüksek doğrusallık yüzdesine sahip olan tek parametrelerin birleşik parametrelerde de en yüksek doğrusallık yüzdesi olması beklenmektedir.

Tablo 10. Parametrelerin Tutarlılığı (Table 10. Consistency of Parameters)

Kombinasyon	Çift	Üçlü
Beklenen	L, H	L, H, V
Gerçekleşen	L, H	L, H, O
Tutarlılık	Olumlu	V Olumsuz

Tablo 10, Low ve High parametre kombinasyonunun ikili kombinasyonda en yüksek yüzdeye sahip olduğunu ve bu sonucun gerçekleşen sonuçla uyumlu olduğunu göstermektedir. Üçüncü en yüksek doğrusallık yüzdesi Volume parametresine aittir ancak elde edilen sonuç farklıdır. Low, High ve Open kombinasyonu üçlü tabloda en yüksek değere sahiptir. Bu, Volume parametresinin gerçekleşen sonuçla tutarlı olmadığı anlamına gelir. Sonuç olarak gerçek parametre sıralamamız en

önemliden en az önemliye doğru L, H, O, V şeklindedir. Üçüncü parametre(V) değerleri en yüksek oranlara sahip diğer parametrelerle tutarlı değildir.

## 6. Sonuç

Açıklanabilirlik, makine öğreniminde daha fazla zemin kazanmaktadır. Bu çalışmada finans sektöründeki finansal araçlar için uygulanabilecek agnostik bir açıklama yöntemi ele alınmıştır. Parametreler arasındaki ilişkiyi anlamak için Borsa İstanbul'a ait olan bir hisse senedinin verileri kullanılarak bu veriler üzerinden çalışma yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, parametreler ve sonuçlar arasındaki ilişkinin bulunması ve makine öğrenimi algoritmasını eğitmek için doğru parametrelerin seçilmesi konularında iyi bir karar verilmesine olanak sağlamaktır. Bunun için ilk yapılan adım oryantasyon tablosunun oluşturulmasıdır. Hisse senedi parametreleri bir önceki gün sonundaki değerleri ile karşılaştırılarak yükseliş(+) düşüş(-) yada sabit(0) durumları ile oryantasyon tablosu oluşturulur. Oryantasyon tablosu oluşturulduktan sonra, ikinci olarak parametreler gün sonundaki değer ile karşılaştırılır. Eğer parametre yükselişte ve hisse senedi de gün sonunda yükselişte ise bu doğru orantılı olduklarını göstermektedir. Her ikisi de düşüşte veya sabit ise doğrusallık durumu devam etmektedir. Parametrenin önemi bu doğrusallık ile doğru orantılı olarak artmaktadır. İlk önce tüm parametrelerin tek tek doğrusallık haritası çıkarılır. Bu aşamadan sonra parametrelerin kombinasyonlu doğrusallık oranları belirlenir. En yüksek doğrusallık oranına sahip olan parametre en önemli parametredir. Ancak, %100 yada %0 olan parametrelerin hesaba katılması eğitim setini bozacağı için bu parametreler çıkarılmaktadır. Bunlar ikili parametre kombinasyonu yani parametrelerin her ikisinin birden hisse senedinin gün sonu yükseliş, düşüş ya da sabit kalma gibi durumlar ile tutarlı olması durumudur. İkili parametre doğrusallık oranında en yüksek olan ikinci en önemli değerimizdir. Daha sonrasında bu üçlü durum için de geçerlidir. Bu şekilde en önemli parametre sıralaması bulunur ve algoritmanın doğru bir şekilde eğitilmesine yardımcı olabilecek bir yöntem izlenir.

## Kaynakça

Samek, W., Wiegand, T., & Müller, K. R. (2017). Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. arXiv preprint arXiv:1708.08296.

- Holzinger, A. (2018). From Machine Learning to Explainable AI, *World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines, DISA*, 11(2), 55–66. <https://doi.org/10.1109/DISA.2018.8490530>
- Guo, T., Lin, T., & Antulov-Fantulin, N. (2019). Exploring interpretable lstm neural networks over multi-variable data. *International conference on machine learning*, 2494-2504.
- Peng, J., Zou K., Zhou, M., Teng, Y., Zhu, X., Zhang, F. & Xu J. (2021). An Explainable Artificial Intelligence Framework for the Deterioration Risk Prediction of Hepatitis Patients, *Journal of Medical Systems*, 45-61, <https://doi.org/10.1007/s10916-021-01736-5>
- Howard, D. & Edwards, M. A. (2018). Explainable A.I.: The promise of Genetic Programming Multi-run Subtree, Encapsulation *International Conference on Machine Learning and Data Engineering, ICMLDE*, 158–159. <https://doi.org/10.1109/iCMLDE.2018.00037>.
- Pierrard, R., Poli, J. & Hudelot, C. (2018). Learning Fuzzy Relations and Properties for Explainable Artificial Intelligence, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491538>
- Fernandez A., Herrera, F., Cordon, O., Jesus, M. J. & Marcelloni, F. (2019). Evolutionary Fuzzy Systems for Explainable Artificial Intelligence: Why, When, What for, and Where to?, *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 14(1), 69–81. <https://doi.org/10.1109/MCI.2018.2881645>
- Zhou, Z., Sun, M. & Chen, J. (2019). Model-Agnostic Approach for Explaining the Predictions on Clustered Data, *2019 IEEE International Conference on Data Mining, (ICDM)*, 1528–1533. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2019.00202>
- Turek, M. (2021), *Defense Advanced Research Projects Agency, (DARPA)*, 11 Augustos 2021 tarihinde <https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence>
- Zhang Z., Wu, C., Qu, S. & Chen X. (2022). *An explainable artificial intelligence approach for financial distress prediction*, *Information Processing and Management*, 59(4), <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.102988>.
- Carta S. M., Consoli, S., Piras, L., Podda, A. S. & Recupero, D. R. (2021). *Explainable Machine Learning Exploiting News and Domain-Specific Lexicon for Stock Market Forecasting*, in *IEEE Access*, 9, 30193-30205, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059960>.



# Investigation of the Effect of Different Cooking Methods on Conjugated Linoleic Acids in Red Meat

Bülent Nazlı<sup>1</sup>, Halime Pehlivanoglu<sup>2</sup>, Bilal Çakır<sup>3</sup>, Muhammed Yusuf Çağlar<sup>4\*</sup>, Chi Ching Lee<sup>5</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Nature Sciences, Department of Food Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1472-4961), [bulent.nazli@izu.edu.tr](mailto:bulent.nazli@izu.edu.tr)

<sup>2</sup> Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Veterinary Science, Department of Food Hygiene and Technology, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3138-9568), [hpehlivanoglu@nku.edu.tr](mailto:hpehlivanoglu@nku.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Nature Sciences, Department of Food Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2168-3667), [bilal.cakir@izu.edu.tr](mailto:bilal.cakir@izu.edu.tr)

<sup>4\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5270-6756), [yusuf.caglar@izu.edu.tr](mailto:yusuf.caglar@izu.edu.tr)

<sup>5</sup> İstanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Nature Sciences, Department of Food Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1588-0648), [chi.lee@izu.edu.tr](mailto:chi.lee@izu.edu.tr)

(First received 7 April 2022 and in final form 15 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1099995)

**ATIF/REFERENCE:** Nazlı, B., Pehlivanoglu, H., Çakır, B., Çağlar, M. Y. & Lee, C. C. (2022). Investigation of the Effect of Different Cooking Methods on Conjugated Linoleic Acids in Red Meat. *European Journal of Science and Technology*, (38), 40-46.

## Abstract

This study was carried out to investigate the effect of different cooking techniques applied to meats on total CLAs, cis-9,trans-11-CLA (c9,t11-CLA) and trans-10,cis-12-CLA (t10,c12-CLA). In the study, four different cooking methods such as boiling, frying, baking and grilling were applied to meat samples taken from the bovine carcasses. In raw and cooked meat samples, CLA, cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 isomer amounts were examined in Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) device.

It was determined that the meat samples with frying treatment had the highest average value in total CLAs and c9,t11-CLAc9,t11-CLA. The difference between the total CLA values was found to be significant at the level of  $P < 0.01$  and the difference between the mean values of the c9,t11-CLA at the level of  $P < 0.001$ . In other cooking methods, the difference between the mean values of total CLA, c9,t11-CLA and t10,c12-CLAw was not significant ( $P > 0.05$ ). According to the findings obtained, it was concluded that thermal processes do not have a significant enhancing effect on the amount of CLAs in the meat and therefore, meat and products should be supplemented with CLAs to benefit from its positive effects.

**Keywords:** Red Meat, Cooking, CLAs and Bioactive Isomer

## Farklı Pişirme Yöntemlerinin Kırmızı Etlerdeki Konjuge Linoleik Asit (KLA) Üzerine Etkisinin Araştırılması

### Öz

Konjuge linoleik asit (KLA), linoleik asidin pozisyonel ve geometrik izomerlerinden oluşan grup için kullanılan terimdir ve bazı izomerlerin, sağlık açısından yararlı olduğu bilinmektedir. Bu çalışma, etlere uygulanan farklı pişirme tekniklerinin konjuge linoleik asit (KLA) ve cis9-trans11 ile trans10-cis12 izomerleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla yapıldı. Çalışmada büyükbaş hayvan gövdesinden alınan et numunelerine haşlama, kızartma, fırınlama ve ızgara olmak üzere dört farklı pişirme yöntemi uygulandı. Çiğ ve dört farklı yöntem ile pişirilen et numunelerinde KLA, cis-9, trans-11 ve trans-10, cis-12 izomer miktarları GC-FID (Gas Chromatography-Flame Ionization Detector) cihazında incelendi.

Kızartma işlemi uygulanmış et numunelerinin, toplam konjuge linoleik asit ve c9-t11 izomerinde en yüksek ortalama değere sahip olduğu saptandı. Toplam KLA değerleri arasındaki fark  $P < 0.01$  düzeyinde, c9-t11 izomeri ortalama değerleri arasındaki fark ise  $P < 0.001$  düzeyinde önemli bulundu. Uygulanan diğer pişirme yöntemlerinde toplam KLA, c9-t11 izomeri ve t10- c12 izomeri ortalama değerleri arasındaki fark önemli bulunmadı ( $P > 0.05$ ). Elde edilen bulgulara göre, ısısal işlemlerin etlerdeki konjuge linoleik asidin miktarı üzerine önemli bir artırıcı etkisinin olmadığı ve bu nedenle olumlu etkilerinden yararlanabilmek için et ve ürünlerinin konjuge linoleik asit ile desteklenmesi gerektiği sonucuna varıldı.

**Keywords:** Kırmızı Et, Pişirme, Konjuge Linoleik Asit, Biyoaktif İzomer

## Introduction

Meat and meat products are considered high-quality food because they contain nutrients such as protein, vitamin B, minerals (especially iron, zinc, and phosphorus), essential fatty acids, etc. (Djordjevic et al., 2016 ; Doulgeraki et al., 2012). On the other hand, high saturated fatty acids (SFA) and trans fats in Ruminant meats are known to have various negative effects on human health (Kiralan et al., 2005; Pattanayak, 2019). In contrast, CLAs (CLA), which is a bioactive fatty acid naturally found in the meat and fat of ruminant animals, draws much attention due to its nutritional and therapeutic properties (Park and Pariza, 2007; Serra et al., 2009; Suresh et al., 2018).

CLAs, consisting of the positional and geometric isomers of linoleic acid, a polyunsaturated essential fatty acid, is mostly found in meat, milk and their products derived from ruminants. CLAs is produced by biohydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen of ruminant animals and is absorbed through the intestine and spread to other tissues (Schmid et al., 2006; Kurban and Mehmetoğlu, 2006).

Biologically active isomers of CLAs (CLA) are cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12. The cis-9, trans-11 isomer, which is called rumenic acid, constitutes approximately 80-90% of the total CLAs in beef (Ercoşkun et al., 2005; Mulvihill, 2001). It is reported that the two main isomers (cis9, trans11 and trans10, cis12) of CLA have anticarcinogenic, antiatherogenic, antiobesitic and antidiabetic effects on health (Ayдын 2005, Hartigh, 2019; Park and Pariza, 2007). Besides the ability of CLA to reduce body fat levels, its beneficial effects on glycemic profile, atherosclerosis and cancer have also been proven in experimental models (Lehnen et al., 2015).

The variety of useful properties of CLAs is due to the separate or common effects of each or a few of its isomers (Ercoşkun et al., 2005). It is reported that the main factors affecting the amount of CLA in meat and meat products are the animal's diet, seasonal change, species, race, gender, bacterial population in rumen and enzyme activation level (Mulvihill, 2001). Despite its known positive biological effects, CLAs exists in low quantities in the human body, and therefore, studies of enrichment of meat and meat products with CLAs have been increasing recently (Çelebi and Kaya, 2008; Juarez et al., 2009).

It is known that thermal processes can affect the meat composition, especially the fat content and change the meat quality, and some research has shown that the cooking method can alter the fatty acid content and oxidize fats by altering the nutritional value of the products compared to raw samples (Alfaia et al., 2010; Juárez et al., 2010; Oz et al., 2017). Different studies focused on the effect of cooking methods on the fatty acid composition (Lorenzo et al., 2015; Maranesi et al., 2005), but the research for the effect of cooking on CLA and its isomers is still limited.

In the current studies, it is seen that the processing and storage methods applied do not have a significant effect on the amount of CLA in meat, and different results are obtained in cooking processes. (Campo et al., 2013; Herzallah et al., 2005; Hur et al., 2004; Li et al. al., 2016). In the first studies, it has been suggested that oxidation reactions occurring during heat treatments increase the amount of CLA in meat, but dry matter and fat increases during these processes were not taken into account (Ercoşkun et

al. 2005; Zarow et al., 2017). It is determined that heat treatments are effective on meat composition, especially fat content, product final quality and physicochemical properties in meat,. However its effect on CLA in meat is variable (Oliveira et al., 2015; Serrano et al., 2007).

In many studies, it has been revealed that various cooking methods applied in meat do not cause any significant change in the CLA content of meat (Alfaia et al., 2010; Kamal et al., 2019; Li et al., 2016; Rant et al., 2019). In a study on the effect of cooking on fatty acids in CLA-enriched breakfast pork sausages, there was a slight increase in CLA and cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 isomers in cooked meat (Juarez et al., 2009). The CLA content of a ruminant-derived product increased little or did not change as a result of heat treatment, and the CLA content slightly increases as a result of oxidation (Ercoşkun et al. 2005).

Some studies have reported that heat application causes undesirable changes such as loss of essential fatty acids and decreased nutritional value of meat due to the lipid oxidation that usually occurs (Ahmed, 2015; Amaral et al., 2018; Dominguez et al., 2014). In other studies, it has been shown that unsaturated fatty acids are more prone to oxidation and therefore the high unsaturation index in meat can affect oxidative stability (Bou et al 2001; Hur et al., 2004; Yang et al., 2000).

The effects of four different cooking methods (boiling, frying, baking and grilling) on the nutritional and quality criteria of beef *Longissimus dorsi* muscle were investigated by Aşçıoğlu and Şevik (2019). The amount of polyunsaturated fatty acids (PUFA) increased in all cooking modes, while the amount of saturated fatty acids (SFA) decreased in all applications. In another study, it was found that processes such as frying, grilling, microwave and oven cooking did not cause any change in the CLA content of meat, and also, keeping the meat in the refrigerator caused oxidative changes in the meat, but not the CLA content of the meat (Cristina et al., 2010).

However, in many studies, it has been concluded that there is great instability in the changes in each fatty acid in the different cooking methods applied and there is not sufficient information about whether the existing CLA in meat is sensitive to the thermal processes applied household cooking methods (Badiani et al., 2002; Lorenzo et al. et al., 2015; Nikmaram et al., 2011). This study was carried out to investigate the effect of different cooking techniques applied to meat such as boiling, frying, baking and grilling on CLA (CLAs) and cis9 trans11 and trans10-cis12 isomers.

## Material and Methods

### Material

2 kg of meat samples taken from the *M.longissimus dorsi* muscle of the bovine body and frozen into cubes were used as materials in the study. Raw and cooked meat samples of 300 g each were first divided into 3 groups of 100 g each and then into 2 groups of 50 g each. Thus, a total of 30 samples were examined, 6 for each group. Methanol, potassium hydroxide, hexane, CLAs analytical standard (O5507) and other chemicals used in the analysis were all supplied from Sigma Aldrich.



## Methods

### Material Preparation and Cooking Process

After the frozen meat samples were thawed at + 4°C, fat, nerve and membrane were cleaned and divided into 5 groups, each containing 300 grams of meat. The first group was left raw for control (internal temperature 8°C), the second group was boiled (105 °C and 45 minutes, internal temperature 71.33°C), the third group was frying (220°C and 15 minutes, internal temperature 88.83°C), the fourth group was baking (200°C and 30 minutes, internal temperature 80.58°C) and the fifth group was grilled (250°C and 15 minutes, internal temperature 77.83°C) were processed and the internal temperatures of the meat samples were measured with an IR thermometer (Cem DT-8862).

### Fat Extraction and Esterification Process

Fat determination of raw meat and meat-applied meat was done by the Soxhlet method (Anonymous, 2002). 0.1 g of the fat obtained was weighed and dissolved in 10 ml of n-Hexane. The dissolved samples were mixed for 30 seconds on the vortex device and 100 µl of 2 N KOH (prepared in methanol) solution was added and mixed again for 30 seconds. Then, it was centrifuged at 40 rpm / 5 min, taken from the liquid phase into 2 ml vials and made ready to be read in the GC-FID device. The methyl esterification process was carried out in an analytical standard (Anonymous, 2005; Roach et al., 2002).

### Detection of CLA bioactive Isomers

Bioactive isomers of CLAs in esterified fat samples were analyzed on the Thermo Scientific, Trace 1310 model instrument.

Accordingly, the TR-FAME (30 m x 0.25 mm ID x 0.25 µm, Part No: 260 M142P, Serial No: 0035744) column was used. Injection volume was 1 µl and split ratio 1:20, column furnace temperature (gradient increased from 180°C to 210°C by 5°C / min) at 210°C, 15°C injection temperature was set at 250°C and detector temperature at 260°C. Helium gas with a flow rate of 30 ml/min was used as the carrier gas (Alonso et al., 2004; Christie et al., 2001; Steinhart et al., 2003).

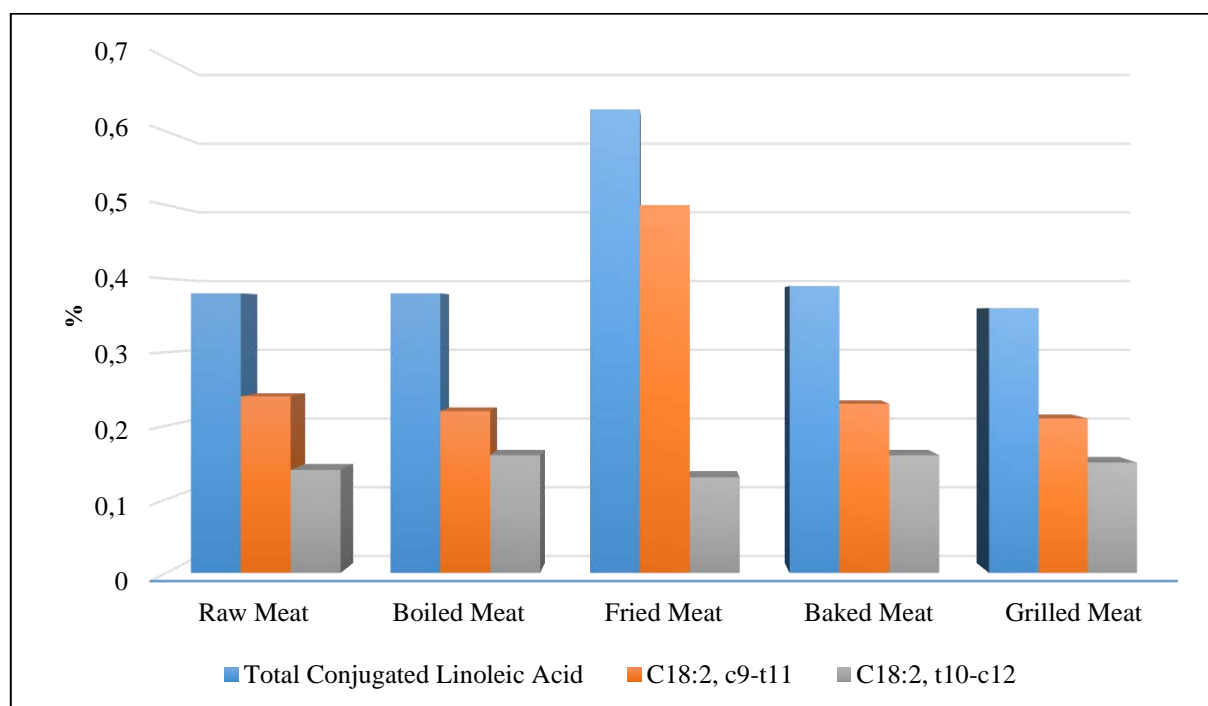
### Statistical Analysis

The samples analyzed in the groups were determined using the kruskal wallistest. SPSS 13.0 analysis package program was used in this analysis.

## Results and Discussion

Although studies on the effect of cooking on CLAs in meat are limited, some researchers point out that cooking methods are effective in changing the nutritional value of meat, especially in the fat composition of meat (Badiani et al., 2004; Bravo- Lamas, 2018; Maranesi and al., 2005; Sarriés et al., 2009).

CLAs includes 28 geometric and positional isomers of linoleic acid, omega-6 essential fatty acid. Among these isomers, the biological properties of t10,c12 -CLA, which are called rumenic acid and which are found in high amounts in foods (C18: 2) and of the (C18: 2) t10,c12 -CLA following this isomer have been determined (Aydın, 2005; Kurban and Mehmetoğlu, 2006; Schmid et al., 2006). The biologically active isomers c9-t11 and t10-c12 of CLAs constitute approximately 80-90% of the total isomers in beef (Mulvihill, 2001, Ercoşkun et al., 2005).



**Figure 1.** The amount of CLAs and isomer detected in raw and cooked meat samples

In our study, the amounts of c9-t11 and t10,c12-CLA determined from meat fat in the samples and the amounts of CLAs, which is their sum, are given in table 1 and Figure 1. Accordingly, the total CLAs amount was calculated as 0.3836%

(3.8 mg / g fat) from the amount of fat which was determined as 1.2850 g per 100 grams of raw meat whose internal temperature was measured as + 8 °C in our study. It is formed of this amount 0.2353% (2.3 mg / g fat) was c9-t11 and 0.1483% (1.5 mg / g fat)

t10-c12 bioactive isomers. The total amount of CLAs in our study was evaluated over the c9-t11 and t10,c12-CLA, which are the most abundant of 28 isomers.

The average amount of CLAs obtained from the different muscles of cattle and calves is reported by Schmid et al. (2006) as 2.9-4.3 mg / g fat. In a study of Cristina et al. (2010), 3.59 mg total CLAs was determined in grams of meat fat examined. Suresh et al. (2018) detected 2.5 to 8.5 mg / g fat and 1.4 to 3.7 mg / g meat CLAs in goat and buffalo fat and muscle tissues. The amounts of CLAs reported in these studies were found to be compatible with the findings obtained in our study. It is reported by other studies that the major isomer found in natural resources is c9-t 11 and that c9-t11 and t10,c12-CLA are found in similar amounts in commercial preparations (Schmid et al. 2006; Wang and Jones. 2004).

0.2353% (2.3 mg / g fat) of c9,t11-CLA and 0.1483% (1.5 mg / g fat) of t10,c12-CLA were found in raw meat samples. The c9,t11 -CLA was calculated as 61.34% and the t10,c12-CLA was 38.66% of the total CLAs, (Table 1). The fact that the amount of t10,c12-CLA is so high in raw meat samples gives the idea that the animal whose meats are examined is fed with commercial preparations. As a matter of fact, in a study conducted by Cristina et al. (2010), the c9,t11-CLA was detected at a rate of 67.35% and the t10,c12-CLA at a rate of 1.12% in animals treated with natural pasture fattening, and it was found to be significantly different from our findings.

Some authors point out that the applied heat treatments can be effective on meat composition and especially fat and fatty acid content, affecting the final product quality (Badiano et al., 2004; Campo et al., 2013; Oz et al., 2017; Serrano et al., 2007). In our study, the amount of fat in 100 grams of raw meat is 1,285 grams. This amount was determined as 5.1380 grams in frying process, 4.6620 grams in baking, 1.1843 grams in boiling and 1.0430 grams in grilling process. Accordingly, the intramuscular fat content increased in the frying and baking process and decreased in the boiling and grilling process. It is thought that the increase

in the frying and baking process is due to sunflower oil added before the process. Similarly, in a study by Kamal et al. (2019), the intramuscular fat content of 6.14% to raw meat decreased to 5.31% and 4.83%, respectively, after the grilling and boiling, but significant on the desired fatty acids of cooking, it had no effect.

The effect of applied heat treatments on fatty acids in meats has been investigated in many studies and it has been concluded that heat treatments reduce the amount of saturated fatty acid due to the conversion to trans, but increase the amount of unsaturated fatty acid. In the study conducted by Li et al. (2016), prolonged slow cooking with pre-frying and different heating methods increased the polyunsaturated fatty acid values in pork, but decreased the fat percentage of pork. In the pre-frying process combined with flame heating, lower total saturated fatty acid percentages were determined, while higher mono and polyunsaturated fatty acids were obtained.

A study on the effect of heat treatments on the fatty acid composition of chicken meat enriched by Zarow et al. (2017) was conducted. As a result, the fatty acid content in raw meat has not changed, but the amounts of total monounsaturated and polyunsaturated fatty acids have increased significantly after frying and roasting. The effects of four different cooking methods (boiling, frying, baking and grilling) on the nutritional and quality criteria of beef *Longissimus dorsi* muscle were investigated by Aşçıoğlu and Şevik (2019). Accordingly, the amount of polyunsaturated fatty acids increased in all cooking methods, while the amount of saturated fatty acids decreased in all applications.

Linoleic acid turns into conjugate due to the heat treatment applied and causes an increase in the amount of CLAs in the environment (Wang, 2004; Kurban & Mehmetoğlu, 2006). For example, in a study conducted by Juarez et al. (2009), a decrease in the amount of linoleic acid and an increase in the amount of CLAs was detected in the grilled breakfast sausages at 200°C for 30 minutes.

**Table 1.** The amounts of fat, conjugated linoleic acid and isomer detected in raw and cooked meat samples

Raw and Cooked Meat Samples	Quantity of Total Fat		Conjugated Linoleic Acid		C18:2, c9-t11		C18:2, t10-c12	
	(g/100 meat)	g	mg/g fat	(%)	mg/g fat	(%)	mg/g fat	(%)
Raw Meat	1.28	3.83	0.38	2.35	0.24	1.48	0.14	
Boiled Meat	1.18	3.78	0.38	2.16	0.22	1.62	0.16	
Fried Meat	5.14	6.35	0.63	5.04	0.50	1.30	0.13	
Baked Meat	4.66	3.91	0.39	2.34	0.23	1.57	0.16	
Grilled Meat	1.04	3.64	0.36	2.13	0.21	1.51	0.15	

In Table 1, the total amount of CLAs detected in grams of meat has decreased slightly in the boiling and grilling process compared to raw meat, while it has increased in the frying process and the baking process in small amount. The total amount of CLAs determined as 3.83 mg/g fat in the raw meat sample was determined as 3.78 mg/g fat in the lowest boiled meat sample and 6.34 mg/g in the highest fried meat sample.

On the other hand, bovine *Longissimus dorsi* muscle, which was subjected to heat treatment at 140°C for 30 minutes, was examined by Sarries et al. (2009) and it was determined that the CLAs content was not affected by the thermal process. Maranesi et al. (2005) reported that there was no significant difference in the total CLAs amounts of lean meat taken from the waist region before and after the microwave and frying process.

According to our study and the studies above, there is an indecision in the effect of different cooking methods applied to meat on the amount of CLAs. In some cooking methods, the amount of CLAs increases due to the conversion of linoleic acid, while in other methods it is not affected.

c9,t11-CLA, which is 2,36 mg / g fat in raw meat, 2,16 mg / g fat in boiled meat, 5,04 mg / g fat in fried meat, 2,34 mg / g fat in baked meat, and 2,13 mg / g fat in grilled meat was determined. The t10,c12 -CLA, which was 1,48 mg / g in raw meat, 1,62 mg / g in boiled meat, 1,30 mg / g in fried meat, 1,57 mg / g in baked meat and 1,51 mg / g in grilled meat. Accordingly, it was observed that the c9,t11-CLA increased significantly in fried meat compared to raw meat, decreased slightly in other cooking techniques and t10,c12 -CLA decreased in fried meat compared to raw meat and increased slightly in other cooking techniques (Table 1).

Rant et al. (2019) investigated the effect of cooking processes such as microwave and roasting on fatty acid composition in lamb *Longissimus dorsi* muscle. When compared with raw meat, it was concluded that the heat treatments applied did not change the saturated fatty acid and polyunsaturated fatty acid content of the meat and the CLAs did not cause a significant change in the content of the C18: 2 c9,t11-CLA.

Alfaia et al. (2010) reported that cooking processes such as microwave, baking, boiling and grilling cause higher saturated fatty acid, monounsaturated fatty acid and lower polyunsaturated fatty acid ratios in beef, whereas CLAs isomers against heat treatment. It has been reported to show stability.

It has been reported by Alfaia et al. (2010) that cooking processes such as microwave, baking, boiling and grilling cause

higher saturated fatty acid, monounsaturated fatty acid and lower polyunsaturated fatty acid ratios in beef, while CLAs isomers show stability against heat treatment.

Juanéda et al. (2003), in their study to determine the effect of heat on the formation of CLAs isomers in sunflower oil, two temperatures (180 and 220°C) were used for heating and the level of CLAs was positively affected by the temperature. In addition, it was observed that more CLAs isomers were formed in 180°C application compared to 220°C application.

Some studies have reported that the application of heat generally causes the loss of essential fatty acids due to lipid oxidation and the unsaturated fatty acids are more prone to oxidation (Amaral et al., 2018; Bou et al., 2001; Dominguez et al., 2014). In the study of Bou et al. (2001), it was reported that unsaturated fatty acids are more prone to oxidation, and therefore high unsaturation index in meat can affect oxidative stability. In a study conducted by Cristina et al. (2010), it was found that oxidative changes that were not important occurred immediately after application in grilled and microwaved meat, and a slight oxidative increase in boiled meat.

In the study conducted by Sarriés et al. (2009), the effect of cooking on the fatty acid and CLAs content of bovine *Longissimus dorsi* muscle was investigated. It was concluded that there was no change in the relative distribution of fatty acids during cooking (140 ° C for 30 minutes) and cooking did not cause thermal degradation or oxidative synthesis of polyunsaturated fatty acid or CLAs.

The statistical analysis results with the total average values of the total CLAs and bioactive isomers found in the raw and cooked meat samples are given in Table 2.

**Table 2.** Statistical analysis results with the mean values of the total CLAs and bioactive isomers detected in the samples (n = 6 for each group).

Groups	C18:2, c9-t11 (%)		C18:2, t10-c12 (%)		Total CLA (%)	
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Raw Meat	0.24 <sup>b</sup>	0.01	0.15	0.02	0.39 <sup>b</sup>	0.02
Blanched Meat	0.22 <sup>b</sup>	0.02	0.16	0.01	0.38 <sup>b</sup>	0.03
Fried Meat	0.50 <sup>a</sup>	0.03	0.13	0.01	0.63 <sup>a</sup>	0.03
Baked Meat	0.23 <sup>b</sup>	0.01	0.16	0.00	0.39 <sup>b</sup>	0.01
Grilled Meat	0.21 <sup>b</sup>	0.01	0.15	0.01	0.36 <sup>b</sup>	0.02
Importance	***		NI		**	

a, b: the difference between columns bearing different letters is significant.

NI: Not important (P> 0.05); \*\*: P <0.01; \*\*\*: P <0.001

Accordingly, the difference between the mean values of the total CLAs and the mean values of the c9,t11-CLA was found to be significant at the P <0.001 level, and the difference between the mean values of the t10,c12-CLA was found to be insignificant (P> 0.05).

In the study conducted by Alfaia et al. (2010), the percentage of CLAs C9,t11-CLA increased significantly after boiling (p <0.05), but there was no change in cooking with microwave or grill. The other bioactive isomer t10-c12 was not affected by heating processes (p> 0.05). In a study conducted by Juarez et al. (2009), 3 groups of breakfast sausages containing different amounts of CLAs were grilled at 200°C for 30 minutes, and the

differences between c9-t11 and t10,c12-CLA values were not found to be statistically significant.

Similarly, in another study by Cristina et al., (2010), the effect of cooking methods on CLAs of bovine intramuscular fat was examined and it was concluded that there was no significant change in the amount of CLAs, c9,t11-CLA and t10,c12-CLA detected in raw meat in boiling, microwave cooking and grilling processes.

Among the cooking methods applied in our study, the frying process applied meat samples had the highest average value in total CLAs and c9,t11-CLA. The idea that factors such as the amount and structure of sunflower oil used in the frying process,

the temperature and duration applied, the internal temperature reached and thus the oxidation formed played a role in this. In Table 2, no significant difference was found between the total CLAs and c9,t11-CLA and t10,c12-CLA average values in other cooking methods ( $P > 0.05$ ).

## Conclusion

The amounts and proportions of CLAs bioactive isomers in the beef samples examined in the study were found to be close to each other. This suggests that the beef samples were obtained from animals fed commercial feed in a closed fattening environment.

Although the CLAs and its bioactive isomers detected in the samples showed a slight increase or decrease in the applied boiling, baking and grilling processes, it showed that these changes were not statistically significant.

The increase detected in the frying process occurred due to the sunflower oil used. As a result, the CLAs and bioactive isomers present in meat are not adversely affected by the heat treatment applied and this does not create a negative situation in terms of health.

On the other hand, it is an important advantage that CLAs and bioactive isomers are not negatively affected by various processes applied to meats. However, CLAs and its bioactive isomers are not available in meat and meat products in an amount that can show their biological effects. For this reason, the amount of CLAs in meat and meat products should be increased in order to meet the amount required for a healthy life.

## References

- Ahmed, S. T., Islam, M. M., Bostami, A. R., Mun, H. S., Kim, Y. J., & Yang, C. J. (2015). Meat composition, fatty acid profile and oxidative stability of meat from broilers supplemented with pomegranate (*Punica granatum L.*) by-products. *Food chemistry*, 188, 481-488.
- Alfaia, C. M., Alves, S. P., Lopes, A. F., Fernandes, M. J., Costa, A. S., Fontes, C. M., ... & Prates, J. A. (2010). Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science*, 84(4), 769-777.
- Alonso, L., Cuesta, E. P., & Gilliland, S. E. (2004). Gas chromatographic method for analysis of conjugated linoleic acids isomers (c9t11, t10c12, and t9t11) in broth media as application in probiotic studies. *Journal of chromatographic science*, 42(3), 167-170.
- Amaral, A. B., SILVA, M. V. D., & LANNES, S. C. D. S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, 38, 1-15.
- Anonim (2002). Et ve Et Mamülleri- Toplam Yağ Miktarı Tayini Tadil 1, TS 1744/T1, TSE Bakanlıklar/Ankara.
- Anonim (2005). Application note: Column Selection for the Analysis of Fatty Acid Methyl Esters, Agilent Technologies, USA.
- Aşçıoğlu, Ç. and Şevik, R. (2019) : The Effects Of Cooking Methods On The Properties Of Beef Longissimus Dorsi. *Gıda*, 44 (1): 173-183 doi: 10.15237/gida.GD18101.
- Aydın R. (2005) : Conjugated linoleic acid: Chemical structure, sources and biological properties. *Turk J Vet Anim Sci*, 29, 189-195.
- Badiani, A., Montellato, L., Bochicchio, D., Anfossi, P., Zanardi, E. and Maranesi, M. (2004) : Selected nutrient contents, fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, and retention values in separable lean from lamb rib loins as affected by external fat and cooking method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5187–5194.
- Bou, R., Guardiola, F., Grau, A., Grimpa, S., Manich, A., Barroeta, A., et al. (2001) : Influence of dietary fat source, a-tocopherol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poultry Science*, 80, 800–807.
- Bravo- Lamas, L., Barron, L. J. R., Farmer, L., Aldai, N. (2018) : Fatty acid composition of intramuscular fat and odour-active compounds of lamb commercialized in northern Spain. *Meat Sci* 139, 231-238. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.02.006.
- Campo, M.M., Muela, E., Olleta, J.L., Moreno, L.A., Santaliestra-Pasias, A.M., Mesana, M.I., Sanudo, C. (2013). Influence of cooking method on the nutrient composition of Spanish light lamb. *Journal of Food Composition and Analysis* 31, 185-190, doi: 10.1016/j.jfca.2013.05.010.
- Christie, W.W., Sébédio, J.L. and Juanéda, P. (2001) : A practical guide to the analysis of conjugated linoleic acid (CLA). *Inform*, 12, 147-152.
- Cristina M.M. Alfaia, Susana P. Alves, Anabela F. Lopes, Maria J.E. Fernandes, Ana S.H. Costa, Carlos M.G.A. Fontes, Matilde L.F. Castro, Rui J.B. Bessa, José A.M. Prates, (2010) : Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science* 84 ,769–777
- Çelebi, Ş. ve Kaya, A. (2008) : Konjuge Linoleik Asitin Biyolojik Özellikleri ve Hayvansal Ürünlerde Miktarını Artırmaya Yönelik Bazı Çalışmalar. *Hayvansal Üretim* 49(1): 62-68.
- Djordjevic, J., Boskovic, M., Dokmanovic, M., Lazic, I., Ledina, T., Suvajdzic, B., & Baltic, M. (2016): Vacuum and Modified Atmosphere Packaging Effect on Enterobacteriaceae Behaviour in Minced Meat: Vacuum and Modified Atmosphere Packaging Effect, *Journal of Food Processing and Preservation* c. 41, s. 2,
- Doulgeraki, A. I., Ercolini, D., Villani, F., & Nychas, G. J. E. (2012): Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions”, *International Journal of Food Microbiology*, c.157, sayı 2, ss. 130-141,
- Dominguez, R., Gomez, M., Fonseca, S. and Lorenzo, J.M. (2014) : Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*. 97:223-230.
- Ercoskun, H., Uğuz, Ş., Kıralan, M. (2005) : Konjuge Linoleik Asit. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 9. (19), 42-46.
- Hartigh, J.L. (2019) : Conjugated Linoleic Acid Effects on Cancer, Obesity, and Atherosclerosis: A Review of Pre-Clinical and Human Trials with Current Perspectives. *Nutrients* 2019, 11, 370; doi:10.3390/nu11020370
- Herzallah, S.M., Humeid, M.A., and Al-Ismail, K.M. (2005) : Effect of Heating and Processing Methods of Milk and Dairy Products on Conjugated Linoleic Acid and *Trans* Fatty Acid Isomer Content *J. Dairy Sci.* 88:1301–1310.
- Hur, S.J., Ye, B.W., Lee, J.L., Ha, Y.L., Park, G.B. and Joo, S.T. (2004) : Effects of conjugated linoleic acid on color and lipid oxidation of beef patties during cold storage. *Meat Sci*, 66, 771–775.
- Juanéda, P., Périerre, S.B., Sébédio, J.L. and Grégoire, S. (2003) : Influence of heat and refining on formation of CLA isomers

- in sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* volume 80, pages937–940.
- Juarez , M.A., Brunton, M.N, Lynch, B., Troy, D.J. and Mullen, A.M. (2009) : Cooking effect on fatty acid profile of pork breakfast sausages enriched in conjugated linoleic acid by dietary supplementation or direct addition. *Food Chemistry*; 117: 393–397.
- Juárez,M., Failla,S., Ficco,A., Pen,F.,Avilés,C and Polvillo,O.(2010): Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. *Food and Bioproducts Processing*, 8 8, 145–148.
- Kamal, B., Farid, M., Marianne,S., Marie-Laure,F., Mohamed,B., Caid-Hana, S. and Ahmed,E. (2019) : Effect of Cooking Methods on Fatty Acids Profile and Health Lipid Indices of Be-Ni-Guil Lamb Meat from Eastern Morocco. *Journal of Applied Biological Sciences* , 13 (3): 166-171. E-ISSN: 2146-0108
- Kiralan,M., Yorulmaz,A. ve Ercoşkun,H. (2005) : Trans Yağ Asitler! Kaynakları ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi*, 7, 52-64.
- Kurban, S. ve Mehmetoğlu, İ. (2006) : Konjuge Linoleik Asit Metabolizması ve Fizyolojik Etkileri, *Türk Klinik Biyokimya Derg.*, 4(2), 89-100.
- Lehnen, T.E., da Silva, M.R., Camacho, A., Marcadenti, A. and Lehnen, A.M. (2015) : A review on effects of conjugated linoleic fatty acid (CLA) upon body composition and energetic metabolism. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 12(1):12–36.
- Li, Y., Li, C., Zhao, F., Lin, X., Bai, Y., Zhou, G. (2016) : The effects of long-duration stewing combined with different cooking and heating methods on the quality of pork belly. *J Food Process Pres* 40, 94-102, doi: 10.1111/jfpp.12587.
- Lorenzo, J.M., Cittadini, A., Munekata, P.E. and Dominguez, R. (2015) : Physicochemical properties of foal meat as affected by cooking methods. *Meat Sci* 108, 50-54, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.05.021.
- Maranesi, M., Bochiccio, D., Montellato, L., Zaghini, A., Pagliuca, G., & Badiani, A. (2005) : Effect of microwave cooking or broiling on selected nutrient contents,fatty acid patterns and true retention values in separable lean from lamb rib loins, with emphasis on conjugated linoleic acid. *Food Chemistry*, 90, 207–218.
- Mulvihill B. (2001) : Ruminant meat as a source of conjugated linoleic acid (CLA). *Nutr Bull*, 26, 295–299.
- Nikmaram, P., Yarmand, M.S., Emamjomeh,Z. and Darehabi,H.K. (2011) : The effect of cooking methods on textural and microstructure properties of veal muscle (Longissimus dorsi). *Glob. Vet.* 6: 201-207.
- Oliveira, E. A., Sampaio, A.A.M., Henrique, W., Pivarro, T.M., Rosa, B.L. and Fernandes, A.R.M. (2015) : Chemical and fatty acid composition of different cuts cooked or uncooked from yearling bulls fed oil sources. *Acta Sci. Anim. Sci.* 37: 187-194.
- Oz, F., Aksu, M.I. and Turan, M. (2017) : The effects of different cooking methods on some quality criteria and mineral composition of beef steaks. *J Food Process Pres* 41, 1-10, doi:10.1111/jfpp.13008.
- Park,Y. and Pariza, M. W. (2007) : Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA). *Food Res Int* 40(3), 311–323.
- Pattanayak, S. (2019) : Trans-Fats of Processed And Fried Foods -A Choice for Taste or Serious Health Problems? *Explor Anim Med Res.*,Vol.9, Issue - 1, p. 5-14.
- Rant, W., Radzik-Rant,A., Świątek, M., Niznikowski, R., Ślęzak, M., Szymańska, Z. and Morales-Villavicencio, A. (2019) : The effect of cooking method on the physico-chemical characteristics and fatty acid composition in lamb longissimus dorsi muscle. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 31(2): 118-124 doi: 10.9755/ejfa.2019.v31.i2.1914.
- Roach; A.G., Magdi, M., Mossobaa,M., Yurawecza, M.P. and Kramer,K.G. (2002) : Chromatographic separation and identification of conjugated linoleic acid isomers, *Analytica Chimica Acta* 465, 207–226
- Sarries, M.V., Murray, B.E., Moloney, A.P., Troy. D. and Beria-in, M.J. (2009) : The effect of cooking on the fatty acid composition of longissimus muscle from beef heifers fed rations designed to increase the concentration of conjugated linoleic acid in tissue. *Meat Sci*, 81, 307–312.
- Schmid,A., Collomb,M.Sieber,R.Bee,G. (2006) : Congutated linoleic acid in meat and meat product : A rewiew *Meat Sci.*, 73, 29-41.
- Serra, A., Mele, M., Comba, F., Conte, G., Buccioni, A. And Secchiari, P. (2009) : Conjugated linoleic acid (CLA) content of meat from three muscles of Massese suckling lambs slaughtered at different weights. *Meat Sci*, 81, 396–404.
- Serrano, A., Librelotto, J., Cofrades, S., Sánchez-Muniz, F. J., & Jiménez-Colmenero, F. (2007) : Composition and physicochemical characteristics of restructured beef steaks containing walnuts as affected by cooking method. *Meat Science*, 77(3), 304–313.
- SPSS (2019) : Statistical Package for the Social Sciences 25.0 Chicago, IL, USA, SPSS Inc.
- Steinhart,H., Rickert,R., Winkler, K. ((2003) : Identification and Analysis of Conjugated Linoleic Acid Isomer (CLA), *Eur J Med Res.* 8, 370-2.
- Suresh,D., Kalpana,S. and Baswa,P.R. (2018) : Estimation of Conjugated Linoleic Acid (CLA) Content in Ruminant Meat and Fats. *Journal of Meat Science*, 13(2), 30-33. DOI : 10.5958/2581-6616.2018.00017.8
- Wang, Y. and Jones, P. J. (2004) : Dietary conjugated linoleic acid and body composition. *Am J Clin Nutr.*, 79,1153-8.
- Yang, L., Leung, L. K., Huang, Y., & Chen, Z. Y. (2000) :Oxidative stability of conjugated linoleic acid isomers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3072–3076.
- Zarow,M.F., Koronowicz, A., Szymczyk,B., Kopec, R.B. and Leszczynska,T. (2017) : Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and thermal processing on fatty acid composition of enriched chicken meat. *J. Anim. Feed Sci.*, 26(3):236–246, doi.org/10.22358/jafs/76184/2017.



# Bitcoin Cryptocurrency Price Prediction Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network

Ahmad Bilal Wardak<sup>1</sup>, Jawad Rasheed<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Aydın University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Istanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7928-5234),  
[ahmadwardak@stu.aydin.edu.tr](mailto:ahmadwardak@stu.aydin.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Nisantasi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Software Engineering, Istanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3761-1641),  
[jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr](mailto:jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr)

(First received 26 February 2022 and in final form 29 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079622)

**ATIF/REFERENCE:** Wardak, A. B., & Rasheed, J. (2022). Bitcoin Cryptocurrency Price Prediction Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network. *European Journal of Science and Technology*, (38), 47-53.

## Abstract

Due to its growing popularity and commercial acceptance, cryptocurrency is playing an increasingly essential role in altering the financial system. While many people are investing in cryptocurrency, the dynamic characteristics and predictability of crypto currency are still largely unknown, putting investments at risk. In this paper, we attempt to anticipate the Bitcoin price by taking into account a variety of factors that influence its value with the highest possible accuracy using (LSTM) Recurrent Neural Network. The data we use in this work includes updated daily records of many aspects of Bitcoin pricing over a five-year period. Since the cryptocurrency (Bitcoin) data is so volatile, we implement an effective pre-processing of the data in order to have a better prediction result. With this solution, we gain accuracy of 95.7% and RMSE of 0.05. Furthermore, we compare this work with other existing methods based on performance and accuracy. This comparison demonstrates that utilizing LSTM with adequate hyperparameter tweaking is one of the most efficient ways for cryptocurrency price prediction.

**Keywords:** Cryptocurrency, Bitcoin, Blockchain, Neural Networks, Deep Learning, RNN, LSTM.

## Uzun Kısa Vadeli Bellek Tekrarlayan Sinir Ağı Kullanarak Bitcoin Kripto Para Birimi Fiyat Tahmini

### Öz

Artan popüleritesi ve ticari kabulü nedeniyle, kripto para birimi finansal sistemi değiştirmede giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Birçok kişi kripto para birimine yatırım yaparken, kripto para biriminin dinamik özellikleri ve öngörülebilirliği hala büyük ölçüde bilinmemektedir ve bu da yatırımları riske sokmaktadır. Bu yazıda, Tekrarlayan Sinir Ağını (LSTM) kullanarak değerini mümkün olan en yüksek doğrulukla etkileyen çeşitli faktörleri dikkate alarak Bitcoin fiyatını tahmin etmeye çalışıyoruz. Bu çalışmada kullandığımız veriler, beş yıllık bir süre boyunca Bitcoin fiyatlandırmasının birçok yönünün güncellenmiş günlük kayıtlarını içermektedir. Kripto para birimi (Bitcoin) verileri çok değişken olduğundan, daha iyi bir tahmin sonucuna sahip olmak için verilerin etkili bir ön işlemlerini uyguluyoruz. Bu çözümle %95.7'lik bir doğruluk ve 0.05'lik bir RMSE elde ediyoruz. Ayrıca, bu çalışmayı performans ve doğruluğa dayalı olarak mevcut diğer yöntemlerle karşılaştırıyoruz. Bu karşılaştırma, LSTM'yi yeterli hiperparametre ayarlaması ile kullanmanın, kripto para birimi fiyat tahmini için en etkili yollardan biri olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kripto para, Bitcoin, blok zinciri, Nöral Ağlar, Derin Öğrenme, RNN, LSTM.

\* Corresponding Author: [jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr](mailto:jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr)

## 1. Introduction

Neural network and Deep learning-based cryptocurrency prediction and trading is a new and emerging field of research. It has been extensively studied and used for stock price prediction and trading. Similarly, different algorithms have been used to analyze the demand for cryptocurrencies, especially Bitcoin. Cryptocurrency (Greenberg, 2011) is a digital asset that is maintained in a computerized database system and uses encryption technology to safeguard transaction records, governs coin production, and authenticates coin ownership transfers. Bitcoin (Vigna Paul, 2016) is a type of electronic cash that is the most valued in the world and the first decentralized cryptocurrency. It was established in 2008 by Satoshi Nakamoto, an unnamed individual or group of individuals. It was deployed once the currency's architecture was made public as open-source software in 2009. Bitcoin is a decentralized digital currency that may be moved from one user to another over the peer-to-peer bitcoin network without the use of an intermediary.

A database framework called blockchain (Kharpal, 2018), which is similar to an encrypted registry with bitcoin transactions, secures and keeps track of all bitcoin transactions. In a blockchain, a block corresponds to a single record. Any block in the blockchain is linked to the previous block and shapes the block's substance. By default, all data contained inside a blockchain is encrypted. With the incorporation of automated cash systems into the network, any two involved parties will now transact with each other. With the integration of electronic cash systems into the network, any two involved parties may conduct safe transactions without the intervention of a third party or device. Each exchange includes the receiver's public key, which the owner verifies using his own private key.

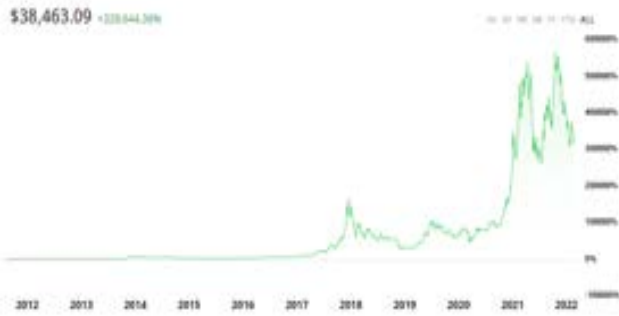


Figure 1. Bitcoin's price fluctuation since it was formed.

Since the features of Bitcoin are so complex, and its price fluctuates over time, there are only a few algorithms that can forecast the value of bitcoin cryptocurrencies. (Figure 1) shows how the price of Bitcoin has varied in all-time (Bitstamp, 2022). So, in order to greatly support today's investment decisions, it has become necessary to accurately forecast the value of Bitcoin, which is the most common cryptocurrency. As this problem falls under the time series prediction category, deep learning mechanisms and neural network models can be considered, especially when considering price prediction of data that is temporal in nature. This paper uses (LSTM) Recurrent Neural Network mechanism for Bitcoin price prediction.

LSTM is an RNN architecture; both are the most efficient and well-known artificial neural network methods for identifying patterns in data sequences such as numerical time series data, financial markets, and government agencies. What differentiates

RNNs and LSTMs from other neural networks is that they consider time and sequences and have a temporal component. On the other hand, Recurrent networks take both current input examples and what they have perceived previously in time as their input.

Due to the highly non-linear and volatile character of financial market proceedings, it is unsurprising that neural networks have been gaining increased attention in the world of finance, particularly for time series forecasting. Because Bitcoin is a relatively new technology, there are only a few price predictions models available. In this section, we will go over prior research on bitcoin price prediction using deep learning in a nutshell. Researchers (Patel et al., 2020) offer a hybrid cryptocurrency prediction approach based on LSTM and GRU that works on only two coins, Litecoin and Monero. The results show that this approach accurately predicts prices, and the strategy may be utilized for numerous cryptocurrency price estimations. Authors in (McNally et al., 2018) developed two models for bitcoin price prediction based on RNN and LSTM and compared them to an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model (*Th15 Week 's Citation Classic*®, 1989). The RNN and LSTM models outperformed the ARIMA model in the study (McNally et al., 2018).

In the study (Lahmiri & Bekiros, 2021), a deep forward neural network (DFFNN) was built and deployed for the modeling and forecasting of Bitcoin high-frequency price data. The authors of this paper assessed the effect of the robust method and the Levenberg-Marquardt algorithm on DFFNN accuracy. DFFNN trained with the Levenberg-Marquardt algorithm outperforms DFFNN trained with the Powell-Beale restarts technique and DFFNN trained with the robust algorithm, according to the simulation results. As a consequence, the robust algorithm is faster, implying that it might be effective in online training and trading. The predictability of three main cryptocurrencies (Bitcoin, Ethereum, and Litecoin) and the profit growth of investment strategies the machine learning approach proposed by (Sebastião & Godinho, 2021) with an accuracy of 80.17 percent and 91.35 percent, respectively.

Paper (Ferdiansyah et al., 2019) studies bitcoin and stock market projections, methodology, tactics, and tools from a variety of sources, including books, journals, and other publicly available sources. This research study demonstrates how to create a model prediction of the bitcoin stock market using LSTM, but the prediction output is insufficient in terms of RMSE. Scientists in (Albariqi & Winarko, 2020) evaluated the efficacy of MLP and RNN models for forecasting bitcoin price fluctuations. Long-term price prediction outperforms short-term price prediction in both MLP and RNN. The top-performing model in this experiment was a Multilayer Perceptron with a time window of 3 and 200 epochs, an accuracy of 81.3 percent, a precision of 81 percent, and a recall of 94.7 percent.

To support the development of Intelligent Systems (Alkaya, 2013) introduced an optimization technique for the number of processing features of hidden layers to predict a stock price measurement using Evolutionary Artificial Neural Networks. The researchers in this paper demonstrated that when the number of neurons employed in hidden layers is improved, EANN performs better with a fixed neural network design and optimized parameters. (Raço, H. & Demirci, 2019) provides a deep learning model feeding with statistical features computed

from historical benchmark price data, and their approach outperforms and achieves high accuracy. (Rasheed et al., 2020) suggested two deep learning approaches, LSTM and 1D-CNN, to increase stock prediction accuracy using 3 independent datasets. They investigated how feature extraction using principle component analysis (PCA) influenced the accuracy rate of both 1D-CNN and LSTM. This study revealed that LSTM with PCA produced much better results on the dataset, despite the fact that the 1D-CNN model performed well in terms of computational complexity during training.

Furthermore, (Kemalbay G., 2021) reported the development of a machine learning tool based on genetic programming for the forecasting of the Istanbul Stock Exchange National market index and compared the results to traditional seasonal ARIMA (SARIMA) and ARCH models. These findings show that the GP technique outperforms standard methods in terms of predicting the XU100 index's financial time series data. However, inspired by the accurate result and best performance of mentioned research studies, for predicting Bitcoin cryptocurrencies price, this paper will also be using the RNN (LSTM) method but with various data pre-processing methods, using different hyperparameters and layers, using a real-time bitcoin cryptocurrency dataset. And also, we provide in-depth comparisons between the existed mentioned models and the proposed model.

This method not only process single data points, but also entire sequences of data. After training, the model showed the final results of 95.7 accuracies and 0.05 RMSE. Real-time cryptocurrency data (CryptoCompare, n.d.) has been used for training and testing the developed model. Also, we compared our proposed work with existing works based on accuracy, performance, and methods. The rest of the paper is organized as follows: Section 2 explains the material and methodology used in this study, whereas Section 3 presents the experiments, analysis, and performance of the work. Section 4 contains the conclusions.

## 2. Material and Method

The purpose of this paper is to develop a model that takes a sequence of time series data as input, processes it, trains the recurrent neural network, and predicts the future price for the Bitcoin cryptocurrency. The complete process is divided into four major sections: Getting real-time cryptocurrency data, preparing the data for training and testing, creating and training an (LSTM) Recurrent Neural Network model for predicting the price of a cryptocurrency, and predicting the prices using the trained model. We utilized the deep learning framework TensorFlow (Kanagachidambaresan, 2021) to address the bitcoin price prediction challenge. A real-time dataset from (CryptoCompare, n.d.) was used for training and testing. The created approach can forecast prices based on the last 30 days.

### 2.1. Data Preparation

Data in the LSTM model requires to be in the form of sequences of Xs and ys. Where in this model X represents the last 30 days' prices and y represents the 31st-day (next day) prices. Because the LSTM algorithm is based on neural networks, standardizing or normalizing the data is required for a faster and more accurate fit.

#### 2.1.1. Data Normalization

Our model is built on an RNN with LSTM layers that transforms input vectors into vectors with entries in the [0,1] range using the sigmoid activation function. Because the denominator will always be greater than the nominator, we apply normalization to scale model features. The output value will always be a number between 0 and 1.

#### 2.1.2. Data Transformation

We make an assumption for the RNN in terms of the number of time periods the model will need to learn about the present time period. Given that 30 days, the time span for our RNN model to learn from Bitcoin values in the past appears to be an acceptable assumption. As a result, per price, the X train will contain the last 30 days' Bitcoin prices, while the Y train will be the next day's Bitcoin price.

#### 2.1.3. Data Reshaping

We add a new dimension to the model to allow for the use of additional indicators to assist estimate the pricing. We convert the data from 2D to 3D in this method. The input that LSTM expects is in 3D format. The shape of our training data is (1571, 30, 1), which is in the form of (number of samples, time steps, number of features). This means that in the training data, we have 1571 examples to learn from, with each example looking back 30-steps in time, such as what the stock price was yesterday, the day before yesterday, and so on until the last 30 days. The second number (30) is called time steps. The last number (1) represents the number of features. Here we are using just one column 'Closing Price' which is why we set it to 1.

## 2.2. Prediction Model

Since the goal is to anticipate stock values, which is a continuous output value, predicting cryptocurrency prices is a regression problem rather than a classification one. The Sequential module is used to generate a Neural Network object with sequential layers for this predictor. We next add LSTM layers, and because forecasting the price of a financial product is difficult, we choose a model with high dimensionality that can catch both upward and downward trends in the stock price, thus we employ a large number of LSTM units per LSTM layer. For regularization, we additionally include a Dropout layer, which lets us to ignore a percentage of the neurons in the LSTM layers. Finally, we add an output layer with the Dense module. Whereas, for the compiling of the model we used Adam optimizer using mean squared error loss value with the experimentally 0.001 value of learning rate and a batch size of 90.

This project is developed using the Python v3 programming language in a Windows 10 environment on a machine with an Intel(R) Core (TM) i7 processor running at 2.90GHz. In this project, the PyCharm Integrated Development Environment (IDE) is used to write the code. PyCharm is a Python programming language integrated development environment (IDE). It was created by JetBrains (*JetBrains Strikes Python Developers with PyCharm 1.0 IDE*, n.d.), a Czech firm. It provides code analysis, a graphical debugger, an integrated unit tester, version control system (VCSys) integration, and compatibility for web development with Django and data science with Anaconda (Haagsman, 2019). PyCharm is cross-platform, with versions available for Windows, Mac OS, and Linux.



### 2.3. Deep Neural Network Architecture

Convolutional neural networks (CNNs), unsupervised pre-trained networks (UPNs), and recurrent neural networks (RNNs) are the three major groups of deep neural network designs (A. Canziani, Adam Paszke, 2016). The architectural overview explains how to put these networks into operation. RNNs are the state-of-the-art method for sequential data, particularly time-series data, among several DNN designs (see Figure 2).

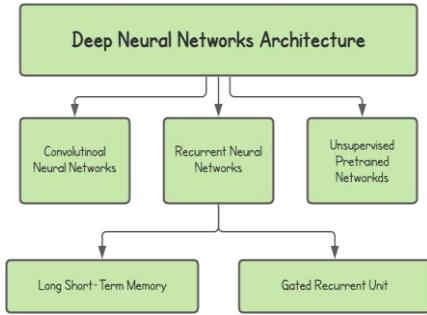


Figure 2. Deep neural networks architectures at a glance.

The estimated error is transmitted back through the network to update the weight in RNN, and information goes from the input layers to the output layer. Hidden layers of RNN, unlike UPNs, ANNs, and CNN's, not only provide output but also feed themselves. RNN (Singh, 2017) works by converting the specified input features into machine-readable vectors. The system then goes through each of these vectors one by one, moving from the beginning to the last in sequential order. During processing, the system sends the information to the next phase of this sequence via a hidden state (memory state). When the hidden state has gathered all of the system's existing information from previous stages, it is ready to move on to the next step and combine it with the current step's input to produce a new information vector. The architecture of recurrent neural networks is shown in Figure 3, where "i" is the input and "o" is the output at time step "t." The hidden state at time step "t" is "h." It's the network's memory, calculated from the previous hidden state and the current step's input. Weights for input and previous state value input are denoted by the letter's "W" and "U."

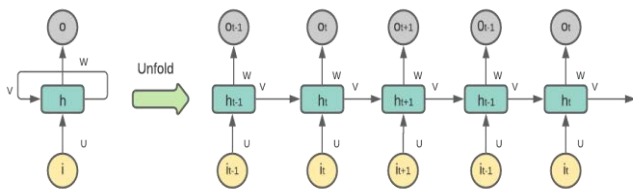


Figure 3. RNN architecture

During the optimization phase of training an RNN model, the weights are randomly chosen values in the first epoch, and if these chosen values are very small, multiplying them with the same recurrent weight multiple times minimizes the gradient until it disappears. Then, when the gradient decreases, updating weight becomes more complex, resulting in a slower

optimization process. Furthermore, because all weights are connected, one incorrectly updated weight affects the calculation of the remaining weights and causes them to be wrong as well. This problem is known as the Vanishing Gradient Problem in RNNs, and LSTMs (Sepp Hochreiter, 1997) are used to solve it. The set of operations performed on the provided information and the input value in that precise step distinguishes the RNN from the LSTM.

The information in LSTMs is sent through the following gates: Forget gate, which determines whether or not information should be discarded. The input gate is used to update the state of the cell. The output gate decides what the next hidden state should be, while the cell state updates the cell state to new values that the network finds important.

### 2.4. Data Analyzation

To train our pricing model, we use real-time cryptocurrency price data in the period of January 2016 – to the current date, a total of 2001 days of financial data from (CryptoCompare, n.d.) which are shown in Figure 4. During this time period, the lowest close price was 448.00 USD in January 2016, and the maximum price was 38,373.90 USD on February 18, 2022, which was much greater than the lowest price.

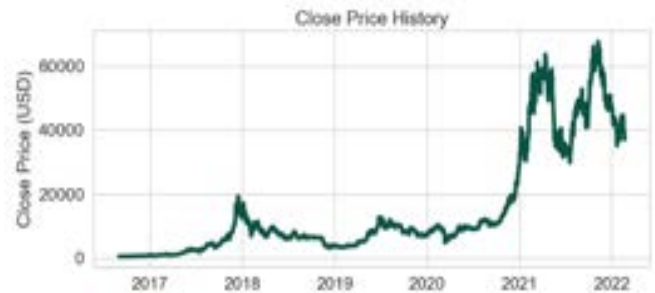


Figure 4. Bitcoin (USD) daily close prices from January 2016 to February 2022

The dataset contains 8 features, 5 of them counted as main features which are depicted in Figure 5. The closure price of a currency is the price at which the market closes for a particular day. The highest currency price for the day is known as the High Price. Low Price refers to the day's lowest currency rate. The open price for that day's currency is the market open price. The volume of currency traded on a given day is referred to as volume. To evaluate our model, we use Bitcoin price data in USD and the target feature (value) is the close price. The created model predicts the Bitcoin close prices based on the last 30 days.

time	high	low	open	volume(btc)	volume(usd)	close	conversionType	conversionSymbol
2018-08-01	704.97	598.37	673.88	25872.20	1.488019e+07	671.99	direct	
2018-08-02	577.60	569.30	571.99	28812.18	1.537579e+07	575.28	direct	
2018-08-03	604.97	572.84	575.29	35999.73	2.105551e+07	598.84	direct	
2018-08-04	610.20	590.76	596.34	30890.03	1.854801e+07	609.55	direct	
2018-08-05	610.91	598.77	609.55	25288.46	1.538993e+07	605.78	direct	
2022-02-18	40980.05	39498.78	40545.08	32514.79	1.308738e+08	39994.68	direct	
2022-02-19	40464.82	39664.71	39994.68	11674.81	4.677461e+08	40107.12	direct	
2022-02-20	40142.98	38818.97	40107.12	23828.68	9.907071e+08	38397.25	direct	
2022-02-21	39495.33	38862.52	38397.25	47548.30	1.819826e+09	37607.38	direct	
2022-02-22	37875.86	36371.68	37607.38	21628.46	8.118421e+08	37607.38	direct	

2001 rows x 9 columns

Figure 5. Bitcoin (USD) dataset sample with features and prices

### 2.5. Model Training

The initial dataset was partitioned into train and test sets with ratios of 80 and 20, respectively, to train the model. Following successful training, the accuracy was calculated in 100 iterations using all of the prices from the test dataset. Figure 6 shows that the model loss decreases as the number of training iterations increases. The result shows that the model has a loss of 0.00005 and an accuracy of 95.7 percent.

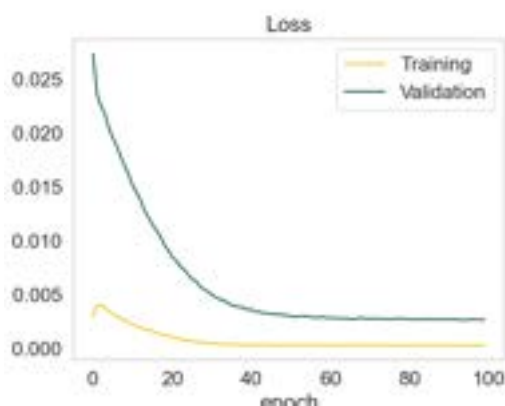


Figure 6. Training and validation loss decreases with each iteration.

At the training stage, the network processed all prices from the training dataset per each iteration, we added three callbacks, which are EarlyStopping, ModelCheckpoint, and TensorBoard callbacks. The EarlyStopping callback is used to avoid overfitting during data training. Using this callback, the training stops when there is no improvement in the monitored metric. The validation loss value would be the statistic to be tracked in this case. At the end of each epoch, the training loop will check to see if the loss is still decreasing; if it isn't, stop training is set to True, and the training will be terminated. We utilized the ModelCheckpoint callback to save the best model or weights (in a checkpoint file) at regular intervals so that the model or weights could be loaded later to continue training from the saved state and utilizing the best model. The TensorBoard callback is used to log TensorBoard events, which allow TensorBoard visualizations. TensorBoard is a visualization tool that comes standard with Tensor Flow.

### 3. Results and Discussion

As this paper emphasizes a solution to time-series data price prediction, it is necessary to evaluate processing and performance. To evaluate the model accuracy, we used the real-time Bitcoin dataset which contains 2001 days prices. The prices predicted by the proposed method in this paper are shown in Figure 7. The results show that the applied method gives satisfying prediction results. When testing the developed model, we used 20% of the dataset and 80% for training the model. For evaluating the model, we have applied different values of hyperparameters; We added 0.01 value for learning rate and also, we added a dropout layer with an experimental value of 0.5, which had a big impact in increasing the accuracy of the model and also gets rid of overfitting, with experimenting different batch size from 120, 90, 60 we have chosen 120 which was the most proper one. we gained 95.7% of accuracy with the validation loss of 0.00065 and 0.05 RMSE. Table 1 shows the values of the hyperparameters for the proposed model.

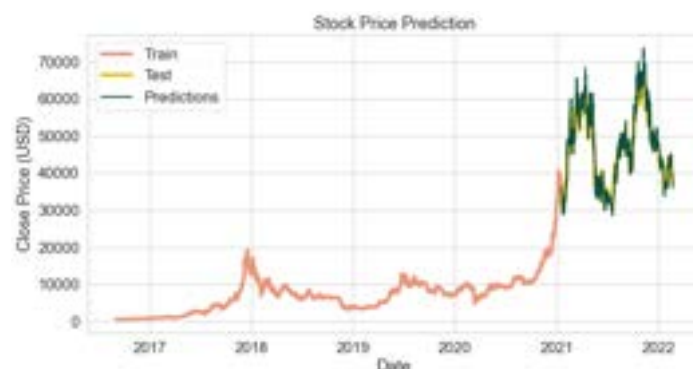


Figure 7. Original vs predicted close price of the bitcoin cryptocurrency.

Table 1. Proposed model hyperparameter tuning

	Proposed Model (LSTM)
Accuracy	95.7%
Validation loss	0.00065
Learning Rate	0.001
Learning Algorithm	Adam
Batch Size	90
Hidden State Size	50
Dropout	0.5
Window size	30
RMSE	0.05

To compare the proposed model with other developed models we have studied the (Albariqi & Winarko, 2020) and (McNally et al., 2018) papers. The paper (Albariqi & Winarko, 2020) discusses the Multilayer Perceptron (MLP) and Recurrent Neural Networks (RNN) models for predicting short-term and long-term Bitcoin price changes. The data utilized are from the Bitcoin blockchain from August 2010 to October 2017, with a 2-

day period and a total of 1300 data. The models anticipate both short-term and long-term price changes spanning from two to sixty days. The results show that long-term prediction beats short-term prediction, with Multilayer Perceptrons having a higher accuracy when forecasting the next 60-day change in prices and Recurrent Neural Networks getting the greatest accuracy when forecasting the next 56-day price change. With an accuracy of 81.3 percent, Multilayer Perceptron outperforms Recurrent Neural Networks. According to the findings of this experiment, the optimal learning rate for both MLP and RNN is 0.01, with validation losses of 0.58 and 0.62, respectively as shown in Table 2.

Table 2. Paper (Albariqi & Winarko, 2020) models' comparison

	<b>Multilayer Perceptron</b>	<b>Recurrent Neural Networks</b>
Short term highest accuracy	70.04%	67.56%
Long term highest accuracy	81.3%	77.3%
Validation loss	0.58	0.62
Learning Rate	0.01	0.01
Learning Algorithm	Adam	Adam
Batch Size	128	128
Hidden State Size	Obtained using formula (42)	20
Dropout	0.5	0.5
Window size	3	3

The CRISP data mining approach is used in paper (McNally et al., 2018). The Bitcoin dataset was utilized for this suggested technique, which spans from August 19th, 2013 to July 19th, 2016. This study created two models for bitcoin price prediction based on RNN and LSTM and compared them to an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model. As a consequence, the LSTM had the best accuracy, while the RNN had the lowest RMSE (see Table 3). In terms of accuracy and RMSE, the ARIMA forecast did not perform well.

Table 3. Paper (McNally et al., 2018) models' comparison

	<b>LSTM</b>	<b>RNN</b>	<b>ARIMA</b>
Accuracy	52.78%	50.25%	50.05%
RMSE	6.87%	5.45%	53.74%
Learning Algorithm	RMSprop	RMSprop	-
Hidden State Size	20	20	-
Dropout	0.5	0.5	-
Window size	100	24	-

Table 4 shows the resulting accuracy of the proposed method compared to all methods in (McNally et al., 2018) and (Albariqi & Winarko, 2020). It shows that one of the most efficient methods for cryptocurrency price prediction is using LSTM with proper hyperparameters tuning. The approach given in this study outperforms the other methods in terms of accuracy and RMSE.

Table 4. Comparison between the proposed method and several existing methods.

	<b>Algorithm</b>	<b>Accuracy (%)</b>
Proposed Method	LSTM	95%
Paper (Albariqi & Winarko, 2020)	MLP	81.3%
	RNN	77.3%
Paper (McNally et al., 2018)	ARIMA	50.05%
	LSTM	52.78%
	RNN	50.25%

## 4. Conclusions

We introduced a recurrent neural network architecture with long-short term memory for forecasting Bitcoin cryptocurrency prices in this study. We evaluated the network under different parameters for tuning the model. It has been found that using the Relu activation function and appropriate dropout value, using gradient descent, a proper and experimented hidden node along with an effective learning rate value, and using the Adam learning algorithm considerably improved the overall result of prediction process, as well as it affected the performance of training time. The prediction is performed on Bitcoin real time dataset and after training we gained the accuracy of 95.7% with error loss of 0.00065 and 0.05 of RMSE which is quite satisfying for a time series data prediction. On the basis of performance and accuracy, we compared this study to other existing methods such as RNN, MLP, ARIMA, and other LSTM models. This comparison revealed that using LSTM with proper hyperparameter tweaking is one of the most effective methods for predicting bitcoin prices.

## 5. References

- A. Canziani, Adam Paszke, E. C. (2016). An Analysis of Deep Neural Network Models for Practical Applications. *ArXiv, abs/1605.0*.
- Albariqi, R., & Winarko, E. (2020). Prediction of Bitcoin Price Change using Neural Networks. *Proceeding - ICoSTA 2020: 2020 International Conference on Smart Technology and Applications: Empowering Industrial IoT by Implementing Green Technology for Sustainable Development*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICoSTA48221.2020.1570610936>
- Alkaya, A. (2013). NEURON OPTIMIZATION OF EVOLUTIONARY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR STOCK PRICE INDEX PREDICTION.

- International Journal of Economics and Finance Studies*, 5 (1), 12–21.  
<https://dergipark.org.tr/en/pub/ijefs/issue/26160/2>
- Bitstamp. (2022). *Bitcoin BTC/USD*. <https://www.bitstamp.net>
- CryptoCompare. (n.d.). *The Premium API Solution*. <https://min-api.cryptocompare.com>
- Ferdiansyah, Othman, S. H., Zahilah Raja Md Radzi, R., Stiawan, D., Sazaki, Y., & Ependi, U. (2019). A LSTM-Method for Bitcoin Price Prediction: A Case Study Yahoo Finance Stock Market. *ICECOS 2019 - 3rd International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, Proceeding, June*, 206–210. <https://doi.org/10.1109/ICECOS47637.2019.8984499>
- Greenberg, A. (2011). *Crypto Currency*. <https://www.forbes.com/forbes/2011/0509/technology-psilocybin-bitcoins-gavin-andresen-crypto-currency.html?sh=7906850a353e>
- Haagsman, E. (2019). *Collaboration with Anaconda, Inc. PyCharm Blog*.
- JetBrains Strikes Python Developers with PyCharm 1.0 IDE*. (n.d.). <https://www.eweek.com/development/jetbrains-strikes-python-developers-with-pycharm-1.0-ide>
- Kanagachidambaresan, K. B. P. R. R. (2021). Introduction to Tensorflow Package. *Programming with TensorFlow*, 1–4.
- Kemalbay G., B. K. O. (2021). SARIMA-ARCH versus genetic programming in stock price prediction. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(2), 110–122.
- Kharpal, A. (2018). *Everything you need to know about the blockchain*.
- Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2021). Deep Learning Forecasting in Cryptocurrency High-Frequency Trading. *Cognitive Computation*, 13(2), 485–487. <https://doi.org/10.1007/s12559-021-09841-w>
- McNally, S., Roche, J., & Caton, S. (2018). Predicting the Price of Bitcoin Using Machine Learning. *Proceedings - 26th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, PDP 2018*, 339–343. <https://doi.org/10.1109/PDP2018.2018.00060>
- Patel, M. M., Tanwar, S., Gupta, R., & Kumar, N. (2020). A Deep Learning-based Cryptocurrency Price Prediction Scheme for Financial Institutions. *Journal of Information Security and Applications*, 55(May), 102583. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2020.102583>
- Rasheed, J., Jamil, A., Ali Hameed, A., Ilyas, M., Ozyavas, A., & Ajlouni, N. (2020). Improving Stock Prediction Accuracy Using CNN and LSTM. *2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy, ICDABI 2020*. <https://doi.org/10.1109/ICDABI51230.2020.9325597>
- Raço, H. & Demirci, M. (2019). Predicting the Turkish Stock Market BIST 30 Index using Deep Learning. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (1), 253–265. doi: 10.29137/umagd.425560
- Sebastião, H., & Godinho, P. (2021). Forecasting and trading cryptocurrencies with machine learning under changing market conditions. *Financial Innovation*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-020-00217-x>
- Sepp Hochreiter, J. S. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9 (8), 1735–1780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Singh, V. (2017). *Basic Architecture of RNN and LSTM*. *Th15 Week 's Citation Classic* ®. (1989). 1970, 1989.
- Vigna Paul, C. M. J. (2016). *The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain Are Challenging the Global Economic Order*.



## Yerleştirme Faaliyetlerinde Alt Yüklenici Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Şeyda Topaloğlu Yıldız<sup>1\*</sup>, Mertcan Özçelik<sup>2</sup>, Semih Akaba<sup>3</sup>, Soner Altan<sup>4</sup>,  
Nisa Yağmur Bilgi<sup>5</sup>, Kaan Bodur<sup>6</sup>, Mehmet Erdem Çorapçioğlu<sup>7</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6827-126X), [seyda.topaloglu@deu.edu.tr](mailto:seyda.topaloglu@deu.edu.tr)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4600-9946), [mertcan.ozcelik.mo@gmail.com](mailto:mertcan.ozcelik.mo@gmail.com)

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4170-2757), [semihakaba@gmail.com](mailto:semihakaba@gmail.com)

<sup>4</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6907-9210), [soneraltan9612@gmail.com](mailto:soneraltan9612@gmail.com)

<sup>5</sup> TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5908-3814), [nisayağmur.bilgi@tai.com.tr](mailto:nisayağmur.bilgi@tai.com.tr)

<sup>6</sup> TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5701-7629), [kaan.bodur@tai.com.tr](mailto:kaan.bodur@tai.com.tr)

<sup>7</sup> TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2986-6575), [mehmeterdem.corapcioglu@tai.com.tr](mailto:mehmeterdem.corapcioglu@tai.com.tr)

(İlk Geliş Tarihi 28 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 4 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079723)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, Ş. T., Özçelik, M., Akaba, S., Altan, S., Bilgi, N. Y., Bodur, K., & Çorapçioğlu, M. E. (2022). Yerleştirme Faaliyetlerinde Alt Yüklenici Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 54-64.

### Öz

Bu çalışmada, alt yüklenici seçimi problemi için ankete dayalı çok kriterli karar verme metodolojisi geliştirilmiştir. Anket çalışması alt yüklenici firmanın iş tipine uygun olarak ilgili ana iş alanlarında gerçekleştirilir. Bu alanlar belirlenen ana boyutlara göre değerlendirilir. Geliştirilen metodolojide ilk olarak ana iş alanları ve ana iş boyutlarının nispi önemleri yani ağırlıklarının hesaplanması için FUCOM ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra anket sonuçları ve hesaplanan ağırlıklar dikkate alınarak, çok kriterli karar vermede kullanılan TOPSİS, VIKOR, Uzlaşık programlama ve MABAC tekniklerine dayanan alt yüklenici firmaların seçimine ilişkin bir sıralama yöntemi sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Alt Yüklenici Seçimi, Anket Değerlendirme, Çok Kriterli Karar Verme, FUCOM, TOPSİS, VIKOR, MABAC, Uzlaşık Programlama.

## Multi-Criteria Decision Making Method for Subcontractor Selection in Indigenization Activities

### Abstract

In this study, a survey-based multi-criteria decision-making methodology has been developed for the subcontractor selection problem. The survey is carried out in the relevant main business areas under the work type of the subcontractor company. These areas are evaluated according to the specified main dimensions. For the developed methodology, initially, the FUCOM weighting method is used to calculate the relative importance of the main business areas and main business dimensions. Then, a ranking method for the selection of the subcontractors based on the TOPSİS, VIKOR, MABAC, and Compromise Programming techniques used in multi-criteria decision-making is presented, considering the survey results and the calculated weights.

**Keywords:** Subcontractor Selection, Questionnaire Evaluation, Multi-criteria Decision Making, FUCOM, TOPSİS, VIKOR, MABAC, Compromise Programming

\* Sorumlu Yazar: [seyda.topaloglu@deu.edu.tr](mailto:seyda.topaloglu@deu.edu.tr)

## 1. Giriş

Yüksek teknoloji ürünlerin geliştirilmesi için etkin bir tedarik zincirinin kurulması gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde alt sistemler ve bileşenler geliştiren çoğu alt yüklenici firma gerekli yetkinliğe sahip değildir. Bu anlamda firmaların deneyimlerini ortaya çıkarmak, tesis kapasitelerini, üretim süreci ve kalite kontrol süreci yeterliliklerini, Ar-Ge ve test ve ölçüm altyapılarını, sektöre özel belgelendirme gibi alanlardaki yeterliliklerini değerlendirmek gerekmektedir.

Bu çalışmada, büyük ölçekli bir savunma ve havacılık şirketinin ihtiyaçları kapsamında yerli alt yüklenici firma seçimi ele alınmıştır. Alt yüklenici firma, ana şirketin uzun vadeli hedeflerine ulaşabilmesi için proje yönetim sürecinde belirli iş paketlerini üstlenmektedir (Dolgui ve Proth, 2013; Enshassi, Arain ve Tayeh, 2012). Birçok sektörde günümüz koşullarında ana firma-alt yüklenici firma iş modeli uygulanmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe alt yüklenicilerin projeye katkısı toplam değer olarak %90'a ulaşmaktadır (Nobbs, 1993). Havacılık sektöründe Airbus ve Boeing gibi sektörün önde gelen firmaları %70-80 oranında alt yüklenici kullanmaktadır.

Alt yüklenici, alıcı firma için bir sözleşme ile belirlenen limitler dahilinde çalışan ve alıcı firma tarafından yapılacak işin bir kısmını tamamlayıp devreden firmadır (Dolgui ve Proth, 2013). Alt yüklenici firmalar, ana sistemin bir alt sistemini geliştirmek ve üretmekten sorumludur. Özellikle Ar-Ge çalışmalarında, projenin yürütülmesi için seçilecek alt yüklenicilerin, projenin başarısında kritik olan birden fazla kriteri sağlaması, projenin güvenilirliğini, etkinliğini ve verimliliğini sağlamada önemli bir role sahiptir. Bu kriterler; projeye uygun teknik özellikler, deneyim, bilgi düzeyi, fiyat, teslim süresi ve garanti koşulları, teslimat sonrası hizmet, kalite, işbirliği, güven, iş ahlakı, stratejik yönetim kabiliyeti, ürün ömrü, sistem bileşenleri olabilir (Can ve Arıkan, 2014). Her proje için yapıldığı sektöre göre farklı kriterlerin değerlendirilmesi gerekebilir. Hal böyle olunca alt yüklenici seçim problemi çok kriterli bir karar problemine dönüşür.

Günümüzde hızla gelişmekte olan teknolojik faaliyetler havacılık ve uzay sektörünü de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu kapsamda faaliyet alanını arttırmak isteyen TUSAŞ için, yeni tedarikçiler ile çalışma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Yerlileştirme faaliyetlerine yönelik birçok projesi bulunan TUSAŞ, çok sayıda yerli tedarikçi arasından kriterlerine en uygun olanlar ile çalışmak amacıyla örnek bir alt yüklenici seçim anketi oluşturmuştur (Bilgi, Apan ve Çorapçioğlu, 2020). Yapılan çalışmada anket soruları 11 farklı ana iş alanına ve *Proses, Performans, Araç ve Veri Yönetimi, İnsan ve Organizasyon* olmak üzere dört farklı ana boyuta ayrılmıştır. Bu çalışmada anket sonuçlarının uygulanabilirliğini arttırmak ve alt yüklenicilerin daha tutarlı değerlendirilmesini sağlamak için iki aşamadan oluşan bir çözüm metodolojisi önerilmiştir. İlk aşamada, değerlendirme sırasında iş modeline göre değişen ana iş alanları ve bu iş alanlarında tanımlanmış olan ana boyutların nispi önemlerini belirlemek için, FUCOM tabanlı bir ağırlıklandırma yöntemi uygulanmıştır. İkinci aşamada, belirlenen ağırlıklar ve alt yüklenici firmaların anket sonuçları kullanılarak TOPSIS, VIKOR, MABAC ve Uzlaşık Programlama (UP) gibi çok kriterli karar verme teknikleriyle firmaların tercih sıralaması yapılmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmında, ikinci bölümde çok kriterli alt yüklenici seçim problemi için literatür araştırması yapılmış ve önerilen yöntemin diğer çalışmalardan farkı ve literatüre katkısı

vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde, ilk olarak kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan FUCOM yöntemi anlatılmış, daha sonra alternatiflerin sıralanmasında kullanılan TOPSIS, VIKOR, MABAC ve UP teknikleri açıklanmıştır. Dördüncü uygulama bölümünde ise alt yüklenicilerin tercih sıralamaları anlatılan yöntemlere göre yapılmıştır. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar özetlenmiş ve geleceğe yönelik çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. Literatür Araştırması

Artan rekabet ortamında, yüksek teknoloji ürünlerine olan talebin artması ve karmaşık üretim teknikleri, yüksek tasarım ve kalifiye personel ihtiyacı, firmaları alt yüklenicilerle işbirliği yapmaya zorlamaktadır (Dolgui ve Proth, 2013). İmalatçı alt yüklenicilerin kullanıldığı üretim modelinde, ana firmanın rekabet gücü artar, üretim döngüsü kısalar, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde karşılık verilebilir. Ayrıca, kaynak ve işgücü maliyetleri azalır (Zhiqiang, Xilan ve Xuewen, 2006). Enshassi, Arain ve Tayeh (2012), alt yükleniciler ile işbirliği yapılmasının avantajlarını şu şekilde belirtmiştir: 1. Kalifiye iş gücü sağlar, 2. Genel giderler azalır, 3. Ana firmanın projenin ilgili iş paketlerindeki belli iş yükleri (projenin izlenmesi ve kontrolü, kalite kontrolü, güvenlik yönetimi ve iş gücü yönetimi) azalır.

Alt yüklenici seçimi problemi inşaat sektörü ağırlıklı olmak üzere, tekstil ve elektronik sektörlerinde daha çok ilgilenilmiştir (Can ve Arıkan, 2013). Kumaraswamy ve Matthews (2000), alt yüklenici firma seçimi için kullanılan yöntemleri incelemiştir. Rahman ve Kumaraswamy (2005), inşaat sektöründeki kritik projelerde yer alacak müteahhit, alt yüklenici, tedarikçi ve müşteri seçiminde, işbirliğine dayalı çalışma düzenlemelerini etkileyen kriterlerin belirlenmesi üzerine istatistiksel bir çalışma yapmıştır. Hartmann, Ling ve Tan (2009), Singapur'da bir inşaat firmasının alt yüklenici seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesinde istatistiksel bir çalışma yürütmüştür.

Abbasianjahromi, Rajaie ve Shakeri (2013), alt yüklenici seçim problemi için Bulanık Tercih Seçim İndeksine (Fuzzy Preference Selection Index – PFSI) dayalı bir karar modeli geliştirmiştir. Önerilen model kriter ağırlıklandırma aşamasını ortadan kaldırmakta ve her kriterin göreceli önemi, karar vericinin FPSI yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesine ilişkin görüşlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yayla, Yıldız ve Yıldız (2013), bir tekstil firması için optimal taşeron seçimine ilişkin bir vaka çalışması sunmuştur. Seçim problemini çözmek için hiyerarşik bir karar modeline dayalı genelleştirilmiş Choquet Integral yöntemi kullanılmıştır. Ulubeyli ve Kazaz (2016), ana yüklenicinin yabancı projeler için uygun alt yüklenicileri seçmesine dair bir alt yüklenici seçim modeli (CoSMo) geliştirmiştir. Niteliksel ve niceliksel karar kriterlerini toplu bir ölçümde birleştiren, insan yargısının dilsel değerler aracılığıyla modellenbildiği bulanık kümeler yöntemi kullanılmıştır.

Can ve Arıkan (2014), savunma sanayi sektöründe AR-GE çalışmaları gerçekleştiren bir firmanın, birlikte çalışacağı alt yüklenici firmayı seçmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve PROMETHEE II yöntemlerinin birleşiminden oluşan bir karar modeli geliştirmiştir. Bu modelde karar vericinin kriter ağırlıkları AHP tarafından belirlenmekte, alternatiflerin sıralaması PROMETHEE II ile yapılmaktadır.

Polat (2016), bir inşaat firmasının alt yüklenici seçim problemi için AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak bütünlüklü bir karar yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşımda, alt

yüklenici seçim probleminin yapısını analiz etmek ve kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP, kriterlerin ağırlıklarını değiştirerek tam sıralama elde etmek ve duyarlılık analizi yapmak için PROMETHEE kullanılmıştır. Husin ve Husaini (2017), alt yüklenici seçimi için bir Yapar Sınır Ağları (ANN) modeli geliştirmiş ve ana firmanın stratejik hedefi ile ilgili önemli kriterleri belirlemiştir. Önerilen ANN modeli, alt yüklenici seçiminin performansını iyileştirmek için kriter ağırlıklarının genelleştirilmesinde katkı sağlamıştır.

Abbasianjahromi, Sepehri ve Abbasi (2018), seçim kriterlerini kategorize etmek için Kano modeli kavramlarına dayalı bir anket yapmıştır. Kano modeli, seçim kriterlerini zorunlu, ters, tek boyutlu, çekici ve kayıtsız olmak üzere beş kategoride sınıflandırmak için uygulanmıştır. Bulanık küme teorisi, AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı hibrit bir çerçevede, en iyi alt yüklenici seçilmiştir. Morkunaite, Podvezko, Zavadskas ve Bausys (2019), kültürel miras binalarının korunması ve restorasyonu için müteahhit seçimi problemini ele almıştır. Bu problemde önemli kriterlere karar vermek ve her bir kriter için ağırlık elde etmek için AHP uygulanmıştır. En uygun alternatifin belirlenmesinde PROMETHEE tekniği kullanılmıştır.

Tavana, Azadmanesh, Nasr ve Mina (2021), konaklama endüstrisindeki kamu-özel ortaklığı (PPP) projelerinde ortak seçimi için bütünlük çok kriterli karar verme ve optimizasyon modeli geliştirmiştir. Önerilen model, ortakları değerlendirmek için ağırlıklı etkiye sahip doğrusal olmayan bir gösterge sistemi kullanmaktadır. Daha sonra, her PPP projesine bir ortak seçmek için doğrusal programlama metrik çözüm yaklaşımı kullanılarak çok amaçlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Abdullah, Ong ve Rahim (2021), taşeronların denetlenmesi için en önemli 10 kriteri belirlemiş ve bu kriterleri beş uzman tarafından değerlendirilmiştir. Önerdikleri Sezgisel Bulanık Kümeler-DEMATEL yöntemini taşeron seçiminde kilit başarı faktörlerine karar vermede kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme tekniklerini sınıflandıran ve uygulama alanlarını içeren derleme çalışmaları bulunmaktadır (Zavadskas, Turskis ve Kildienė, 2014; Azhar, Radzi ve Wan Ahmad, 2021). Behzadyan, Otaghsara, Yazdani ve Ignatius (2012) literatürde farklı alanlardaki TOPSIS uygulamalarını derlerken, Gül, Çelik, Aydın, Gümüş ve Güneri (2016) VIKOR uygulamalarını derlemiştir. Ayrıca MABAC yöntemi ve uygulama alanları ile Alinezhad ve Khalil'in (2019) çalışmasından yararlanılabilir.

Çalışmamızın mevcut literatüre katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- Mevcut literatürde alt yüklenici seçiminde anket değerlendirmeye dayalı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada alt yüklenici firmanın iş modeline göre ilgili iş alanları belirlenmiş ve belirlenen boyutlara göre bu iş alanlarında anketler yapılmıştır.
- Alt yüklenicinin iş modeline göre iş alanlarının ağırlıklandırılması ve bu iş alanındaki boyutların nispi önemlerinin belirlenmesinde FUCOM ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Alt yüklenicilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriter ağırlıklarının belirlenmesi için FUCOM yöntemini uygulayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.
- Anket değerlendirme sonuçlarına göre alt yüklenici firmaların tercih sıralaması ilk defa TOPSIS, VIKOR, Uzlaşık Programlama (UP) ve MABAC teknikleri ile yapılmıştır.

### 3. Materyal ve Metot

Dünyanın önde gelen havacılık firmalarının katkısı ile hazırlanan ve IAQG (International Aerospace Quality Group, Uluslararası Havacılık Kalite Grubu, 2014) tarafından kullanılan anketin, ülkemizdeki bir havacılık ve uzay firması tarafından alt yüklenici ön seçimi çalışmalarında kullanıma uygun olduğu değerlendirilmiştir. IAQG anketinde firmaların yetkinliklerinin değerlendirilmesi için 11 ana iş alanı belirlenmiştir; Bu değerlendirmede, diğer veri toplama tekniklerine (görüşme, gözlem) göre anketin farklı bölgelerden çok daha büyük gruplara hızla uygulama olağanın olması ve maliyetinin daha düşük olması gibi avantajlar ön plana çıkmıştır (Aiken, 1997). Bilgi vd. (2020), IAQG tarafından belirlenen derecelendirme yaklaşımı yerine, her bölümdeki soruları birbirini tamamlayıcı bir yapıda ve koşullarla ilişkilendirilmiş olarak sunmuşlardır. Soruların her bölümde eşit önemde olması nedeniyle eşit ağırlıklandırma uygulanmış ve değerlendirme 3'lü Likert ölçeğine göre (hayır, kısmen ve evet) derecelendirilmiştir. Her cevabın sayısal bir karşılığı vardır. Firmaların ankete verdikleri cevaplar için, firma beyanındaki kanıtlara bakılmadan Evet (4), Kısmen (2) ve Hayır (0) puanları kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Firmaların puanlandırmalarına ilişkin kanıt sağlamaları beklenmektedir. Puanlamanın uygun olup olmadığına karar vermek için ilgili kanıtlar bir değerlendirici tarafından kontrol edilir. Eğer bu kanıtlar puanlamayla uyumlu değilse, verilen puan revize edilir.

*Sistem Tasarımı, Mevcut Tasarımın Üretimi, Talaşlı İmalat* gibi üç farklı iş modeline göre alt yükleniciler değerlendirilmek istendiği için, bu anket alt yüklenicilere uygun olan *Ürün Gerçekleştirme Planlaması, Tasarım ve Geliştirme, Üretim ve Muayene* şeklinde belirlenmiş olan üç ana iş alanında belirlenen boyutlara göre uygulanmıştır. *Proses, Performans, Araç ve Veri Yönetimi, İnsan ve Organizasyon* olmak üzere dört farklı ana boyutta değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda 6 firmaya anket soru seti gönderilmiş ve faaliyetleri doğrultusunda doldurmaları istenmiştir. Pilot çalışma için firma seçiminde, halihazırda alt yüklenici olarak çalışmakta olan ve aday statüsünde olan firmaların seçimine dikkat edilmiştir.

Çalışmanın ilk adımı olarak, alt yüklenicilerin iş modeline göre ana iş alanlarında ve ana boyutlarında ağırlıklandırma yapılmıştır. Kriterlerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması için altı uzman kişinin görüşüne başvurulmuştur. Bu kişilerin uzmanlık alanları tedarik kalitesi, sistem tasarımı-entegrasyonu ve imalat mühendisliğidir.

Buradaki amaç, alt yüklenici türlerine göre öncelik verilen iş alanlarını ön plana çıkarmaktır. Yapılan ağırlıklandırmalardan sonra alt yükleniciler, çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmiş ve tercih sıralamaları elde edilmiştir. Uygulanan yöntemler fayda fonksiyonuna dayalı çok kriterli karar verme yöntemleridir. Bu yöntemler, basit hesaplama, kolay anlama ve bir alternatif kümesinin olması avantajlarına sahip olduklarından en çok kullanılan sıralama yöntemleri arasındadır (Ecer, 2020). Bu nedenle çalışmamızda bu yöntemlerin uygulanması tercih edilmiştir. Bu gruptaki yöntemler, her bir kriter için fayda fonksiyonlarına sahiptir ve bu fonksiyonların değerleri normalize edilmektedir. Her bir alternatifin tüm kriterlere göre fayda değerlerini bir araya getirmek için birleştirme veya toplama işlemleri uygulanır. Ayrıca kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu durum bizim çalışmamız için geçerlidir.

### 3.1. FUCOM Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

Çalışmanın ilk aşamasında ana iş alanları ve ana boyut kategorileri için FUCOM (Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Pamucar, Stevic ve Sremac (2018) tarafından geliştirilen FUCOM yönteminin tercih edilmesinin başlıca sebepleri, kolay uygulanması ve tutarsızlığa izin vermemesidir. FUCOM'un diğer ağırlıklandırma yöntemlerine (AHP, ANP, BWM vb.) göre temel avantajları şöyledir (Ecer, 2020):

- Önemli derecede daha az ikili karşılaştırma gerektirir. ( $n$  kriterli bir problemde  $n - 1$  tane ikili karşılaştırma olur.)
- Kriterlerin tutarlı olarak ikili karşılaştırılmasına izin verir.
- Kriter ağırlıklarının hesaplanması daha güvenilir bir şekilde gerçekleşir.

FUCOM yönteminin adımları aşağıdaki gibidir;

*Adım 1:* Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi.

Her alt yüklenici tipi için iş modeline göre ana iş alanı ve ana boyutlar belirlenmiştir.

*Adım 2:* Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önem vektörünün belirlenmesi.

FUCOM yöntemi kriterlerden birinin en önemli kriter olarak seçilmesine ve diğer kriterlerin bu kritere göre 2'den 9'a kadar numaralandırılarak önem sıralarının belirlenmesine dayanır. En önemli kriter 1 değerini alırken diğer kriterler bu kritere göre nispi önem seviyesinde sıralanır. En önemli kritere yakın olan kriterler küçük değerler alırken, önem seviyesi düşük olanlar büyük değerler alırlar. Örneğin "Sistem Tasarımı" için Tablo 1'in sol tarafında ana iş alanları, sağ tarafında ana boyutlar için bu değerlendirmeler verilmektedir.

Tablo 1. Sistem Tasarımı Karşılaştırma Matrisi (System Design Comparison Matrix)

Sistem Tasarımı			
İş Alanları		Boyutlar	
Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)	3	Proses (PS)	2
Tasarım Geliştirme (TG)	1	Performans (PF)	5
Üretim ve Muayene (ÜM)	5	Araç ve Veri Yönetimi (AVY)	1
		İnsan ve Organizasyon (İÖ)	3

*Adım 3:* Doğrusal olmayan iyileştirme modelinin kısıtlarının tanımlanması.

*Kısıt 1:* Kriterlerin ağırlık katsayılarının oranı  $\varphi_{k/(k+1)}$ , kriterler arasındaki karşılaştırmalı öneme eşittir;

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}} \quad (1)$$

*Kısıt 2:* Ağırlık katsayılarının değerleri matematiksel geçiş durumunu karşılamalıdır;

$$\varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{k+1/k+2} = \varphi_{k/k+2} \quad (2)$$

*Adım 4:* Değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerini belirlemek için bir model tanımlanması.

$$\text{Min } \chi \quad (3)$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \quad \forall j \quad (4)$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (6)$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall j \quad (7)$$

"Sistem Tasarımı" iş modeli için alınan veriler sonucunda ana iş alanları ve ana boyutlar için hesaplanan ağırlık değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Sistem Tasarımı İş Modeline Göre Ağırlıklar (Weights of System Design Business Model)

Sistem Tasarımı			
İş Alanları		Boyutlar	
ÜGP	0.2174	PS	0.2459
TG	0.6522	PF	0.0984
ÜM	0.1304	AVY	0.4918
		İÖ	0.1639

İş alanları ve boyutlar için elde edilen bu ağırlıkların birbirleri ile çarpımı sonucunda ise global ağırlıklar Tablo 3'de verilmektedir. Örneğin, "Tasarım Geliştirme" iş alanındaki "Proses" boyutunun global ağırlığı  $0.6522 \times 0.2459 = 0.1604$  olarak hesaplanır. Bu boyutların iş alanlarına göre hesaplanan global ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

Tablo 3. Sistem Tasarımı İş Modeline Göre Global Ağırlıklar (Global Weights of System Design Business Model)

	ÜGP	TG	ÜM
PS	0.0535	0.1604	0.0321
PF	0.0214	0.0641	0.0128
AVY	0.1069	0.3207	0.0641
İÖ	0.0356	0.1069	0.0214

### 3.2. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminde seçeneklerin değerlendirilmesi pozitif ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Yöntemin amacı pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak karar seçeneğini belirlemektir. TOPSIS yöntemi altı adımdan oluşur.

*Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması*

Karar seçenekleri (alternatifler) ve değerlendirme ölçütleri (kriterleri) belirlendikten sonra oluşturulan matrise karar matrisi adı verilir. Oluşturulan matrisin boyutları  $n$  (alternatifler)  $\times$   $m$  (kriterler) şeklindedir. Eşitlik (8)'de verilen  $D$  karar matrisinde satırlar alternatifleri, sütunlar ise kriterleri göstermektedir. Matristen seçilen bir  $f_{ij}$  değeri  $i$  seçeneğinin  $j$  kriterine göre performans değerini gösterir.

$$D = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$



**Adım 2: Normalize Matrisin Hesaplanması**

2. adımda, ilk adımda oluşturulan karar matrisi normalize edilerek Eşitlik (9)'daki matris (R) elde edilir. Herhangi bir elemanın değeri 0 ise normalize matriste de bu değer 0 alınır.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

R normalize matrisinin her bir elemanı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n f_{ij}^2}}, & i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (10)$$

**Adım 3: Ağırlıklı Normalize Matrisin Hesaplanması**

Bu adımda kriterler için belirlenen ağırlıklar ( $w_j$ ), R matrisindeki elemanlar ile çarpılarak ortaya ağırlıklı normalize matris (V matrisi) çıkar.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_m r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_m r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{n1} & w_2 r_{n2} & \dots & w_m r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (11)$$

**Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi**

Oluşturulan V matrisi ile değerlendirme ölçütünün amacına göre her bir ölçüt için pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur. Ölçütler fayda cinsinden ise, sütunların en büyük değerleri pozitif ideal çözümleri, en küçük değerleri negatif ideal çözümleri verir. Ölçütler maliyet cinsinden ise, en büyük değerler negatif ideal çözümleri, en küçük değerler pozitif ideal çözümleri verecektir. Pozitif ideal çözüm kümesi  $V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\}$ , negatif ideal çözüm kümesi ise  $V^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\}$  şeklinde tanımlanır.

**Adım 5: İdeal Çözümlere Olan Uzaklıkların Hesaplanması**

Alternatiflerin pozitif ideal ( $V_i^+$ ) ve negatif ideal ( $V_i^-$ ) çözümlere olan uzaklığı Eşitlik (12) ve (13)'e göre hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

**Adım 6: Yakınlık Katsayılarının Hesaplanması**

Pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar kullanılarak her bir karar seçeneği için ideal çözüme yakınlık katsayıları ( $C_i^*$ ) Eşitlik (14) ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Yukarıdaki formülle hesaplanan  $C_i^*$  değerleri 0 ile 1 arasında değer alır ve bu değerlerden 1'e en yakın olan  $C_i^*$  değerine ait karar seçeneği öncelikli olarak tercih edilir.

**3.3. VIKOR Yöntemi**

Oprinovic (1981) tarafından önerilen VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, çok kriterli karar vermede etkili yöntemlerden biridir. Aşağıdaki beş adımdan oluşur.

**Adım 1:** Her bir kriterin en iyi ( $f_j^*$ ) ve en kötü ( $f_j^-$ ) değerleri belirlenir. Eğer j kriteri oluşturulan model açısından "fayda" veya "maliyet" anlamında bir değerlendirme kriteri ise  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  değerleri Eşitlik (15) ve Eşitlik (16)'e göre hesaplanır.

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \text{ (Fayda kriteri)} \quad (15)$$

$$f_j^- = \min_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \text{ (Maliyet kriteri)}$$

$$f_j^+ = \min_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \text{ (Fayda kriteri)} \quad (16)$$

$$f_j^- = \max_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \text{ (Maliyet kriteri)}$$

**Adım 2:** Her bir alternatif için  $S_i$  ve  $R_i$  değerleri Eşitlik (17) ve (18)'e göre hesaplanır. Burada  $w_j$ , kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-) \quad (17)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)] \quad (18)$$

**Adım 3:** Her bir alternatif için  $Q_i$  değerleri hesaplanır.

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*) \quad (19)$$

$$S^* = \min_i S_i; S^- = \max_i S_i \quad (20)$$

$$R^* = \min_i R_i; R^- = \max_i R_i \quad (21)$$

v değeri (> 0,5) seçildiğinde,  $Q_i$  endeksine göre çoğunluğun olumlu tutum sergilediği, v değeri (< 0,5) seçildiğinde,  $Q_i$  endeksine göre çoğunluğun olumsuz tutum sergilediği anlamı yüklenilmektedir. Grup kararı ile belirlenen v değeri genellikle v = 0,5 seçilerek, değerlendiricilerin uzlaşmacı bir tutum sergiledikleri kabul edilir.

**Adım 4:** Elde edilen  $Q_i, R_i, S_i$  değerleri sıralanır. En küçük  $Q_i$  değerine sahip alternatif tüm alternatifler arasından en iyisi olarak seçilir.

**Adım 5:** Elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilir. Bu koşullar, şu şekilde ifade edilebilir:

**Koşul 1 - (Kabul edilebilir avantaj):** En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur.  $A_1$ , en az Q değerine sahip olan birinci en iyi alternatif,  $A_2$  ise ikinci en iyi alternatiftir. n, alternatif sayısıdır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq D(Q) \quad (22)$$

$$D(Q) = 1 / (n - 1) \quad (23)$$

**Koşul 2 - (Kabul edilebilir istikrar):** Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından, en iyi Q değerine sahip  $A_1$  alternatifi, S ve R değerlerinin de en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır.

Yukarıda belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

- Eğer Koşul 1 sağlanmıyorsa,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  alternatifleri arasından aşağıda verilen eşitsizliği sağlayanlar çözüm kümesine dahil edilir:

$$Q(A_i) - Q(A_1) < D(Q) \quad (24)$$

- Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa,  $A_1$  ve  $A_2$  alternatifleri çözüm kümesine dahil edilir.

Uzlaşık çözüm kümesinde,  $Q$  değerlerine göre sıralama yapılır. Minimum  $Q$  değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.

### 3.4. Uzlaşık Programlama

UP' de, "ideal" çözüme uzaklık ölçütü olarak her alternatif için  $L_p(i)$  değeri hesaplanır. UP, ilk olarak Zeleny (1973) tarafından geliştirilmiştir. Küçükten büyüğe sıralama ölçütü olarak kullanılan  $L_p(i)$ 'ler  $[0, 1]$  aralığında Eşitlik (25) ile hesaplanan normalize değerlerden oluşur. Bu ölçütteki  $p$  parametresi, karar vericinin ideal çözümden sapmalara taviz konusundaki tutumunu yansıtan bir dengeleme faktörüdür. Amaç, mümkün olduğunca ideal çözüme "yakın" bir çözüm elde etmektir. UP'de maliyet tipi kriter için, değerlendirme ölçütü -1 ile fayda tipinde bir kriter için +1 ile çarpılır.  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  değerleri kriterler için alternatifler arasından alınan maksimum ve minimum değerlere karşılık gelir. Eşitlik (25)'deki metriğe göre alternatiflerin tercih sıralaması en küçük  $L_p(i)$  değerinden en büyüğüne göre olur.

$$L_p(i) = \left[ \sum_{j=1}^m w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (25)$$

- $p = 1$  için tüm sapmalar büyüklükleriyle doğru orantılı olarak dikkate alınır.
- $p = \infty$  için yalnızca en büyüksapma dikkate alınır.

### 3.5. MABAC Yöntemi

MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yönteminin temel prensibi, alternatiflerin kriter fonksiyonlarının sınır yakınlık alanına olan uzaklıklarına göre değerlendirilmesidir. Pamučar ve Ćirović (2015) tarafından geliştirilen bu yöntemde bir sınır yakınlık alanı oluşturulur. Daha sonra tüm alternatifler için kriter fonksiyonları hesaplanır ve bunların sınır yakınlık alanına olan uzaklıkları belirlenir. Son aşamada kriter fonksiyonlarının uzaklıkları ile birlikte alternatifler listelenir ve en uygun alternatif seçilir.

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

MABAC yönteminde, Eşitlik (8)'deki gibi karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Normalize Matrisin Hesaplanması

Karar matrisi normalize edilerek Eşitlik (26)'daki normalize matris ( $N$ ) elde edilir. Normalizasyonda kriterlerin maliyet ve fayda niteliğine göre Eşitlik (27)'deki formüller kullanılır.

$$N = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & & t_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$t_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \quad (\text{Fayda kriteri}) \quad (27)$$

$$t_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \quad (\text{Maliyet kriteri})$$

Yukarıdaki  $f_{ij}$ ,  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  değerleri karar matrisinde bulunmaktadır.  $f_j^*$  sütunlarda bulunan maksimum değerleri,  $f_j^-$  ise sütunlardaki minimum değerleri gösterir.

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Matrisin Hesaplanması

Ağırlıklı normalize matrisin her elemanı ( $v_{ij}$ ), Eşitlik (28) ile hesaplanır:

$$v_{ij} = w_j \cdot (t_{ij} + 1) \quad (28)$$

Adım 4: Sınır Yakınlık Matrisinin Oluşturulması

Her bir kriter için Eşitlik (29) ile ( $g_j$ ) değerleri hesaplanarak Eşitlik (30)'daki sınır yakınlık matrisi ( $G$ ) elde edilir.

$$g_j = \left( \prod_{i=1}^n v_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (29)$$

$$G = [g_j]_{1 \times m} \quad (30)$$

Adım 5: Alternatiflerin Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklarının Hesaplanması

Alternatiflerin sınır yakınlık alanına olan uzaklıklarını gösteren ( $Q$ ) matrisi Eşitlik (31) ile elde edilir. Bu işlemde ağırlıklandırılmış matris elemanları ( $v_{ij}$ ) ve sınır yakınlık matrisi elemanları ( $g_j$ ) arasındaki fark alınır.

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1m} - g_m \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2m} - g_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} - g_1 & v_{n2} - g_2 & \dots & v_{nm} - g_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Sınır yakınlık alanına göre alternatiflerin konumları belirlenir. Eşitlik (32)'de gösterildiği gibi bir alternatif ( $A_i$ ), 3 konumda bulunabilir. Bir alternatifin istenen seviyede olması için üst yakınlık alanında ( $G^+$ ) bulunması gerekmektedir ( $q_{ij} > 0$ ). Bunun dışında alternatif iki farklı konumda bulunabilir. Bunlar alt yakınlık alanı ( $G^-$ ) ve sınır yakınlık alanı ( $G$ ) olmaktadır. Alt yakınlık alanına ( $G^-$ ) yakın olan alternatifler negatif ideal alternatiflerdir yani performansı düşük alternatiflerdir ( $q_{ij} < 0$ ).

$$A_i \in \begin{cases} G^+ \text{ ise } q_{ij} > 0 \\ G \text{ ise } q_{ij} = 0 \\ G^- \text{ ise } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (32)$$

Adım 6: Alternatiflerin Sıralanması

6. adımda alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıkları ( $q_{ij}$ ), Eşitlik (33)'teki gibi toplanarak alternatiflere ait sıralama elde edilir. Hesaplanan  $S_i$  değerlerinden en yüksek olanı en uygun alternatifi belirler.

$$S_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \quad (33)$$

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmanın bu aşamasında FUCOM yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, çok kriterli karar verme yöntemleri TOPSIS, VIKOR, UP ve MABAC ile anket sonuçlarına göre firmaların tercih sıralaması yapılmıştır. Tablo 3’de verilen üç farklı iş modeline göre belirlenen iş alanlarının ve ana boyutlarının nispi önemleri FUCOM yöntemiyle farklı ağırlıklar atayarak belirlenmiştir. Burada “Sistem Tasarımı” iş Modeli için kullanılan yöntemlerin hesaplamaları verilmektedir.

Tablo 4. İş Modelleri, İş Alanları ve Ana Boyutlar (Business Models, Business Areas and Key Dimensions)

İş Modelleri	İş Alanları	Ana Boyut
1. Sistem Tasarımı	1.Tasarım Geliştirme	1. Proses
2. Mevcut Tasarımın Üretimi	2. Ürün Gerçekleştirme Planlaması	2. İnsan ve Organizasyon
3. Talaşlı İmalat	3. Üretim ve Muayene	3. Performans
		4. Araç ve Veri Yöntemi

Yöntemlerin ilk adımında oluşturulan karar matrisi Ek-A Tablo A1’de verilmiştir. Bu matris, TUSAŞ anket çalışmasında alt yüklenicilerin belirlenen 3 ana iş alanındaki 4 boyuta göre aldıkları toplam puanları içermektedir (Bilgi vd., 2020). Örneğin, Tablo A1’de ilk sütun, “Tasarım Geliştirme (TG)” iş alanının “Proses (PS)” boyutu için alt yüklenicilerin (A, B, C, D, E, F) anket puanlarını göstermektedir. Son sütun, “Üretim ve Muayene (ÜM)” iş alanının “Performans (PF)” boyutu için alt yüklenicilerin aldıkları puanları içerir. Bu şekilde toplam 12 sütunluk bir veri bulunmaktadır. Kriterlerin hepsi fayda niteliğindedir. Tüm alternatifler gözetilerek kriterlerin aldığı en iyi ve en kötü değerler Tablo A2’de verilmiştir.

### 4.1. TOPSIS ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

İlk önce Eşitlik (10)’a göre normalize matris (R) elde edilir (Adım 2). Tablo 3’de verilen kriter ağırlıklarının R normalize matris ile çarpılması sonucu elde edilen ağırlıklı normalize matris Ek-A Tablo A2’de sunulmuştur (Adım 3). Bu tablonun son iki satırında pozitif ve negatif ideal çözümler gösterilmektedir (Adım 4). Alt yüklenicilerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları Eşitlik (12) ve (13)’e göre hesaplanarak Tablo 5’de verilmiştir (Adım 5). Tablo 5’in son sütununda alternatiflerin Eşitlik (14)’e göre hesaplanan yakınlık katsayıları bulunmaktadır (Adım 6). Elde edilen yakınlık katsayılarından yola çıkarak TOPSIS yönteminde, altı firma arasından “Sistem Tasarımı” iş modelinde en iyi alternatif E firması olarak belirlenmiştir. E, D ve C firmaları ilk 3 sırayı paylaşmaktadır.

Tablo 5. TOPSIS ile İdeal Çözümlere Olan Uzaklıklar (Distances to Ideal Solutions with TOPSIS)

Firmalar	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i^+$
A	0,099	0,040	0,735
B	0,079	0,063	0,673
C	0,050	0,076	0,600
D	0,039	0,080	0,445
E	0,034	0,095	0,363
F	0,077	0,044	0,363

### 4.2. VIKOR ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

İlk olarak Ek-A Tablo A3’de gösterilen en iyi ve en kötü kriter değerleri tespit edilir (Adım 1). Eşitlik (17)’ye göre Ek-A Tablo

A4’deki ağırlıklı normalize matris elde edilir (Adım 2). Her bir alternatif için farklı  $v$  değerlerine göre Tablo 6’daki  $Q_i$  değerleri hesaplanır (Adım 3). En küçük  $S_i$  değerine sahip alternatif en iyi seçenek olarak belirlenir (Adım 4). Tablo 6’da da görüldüğü gibi her  $v$  değeri için en iyi alternatif E firması olarak bulunmuştur. E, D ve C firmaları ilk 3 sırayı paylaşmaktadır.

Tablo 6. VIKOR ile Hesaplanan  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  Değerleri ( $S_i$ ,  $R_i$  and  $Q_i$  Values Calculated with VIKOR)

	$S_i$	$R_i$	$Q_i$ Değerleri				
			$v = 0$	$v = 0,25$	$v = 0,50$	$v = 0,75$	$v = 1$
A	0,67	0,29	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87
B	0,66	0,32	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85
C	0,45	0,13	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44
D	0,26	0,13	0,28	0,23	0,18	0,13	0,08
E	0,22	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,73	0,16	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00

### 4.3. UP ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

Her alt yüklenici firma için Eşitlik (25)’de verildiği gibi, farklı  $p$  değerlerine karşılık gelen  $L_p(i)$  ölçütü hesaplanır. Hesaplanan ölçüt değerleri Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. UP ile Hesaplanan  $L_p(i)$  Ölçütleri ( $L_p(i)$  Measures Calculated with UP)

Tedarikçiler	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
A	0,67	0,35	0,31	0,30	0,29
B	0,66	0,35	0,32	0,32	0,32
C	0,45	0,19	0,16	0,14	0,14
D	0,26	0,15	0,14	0,13	0,13
E	0,22	0,09	0,07	0,06	0,06
F	0,73	0,27	0,21	0,19	0,18

Farklı  $p$  değerleri için E, D ve C alternatifleri ilk üç sırayı paylaşmaktadır. E firması en iyi alternatiftir.

### 4.4. MABAC ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

En iyi ve en kötü kriter değerlerine göre karar matrisinin (Tablo A1) normalizasyon işlemi Eşitlik (27)’ye göre yapılır (Adım 2). Eşitlik (28)’e göre Ek-A Tablo A5’deki ağırlıklı normalize matris elde edilir (Adım 3). Eşitlik (29)’a göre her kriter için Ek-A Tablo A6’daki sınır yakınlık değerleri hesaplanır (Adım 4). Ağırlıklı normalize matris elemanları ve sınır yakınlık matrisi elemanları arasındaki fark alınarak alternatiflerin kriterlere göre sınır yakınlık alanından uzaklıkları Ek-A Tablo A7’de hesaplanmıştır (Adım 5). Toplam uzaklık değerleri ( $S_i$ ) Tablo 8’de verilmektedir (Adım 6).  $S_i$  değeri en yüksek olan E alternatifi en uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. MABAC ile Hesaplanan  $S_i$  Değerleri ( $S_i$  Values Calculated with MABAC)

Firmalar	E	D	C	B	A	F
$S_i$	0,319	0,279	0,092	-0,116	-0,126	-0,192

### 4.5. Tüm İş Modellerine Göre Tercih Sıralaması

“Sistem Tasarımı” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir. Bütün yöntemlerin uygulanması sonucunda çıkan sıralamalarda ilk üç alternatif sabit kalmış ve tüm yöntemlerde E firması en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

Tablo 9. Sistem Tasarımı İş Modeli Sonuçları (Results of System Design Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	E	E	E	E
2	D	D	D	D
3	C	C	C	C
4	B	F	B	B
5	F	A	F	A
6	A	B	A	F

“Mevcut Tasarımın Üretimi” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 10’daki gibidir. Uygulanan yöntemler sonucunda bütün sıralamalar aynı çıkmıştır. D firması en iyi alternatif olmakla birlikte A firması da D’ye oldukça yakın sonuçlar almıştır.

Tablo 10. Mevcut Tasarımın Üretimi İş Modeli Sonuçları (Results of Production of Existing Design Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	D	D	D	D
2	A	A	A	A
3	E	E	E	E
4	C	C	C	C
5	B	B	B	B
6	F	F	F	F

“Talaşlı İmalat” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir. Uygulanan yöntemler sonucunda bütün sıralamalar aynı çıkmıştır. D firması en iyi alternatif olmakla birlikte A firması da D’ye oldukça yakın sonuçlar almıştır.

Tablo 11. Talaşlı İmalat İş Modeli Sonuçları (Results of Machining Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	D	D	D	D
2	A	A	A	A
3	E	E	E	E
4	C	C	C	C
5	B	B	B	B
6	F	F	F	F

Firmanın halihazırda alt yüklenicisi olduğu bilinen A ve D firmalarına göre potansiyel olan diğer firmaların sonuçları kıyaslandığındaki değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- “Sistem Tasarımı” iş modeline bakıldığında E firmasının ön plana çıktığı,
- “Mevcut Tasarımın Üretimi” iş modeline bakıldığında halihazırda çalışılan A ve D alt yüklenici firmaların performansının diğer firmalara göre yüksek olmasından dolayı ön plana çıktıkları,
- Son olarak “Talaşlı İmalat” iş modeline bakıldığında, benzer bir şekilde halihazırda A ve D alt yüklenici firmalarının ön plana çıktıkları tespit edilmiştir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada alt yüklenicilerin seçimi problemine yönelik ankete dayalı, bütünlük çok kriterli bir karar verme metodolojisi önerilmiştir. Alt yüklenici firmalar iş modeline göre belirlenen iş alanları için, farklı boyutlarda ankete dayalı olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle iş alanlarının ve bu iş alanlarında incelenecek boyutların ağırlıklandırılması FUCOM yöntemiyle

yapılmıştır. Daha sonra farklı çok kriterli karar verme tekniklerinden TOPSIS, VIKOR, UP ve MABAC yöntemleriyle firmaların tercih sıralamaları elde edilmiştir.

Tüm yöntemlerde çıkan sıralamalar hemen hemen aynıdır. Sadece “Sistem Tasarımı” iş modelinde son üç firmanın sıralamasında yöntemler arasında farklılıklar olmuştur. Bu durum, önerilen karar verme metodolojisinin tutarlılığını sergilemekte olup TUSAŞ A.Ş.’ye alt yüklenici seçimi konusunda daha güvenilir sonuçlar sağlayacağına göstergesidir. İleride yapılacaklar çalışmaları arasında anket değerlendirmede kullanılan puanlandırma (Evet (2) – Hayır (0) – Kısmen (1)) yerine, sunulan kanıtları daha detaylı değerlendirebilecek olan 0-6 arasında puanlandırmaya izin veren Likert değerlendirme ölçeğinin kullanılması planlanmaktadır. Geliştirilen anket metodolojisi ve kriter ağırlıklandırma yönteminin uygulamaya konması için örneklem setinin artırılması ve başarılı analiz sonuçlarının ortaya çıkarılması planlanmaktadır. Ayrıca gelecek çalışma olarak anketi bilgisayar ortamında yöneten ve önerilen çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak tercih sıralaması yapan bir karar destek sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- Abbasianjahromi, H., Rajaie, H., & Shakeri, E. (2013). A framework for subcontractor selection in the construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 158-168.
- Abbasianjahromi, H., Sepehri, M., & Abbasi, O. (2018). A decision-making framework for subcontractor selection in construction projects. *Engineering Management Journal*, 30(2), 141-152.
- Abdullah, L., Ong, Z., & Rahim, N. (2021). An intuitionistic fuzzy decision-making for developing cause and effect criteria of subcontractors selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14(1), 991-1002.
- Aiken, L. R. (1997). *Questionnaires and inventories: Surveying opinions and assessing personality*. Wiley.
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). MABAC method. In *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* (pp. 193-198). Springer, Cham.
- Azhar, N. A., Radzi, N. A., & Wan Ahmad, W. S. H. M. (2021). Multi-criteria decision making: A systematic review. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*, 14(8), 779-801.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069.
- Bilgi, N. Y., Apan, E., & Çorapçıoğlu, M. E. (2020). Alt yüklenicilerin değerlendirilmesi için analitik çözüm önerisi: Savunma ve havacılık sanayii için bir anket uygulaması. 8. *Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı Bildiriler Kitabı*.
- Can, Ş., & Arıkan, F. (2014). Bir savunma sanayi firmasında çok kriterli alt yüklenici seçim problemi ve çözümü. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 645-654.

- Dolgui, A., & Proth, J. M. (2013). Outsourcing: Definitions and analysis. *International Journal of Production Research*, 51(23–24), 6769–6777.
- Ecer, F. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleri. Seçkin Yayıncılık.
- Enshassi, A., Arain, F., & Tayeh, B. (2012). Major causes of problems between contractors and subcontractors in the Gaza Strip. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 17(1), 92-112.
- Fachrurrazi, S. H., & Munirwansyah, H. (2017). The subcontractor selection practice using ANN-multilayer. *Civil Engineering*, 8(4), 761-772.
- Gul, M., Celik, E., Aydin, N., Gumus, A. T., & Guneri, A. F. (2016). A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Applied Soft Computing*, 46, 60-89.
- Hartmann, A., Ling, F. Y. Y., & Tan, J. S. H. (2009). Relative importance of subcontractor selection criteria: Evidence from Singapore. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 826-832.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, New York.
- International Aerospace Quality Group. (2014). *SCMH Supplier Selection and Capability Assessment "Maturity Model" Communication Kit & User Guide*.
- Kumaraswamy, M. M., & Matthews, J. D. (2000). Improved subcontractor selection employing partnering principles. *Journal of Management in Engineering*, 16(3), 47-57.
- Li, D. F. (2007). Compromise ratio method for fuzzy multi-attribute group decision making. *Applied Soft Computing*, 7(3), 807-817.
- Morkunaite, Z., Podvezko, V., Zavadskas, E. K., & Bausys, R. (2019). Contractor selection for renovation of cultural heritage buildings by PROMETHEE method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1056-1071.
- Nobbs, H. (1993). *Future role of construction specialists*. London: Business Round Table.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- Pamučar, D., & Čirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(393), 1-22.
- Polat, G. (2016). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1042-1054.
- Rahman, M. M., & Kumaraswamy, M. M. (2005). Relational selection for collaborative working arrangements. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(10), 1087-1098.
- Tavana, M., Azadmanesh, A., Nasr, A. K., & Mina, H. (2021). A multicriteria-optimization model for cultural heritage renovation projects and public-private partnerships in the hospitality industry. *Current Issues in Tourism*, 1-26.
- Ulubeyli, S., & Kazaz, A. (2016). Fuzzy multi-criteria decision making model for subcontractor selection in international construction projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(2), 210-234.
- Yayla, A.Y., Yildiz, A., & Yildiz, K. (2013). Generalised choquet integral algorithm for subcontractor selection in the textile industry – A case study for Turkey. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 21, 6(102), 16-21.
- Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (7), 839-844.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming. *Multiple criteria decision making*, Edited by J.L Cochrane and M. Zeleny.

Ek-A. Hesaplama Tabloları

Tablo A1. Karar Matrisi (Decision Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	13	3	15	1	28	16	22	12	30	18	30	10
B	19	18	14	12	18	12	18	10	18	14	18	4
C	24	16	20	12	20	16	10	12	24	20	16	8
D	21	20	20	8	28	20	18	16	32	21	32	8
E	28	16	24	4	20	18	16	14	28	18	26	10
F	14	10	19	6	14	10	12	10	16	12	16	6

Tablo A2. TOPSIS Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V) ve İdeal Çözümler (TOPSIS Weighted Normalized Decision Matrix (V) and Ideal Solutions)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,041	0,009	0,104	0,003	0,028	0,015	0,058	0,008	0,015	0,009	0,033	0,007
B	0,061	0,052	0,097	0,038	0,018	0,011	0,048	0,007	0,009	0,007	0,020	0,005
C	0,077	0,047	0,138	0,038	0,020	0,015	0,026	0,008	0,012	0,010	0,017	0,005
D	0,067	0,058	0,138	0,025	0,028	0,019	0,048	0,011	0,017	0,011	0,035	0,007
E	0,089	0,047	0,166	0,013	0,020	0,017	0,042	0,010	0,014	0,009	0,028	0,003
F	0,045	0,029	0,131	0,019	0,014	0,009	0,032	0,007	0,008	0,006	0,017	0,004
$V^*$	0,089	0,058	0,166	0,038	0,028	0,019	0,058	0,011	0,017	0,011	0,035	0,007
$V^-$	0,041	0,009	0,097	0,003	0,014	0,009	0,026	0,007	0,008	0,006	0,017	0,003

Tablo A3. Kriterler için En İyi ve En Kötü Değerler (Best and Worst Values for Criteria)

	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
$f_j^+$	28	20	24	12	28	20	22	16	32	21	32	10
$f_j^-$	13	3	14	1	14	10	10	10	16	12	16	4

Tablo A4. VIKOR Ağırlıklı Normalize Matrisi (VIKOR Weighted Normalized Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,1604	0,1069	0,2887	0,0641	0,0000	0,0143	0,0000	0,0143	0,0040	0,0071	0,0080	0,0000
B	0,0962	0,0126	0,3207	0,0000	0,0382	0,0285	0,0356	0,0214	0,0281	0,0166	0,0561	0,0043
C	0,0428	0,0252	0,1283	0,0000	0,0305	0,0143	0,1069	0,0143	0,0160	0,0024	0,0641	0,0043
D	0,0748	0,0000	0,1283	0,0233	0,0000	0,0000	0,0356	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E	0,0000	0,0252	0,0000	0,0467	0,0305	0,0071	0,0535	0,0071	0,0080	0,0071	0,0241	0,0128
F	0,1497	0,0629	0,1604	0,0350	0,0535	0,0356	0,0891	0,0214	0,0321	0,0214	0,0641	0,0086

Tablo A5. MABAC Ağırlıklı Normalize Matrisi (MABAC Weighted Normalized Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,16	0,11	0,35	0,06	0,11	0,06	0,21	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03
B	0,22	0,20	0,32	0,13	0,07	0,04	0,18	0,02	0,04	0,03	0,07	0,02
C	0,28	0,19	0,51	0,13	0,08	0,06	0,11	0,03	0,05	0,04	0,06	0,02
D	0,25	0,21	0,51	0,10	0,11	0,07	0,18	0,04	0,06	0,04	0,13	0,03
E	0,32	0,19	0,64	0,08	0,08	0,06	0,16	0,04	0,06	0,04	0,10	0,01
F	0,17	0,15	0,48	0,09	0,05	0,04	0,12	0,02	0,03	0,02	0,06	0,02

Tablo A6. MABAC Sınır Yakınlık Değerleri Matrisi (MABAC Boundary Proximity Values Matrix)

	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
$g_j$	0,16	0,11	0,35	0,06	0,11	0,06	0,21	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03

Tablo A7. MABAC Sınır Yakınlık Matrisine Uzaklıklar (Distances to MABAC Boundary Proximity Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	-0,0661	-0,0638	-0,1049	-0,0331	0,0278	0,0038	0,0576	-0,0003	0,0123	0,0029	0,0319	0,0056
B	-0,0020	0,0306	-0,1370	0,0311	-0,0104	-0,0104	0,0220	-0,0074	-0,0118	-0,0066	-0,0162	0,0013
C	0,0515	0,0180	0,0555	0,0311	-0,0027	0,0038	-0,0493	-0,0003	0,0002	0,0077	-0,0243	0,0013
D	0,0194	0,0432	0,0555	0,0078	0,0278	0,0181	0,0220	0,0140	0,0163	0,0101	0,0399	0,0056
E	0,0942	0,0180	0,1837	-0,0156	-0,0027	0,0110	0,0042	0,0069	0,0082	0,0029	0,0158	-0,0073
F	-0,0554	-0,0197	0,0234	-0,0039	-0,0256	-0,0176	-0,0315	-0,0074	-0,0158	-0,0113	-0,0243	-0,0030



# Batma Derinliği Ve Çapları Farklı Olan Zıvanaların Deneysel Olarak İncelenmesi

Hayrullah Tosunbayraktar<sup>1\*</sup>, Ali Ural<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0034-0684),  
[hayrullahtosunbayraktar@gmail.com](mailto:hayrullahtosunbayraktar@gmail.com)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8674-6169), [uralali@gmail.com](mailto:uralali@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 21 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1090979)

**ATIF/REFERENCE:** Tosunbayraktar, H. & Ural, A. (2022). Batma Derinliği Ve Çapları Farklı Olan Zıvanaların Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 65-75.

## Öz

Barınma insanoğlunun temel ihtiyaçlarından biridir. Yiğma yapılar eski zamanlardan beri bu ihtiyacımızı karşılamıştır. Yiğma yapılar diğer yapı türleri arasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca birçok kırsal kesimde de yapımı devam etmektedir. Tarihi yapıları korumak bizim en önemli görevlerimiz arasında bulunduğundan bu tür yiğma yapıların onarım ve güçlendirme şekli ve yöntemlerini bilmemiz, en doğrusunu o yapıya uygulayabilmemiz gerekmektedir. Yiğma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde metal bağlantı elemanları (kenet ve zıvana) kullanılmaktadır.

Günümüzde bu metal bağlantı elemanlarının yapılara olumlu katkısının olacağı bilinse de en etkili biçimde nasıl kullanılacağı bilinmemektedir. Bu çalışma, tarihi yapılarda düşey yiğma birimleri birleştiren metal bağlantı elemanı olan zıvanaların en etkin bir şekilde kullanımını bulmayı amaçlayan deneysel çalışmaları sunmaktadır. Deneysel çalışmadaki değişkenler, zıvana çapı ve zıvananın taşa batma derinliğidir. Deneysel çalışmadaki ankraj (çekme) deneyleri ile hangi değişkenler kullanılarak daha olumlu sonuçların elde edileceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Yüzyıllardır kullanılmış ve hâlâ kullanılmaya devam edilen bağlantı elemanlarının en etkili kullanımını bulmayı amaçlayan bu deneysel çalışmanın konusunda ilk olması heyecan vericidir. Ayrıca bu çalışmanın konusu dolayısıyla sonraki çalışmalara örnek olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ankraj deneyi, Metal bağlantı elemanları, Tarihi yapılar, Yiğma yapılar, Zıvana.

## Experimental Investigation of Tenons with Different Penetration Depths and Diameters

### Abstract

Shelter is one of the basic needs of human beings. Masonry structures have met this need since ancient times. Masonry structures have an important place among other building types. It is also under construction in many rural areas. Since protecting historical structures is among our most important duties, we need to know the repair and strengthening methods and methods of such masonry structures, and to be able to apply the best to that structure. Metal fasteners (clamp and tenon) are used in the repair and reinforcement of masonry structures.

Although it is known that these metal fasteners will contribute positively to the structures, it is not known how to use them in the most effective way. This study presents experimental studies aiming to find the most effective use of tenons, which are metal fasteners connecting vertical masonry units in historical buildings. Variables in the experimental study were the tenon diameter and the tenon penetration depth into the stone. With the anchoring (tensile) experiments in the experimental study, it was tried to determine which variables would be used to achieve more positive results. It is exciting that this experimental study, which aims to find the most effective use of fasteners that have been used for centuries and still continues to be used, is the first of its kind. In addition, due to the subject of this study, it is thought that it will be an example for future studies.

**Keywords:** Anchor test, Metal connection element, Historical structures, Masonry constructions, Dowel.

\* Sorumlu Yazar: [hayrullahtosunbayraktar@gmail.com](mailto:hayrullahtosunbayraktar@gmail.com)

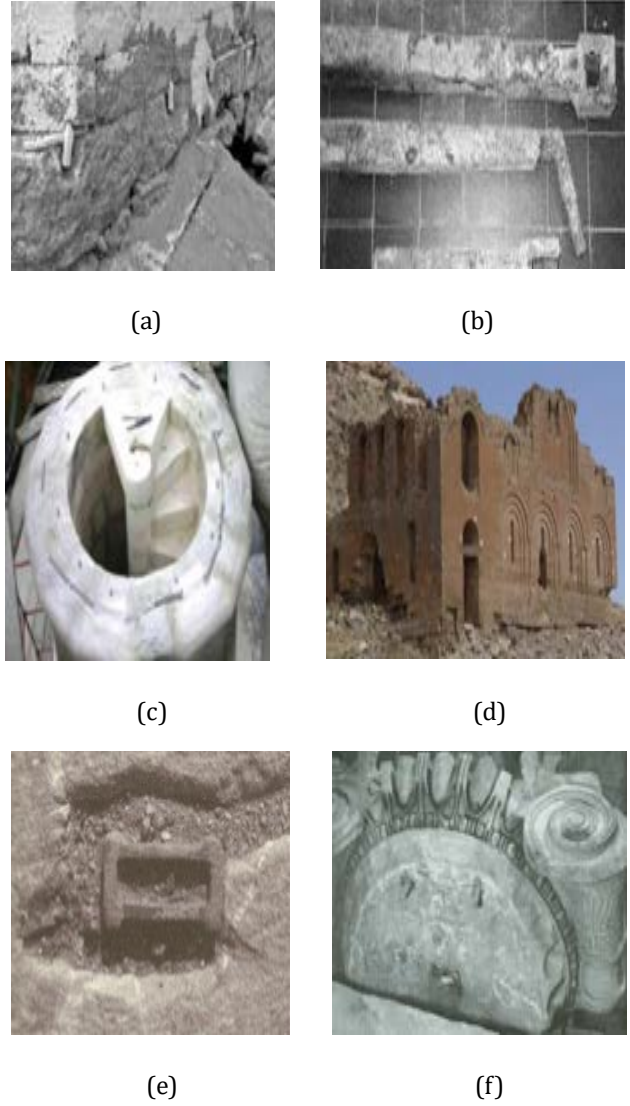


## 1. Giriş

İnsanoğlu barınma ihtiyacını karşılayabilmek için tarih boyunca çeşitli yapılar inşa etmiştir. Bu yapılardan bazıları günümüze kadar gelebilmiş, bazıları ise çeşitli nedenler ile hasar görmüş veya yıkılmıştır. Tarihi yapılar en önemli kültür miraslarımızdandır. Bu yapıları gelecek nesillere aktarmak bizim görevimizdir. Tarihi yapıların büyük bir kısmı yığma yapı tekniği ile inşa edilmiştir. Ayrıca yığma yapılar günümüzde özellikle kırsal kesimlerde de yoğun olarak kullanım göstermektedir. Bu yüzden yığma yapılar yapı türleri arasında önemli bir yere sahiptir.

Yığma sistemli yapılarda esas taşıyıcı eleman duvarlardır. Duvarlarda yığma birim olarak genellikle taş ve tuğla kullanılmıştır. Bu yığma birimlerini birleştirmek için de harç kullanılmıştır. Fakat bu taşıyıcı duvarlarda kullanılan taş ve harçlar düşük çekme dayanımına ve süneklığe sahiptir. Ayrıca ülkemizde kırsal kesimlerde kullanılan ve hâlen yeni yapılan bu tür yapılar genellikle mühendislik hizmeti almadan yapıldığından dolayı özellikle deprem gibi doğal afetlerde çok hasar alabilmektedir. Bu yüzden yığma yapıların davranışlarını, onarım ve güçlendirme yöntemlerini bilip bunu doğru bir şekilde ve yapının aslını kaybetmeyecek şekilde restorasyon çalışmalarında uygulamamız gerekmektedir.

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri de metal bağlantı elemanlarıdır. Metal bağlantı elemanları günümüzde, neredeyse sadece yığma yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılsa da, bu metal bağlantı elemanları birçok tarihi yapının yapım aşamasında kullanılmıştır. Metal bağlantı elemanları kenet ve zıvanalardır. Kenetler yatay yığma birimleri birleştirirken, zıvanalar düşey yığma birimleri birleştirmektedir. Bu metal bağlantı elemanları yığma birimleri birleştirmenin yanı sıra yapıya bütünlük katmıştır. Ayrıca önceleri ahşaptan yapılmış olan bağlantı elemanları teknolojinin ilerlemesi ile birlikte demirden yapılmış, böylece yapının sünekliliği de artırılmıştır. Bu bağlantı elemanları alt alta veya üst üste taşlara açılan deliklere tespit edilme şekliyle uygulanmıştır. Tarihi yapılarda kullanılan bu metal bağlantı elemanları incelendiğinde, delikteki bağlantı elemanları ile taş arasında kurşun kullanıldığı görülmüştür. Bu eritilmiş kurşun metali, metal bağlantı elemanın korozyona uğrayıp şişmesini ve taşın dağılmasını engellemektedir. Ayrıca kullanılan kurşun metali tarihi yapılara süneklilik de katmıştır. Metal bağlantı elemanları günümüze ulaşan birçok tarihi yapıda (han, hamam, köprü, camide) kullanılmıştır. Belki de bu yapılar bu metal bağlantı elemanları kullanıldığı için günümüze kadar gelebilmiştir. Özellikle Osmanlı, Selçuklu ve Roma dönemlerinde yapılmış birçok yapıda bu metal bağlantı elemanlarını görebiliriz. Birçok tarihi yapıda kullanılmış olan metal bağlantı elemanlarına ait görseller Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Metal bağlantı elemanlarının örnekleri, a) Taşköprü temelinde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007), b) Aspendos köprüsünde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007), c) Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri (Kuşüzümü, 2010), d) Aksaray Çanlı Kilise'de kullanılmış metal kenetler (Uslu, 2013), e) Bodrum antik tiyatrosunda uygulanmış zıvana örneği (Bingöl, 2008), f) Magnesia artemis tapınağında kullanılan zıvana örneği (Demirtaş, 2006)

Figure 1. Examples of metal fasteners, a) Iron clamps used in Taşköprü foundation (Sert, 2007), b) Iron clamps used in Aspendos bridge (Sert, 2007), c) Examples of clamps used in mosque minaret (Kuşüzümü, 2010), d) Metal clamps used in Aksaray Çanlı Church (Uslu, 2013), e) Example of mortise used in Bodrum antique theater (Bingöl, 2008), f) Example of mortise used in the temple of Magnesia artemis (Demirtaş, 2006)

Yığma yapılar hakkında günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Fakat metal bağlantı elemanları hakkında yapılmış çalışma sayısı sınırlı düzeydedir.

Papadopoulos (2006), Apollo Epikourios Tapınağında kullanılmış olan metal bağlantı elemanları üzerine çalışmıştır. Taş blokların taşıma kapasitelerini, kenet alanlarını dikkate alarak 3 boyutlu analizler ile hesaplamıştır. Toumbakari (2008), Atina'da bulunmakta olan Parthenon Tapınağındaki bir duvar üzerine çalışma yapmıştır. Duvarlarda taşları birbirine bağlamak için kullanılan kenetler bulunmaktadır. Duvarın davranışına bu kenetlerin etkilerini araştırmıştır. Kourkoulis ve Pasiou (2009), Parthenon Tapınağındaki mermer bloklar, harçlar ve metal bağlantı elemanları üzerine çalışmışlardır. Yığma yapıdaki elemanların düzgün davranış gösterebilmesi için kenet sistemlerinin doğru yerleştirilmesi gerektiğini söylemiş, sonlu elemanlar metodu kullanarak kenet malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Ural (2009), doktora çalışması ile yığma yapılar ile ilgili çok önemli çalışmalar yapıp bu konu ile ilgili sonrasında yapılmış ve yapılabilecek birçok çalışmaya ışık tutmuştur. Yığma yapılarla ilgili hesaplama ve modelleme bilgi karmaşıklığı olduğu için bu soruna çözüm bulmak istemiştir. Ayrıca taşıyıcı duvarlarının davranışlarını nelerin etkilediğini araştırmıştır. 1 tane deprem hesabı programı ve 2 tane sonlu elemanlar programı geliştirmiştir. Doktora çalışmasının son bölümünde geliştirdiği sonlu elemanlar programı ile ilgili bilgiler vermiştir. Uslu (2013), yığma yapıların duvarlarında kayma gerilmeleri olduğu için kayma dayanımlarının artırılması çok önemli bir konudur. Bu yüzden metal bağlantı elemanları kullanılarak ve bunların kullanılmadığı referans duvar numunesi üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalar ile yer değiştirmeler ve kırılma şekilleri tespit edilmiştir. Metal bağlantı elemanlarının (kenet ve zıvana) kullanıldığı numunelerin dayanımının referans numuneye göre daha fazla çıktığı gözlenmiştir. Koçak (2013), yığma yapıların kayma dayanımını arttırmak için kullanılan metal bağlantı elemanlarıyla ilgili deneysel bir çalışma yapmıştır. Geliştirdiği 3 farklı metal bağlantı elemanlarını taş yığma duvarlar üzerine uygulayarak 10 farklı deney numunesi üretmiştir. Deneyinin sonunda, geliştirdiği yeni bağlantı elemanları ile yığma yapıların kayma dayanımı ve sünekliğinin arttığı gözlenmiştir. Ural (2017), deneysel çalışmasında Selçuklu ve Osmanlı yapılarında sıklıkla kullanılan düşey metal bağlantı elemanı olan zıvanaların, yığma duvarların kayma (kesme) davranışına etkisini araştırmıştır. 2 tanesi zıvanasız olmak üzere toplam 12 tane yığma duvar numunesi örülmüş ve duvarlarda kayma testi uygulanmıştır. Deneydeki değişken zıvana demirlerinin çapı olmuştur. Tüm zıvanalı numunelerin kayma dayanımı zıvanasız numunelerden daha fazla çıkmıştır. Tanrıverdi vd. (2020), deneysel çalışmalarında metal bağlantı elemanı olan kenetlerin yığma taş blokların davranışına etkisini araştırmışlardır. Deneydeki değişken kenetlerin taşa batma derinliğidir. Batma derinliği 1 cm ile 7 cm arasında değişmektedir. Batma derinliği 3 cm'den küçük olduğu durumlarda sınırlı meydana gelmiştir. Maksimum taşınan yük ise batma derinliği 6 cm olan deney numunesinde meydana gelmiştir. Çelik vd. (2020), çalışmalarında kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan uzaklığının kayma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar modelini esas alan LUSAS yazılımından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda batma mesafesi 20 mm olan modelde kayma ve çekme gerilmeleri, batma mesafeleri 40 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan diğer numunelere göre oldukça az çıkmıştır. Ayrıca yapılan analiz sonucunda 200x100x100 mm<sup>3</sup> boyutundaki taşlar için kenet batma mesafesinin 40 mm'den az olmaması gerektiği kanısına varılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Yapılan deneysel çalışma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma zıvanaların sıyrılmasını temsil eden ankraj testlerinden oluşmaktadır. Deneydeki değişkenler zıvana çapı ve batma derinliğidir. Her bir deneyden üçer adet numune hazırlanarak toplam 27 adet ankraj deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki amaç zıvanalardan hangi koşullarda en olumlu sonucun alınacağını bulmaktır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler ve sayısal değerler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

### 2.1. Malzeme Çalışmaları ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda yığma birim olarak Aksaray merkeze bağlı Sevinçli Kasabasından temin edilen ve yörede yoğun olarak kullanılan volkanik kökenli tuf taşı kullanılmıştır. Taşlar taş ocağından 200x300x600 mm<sup>3</sup> ebatlarında temin edilmiş ve deneylerde bu ebatlarıyla kullanılmıştır. Kullanılan taşın basınç dayanım testleri ve eğilmede çekme dayanım testleri yine Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tuf taşın basınç dayanım testi TS EN 772-1+A1 (2015)'e uygun olarak, yaklaşık 50x50x50 mm<sup>3</sup> ebatlarındaki taşlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de deneylerde kullanılan taşın basınç dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Tablo 1. Yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları (Uslu, 2013)

Table 1. Compressive strength results of masonry units (Uslu, 2013)

Numune No	Enkesit Boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	4,77
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	4,15
A5	52	50	11450	4,40
A6	51	53	8450	3,13
Ortalama				4,04
Standart Sapma				0,63

Kullanılan taşın eğilmede çekme dayanımının tayini amacıyla TS EN 772-6 (2004)'e uygun olarak hazırlanan yaklaşık 40x40x160 mm<sup>3</sup> (B1-B6 numuneleri) ve 50x100x150 mm<sup>3</sup> (C1-C6 numuneleri) boyutlarındaki toplam 12 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Yükleme hızı, sabit ve darbe tesiri olmadan kırılmanın 30-90 saniye arasında gerçekleşmesi amacıyla ayarlanmıştır.

Tablo 2’de deneylerde kullanılan tuf taşının eğilmede çekme dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir. Deney numunelerinde kullanılmak üzere seçilen tuf taşlarının iki farklı boyutta yapılan testler sonucunda ortalama olarak eğilmede çekme dayanımı 0,65 MPa olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Yığma birimlere ait eğilmede çekme deneyleri sonuçları (Uslu, 2013)

Table 2. Results of bending tensile tests of masonry units (Uslu, 2013)

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)
B1	0,77
B2	0,62
B3	0,88
B4	0,72
B5	0,68
B6	0,59
C1	0,69
C2	0,79
C3	0,53
C4	0,57
C5	0,51
C6	0,50
Ortalama	0,65
Standart sapma	0,12

Deneyde kullanılan yığma birimlere ait fiziksel deney sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Deneyde kullanılan tuf taşına ait fiziksel deney sonuçları (Koçak, 2013)

Table 3. Physical test results of the tuff stone used in the experiment (Koçak, 2013)

Test Türü	Sonuç
Sertlik (Mohs)	3
Sertlik (Dijital Schmidt Çekici Sertliği)	35 (33-37)
Birim Hacim Ağırlığı – Kuru (g/cm <sup>3</sup> )	1,97
Birim Hacim Ağırlığı – Doygun (g/cm <sup>3</sup> )	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (µs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (µS – 25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (% - 25 mL suda)	0,58
Basınç Direnci (kgf/cm <sup>2</sup> )	550
Darbe Direnci (kgcm/cm <sup>3</sup> )	23
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgcm/cm <sup>3</sup> )	127

Bu deneysel çalışmada, zıvanaları temsil eden, farklı çaplardaki tij demirleri kullanılmıştır. Zıvanaların çekme dayanımını belirlemek için TS EN ISO 6892-1 (2020)’e uygun olarak çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sonucunda zıvanaların çekme dayanımları yaklaşık olarak 290 MPa olarak bulunmuştur.

Deney numuneleri hazırlanırken kurşun kullanılmıştır. Kurşun kullanılmakta olan en eski metallere biridir. Doğada yer alan doğal madenler arasında en ağır özelliklere sahip olan kurşun, mavi ve gri renklerinin yer aldığı ve kolay şekil verilebilen bir maddedir. Korozyon direnci çok yüksektir. Tek başına kullanıldığı gibi katkı maddeleri ile daha dayanıklı şekilde kullanım imkanı sunmaktadır. Ayrıca ekonomik ve uzun ömürlü olması sebebiyle eski çağlarda pek çok alanda kurşundan yararlanılmıştır.

Deneyde kurşun, taşları matkap ile delip ortasına zıvana yerleştirdikten sonra zıvanayla taşın arasında kalan boşluğu doldurmak için kullanılmıştır. Zaten tarihi yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları incelendiğinde birçoğunda kurşun kullanıldığı gözlemlenmiştir. Deneyde kullanacağımız kurşun, balık malzemeleri satan yerlerden 50’şer gram hâlinde temin edilmiştir. Kurşun zehirli bir madde olduğu için buharını solumak insan sağlığı için zararlıdır. Bu yüzden kurşunu piknik tüpünde eritme sırasında gerekli önlemler alınıp maske kullanılmıştır. Ayrıca kurşun patlaması oluşmaması için kurşunun su ile temasından kaçınılmıştır. Deneyde dolgu malzemesi olarak kullanılan kurşunun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Deneyde kullanılan kurşuna ait fiziksel ve mekanik özellikler (URL-1)

Table 4. Physical and mechanical properties of lead used in the experiment (URL-1)

Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Kompozisyon %	Pb:99,9
Özgül Ağırlığı (Kg/Dm <sup>3</sup> )	11,35
Ergime Sıcaklığı (°C)	326
Isı İletkenliği 25°C Tavlanmış (Kcal/Sa/Cm/°C)	29,2
Genleşme Katsayısı (20-200 °C)(°C) x 10 <sup>-6</sup>	29,3
Isınma Isısı (20 °C),(Kcal/Kg/°C)	0,031
Mekanik Özellikleri	Değerleri
Gerilmeye Elastik Modül (Kg/Cm <sup>2</sup> )x10 <sup>3</sup>	140
Çekme Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm <sup>2</sup> )	170
Akma Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm <sup>2</sup> )	115
Uzama (5.Cm.De)%	57
Dayanıklılık Sınırı (10 <sup>7</sup> Hz) (Kg/Cm <sup>2</sup> )	50
Kayma Dayanıklılığı (Yılda %0,1) (Kg/Cm <sup>2</sup> )	21

Deneyde kullanılan malzemelere ait görseller Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan malzemelere ait görseller  
Figure 2. Images of the materials used in the experiment

## 2.2. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde doğru karşılaştırma yapabilmek ve hata payını en aza indirebilmek amacıyla aynı deney yöntemi ve deney düzenekleri kullanılmaya özen gösterilmiştir.

200×300×600 mm<sup>3</sup> ebatlarındaki bu taşlara matkap yardımıyla, her bir taşa homojen olarak dağılmış, 16 mm çapında, 9 adet delik, belirlenen batma derinliğinde açılmıştır. Taşları belirlediğimiz çap ve derinlikte deldikten sonra zıvanaları yerleştirme ve etrafını geçmiştten beri bu amaç için birçok defa kullanılan eritilmiş kurşunla doldurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurşun malzemesinin donması ve dayanım gösterebilmesi için deneye geçmeden bir miktar beklenmesi gerekmektedir.

Batma derinliği 3, 5 ve 9 cm olacak şekilde taşlar delinmiştir. Delik çapı tüm deneylerde 16 mm'dir. Zıvana (tij) çapı olarak 8, 10 ve 12 mm çapında nervürlü demirler kullanılmıştır. Her bir taştaki 9 delikten 3'üne 8 mm'lik, 3'üne 10 mm'lik ve diğer 3'üne de 12 mm'lik zıvana yerleştirilmiştir. Zıvanaların etrafını doldurduğumuz malzeme olarak ise kurşun kullanılmıştır. Kurşunun kuruma süresi 5 dakika olarak belirlenmiş ve teste geçmek için bu kuruma süresi kadar beklenmiştir. Test için hazırlanan ve kuruması için beklenen numunelere ait görseller Şekil 3'de verilmiştir. Daha sonra zıvanalara ankraj testi uygulanmıştır. Böylece hangi çapta, hangi batma derinliğindeki zıvanayla daha fazla dayanım elde edileceği belirlenmeye çalışılmıştır.





gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ve ankraj testlerine ait görseller Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Test için hazırlanan ve kuruması için beklenen numuneler

Figure 3. Samples prepared for testing and waiting to dry

### 2.3. Deney Düzeneği ve Yapılan Deneyler

Deney numunelerindeki zıvanaların etrafındaki dolgu malzemesinin kuruyup, dayanımını aldıktan sonra, test aşamasına geçilebilmesi için deney düzeneğinin kurulması gerekmektedir. Deney numunesi düz bir zeminde duracak şekilde konup, deney düzeneği numunenin üzerine yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde, yükü hidrolik pompa ile verip, yük hücresi (Load – Cell) yardımıyla ölçmekteyiz. Deney düzeneğinde 10 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresi, uygulanan yük durumunda basınca maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli bir gerilme verecek şekilde çalışmaktadır. Yer değiştirme ölçümleri de Linear Variable Differential Transformer (LVDT) yardımı ile ölçülmüştür. LVDT, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT ile 0,01 mm hassasiyette okuma yapmak mümkündür. Yük hücresinden ve LVDT dönüştürücünden alınan değerler kurulan düzenek yardımı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Deney düzeneğinde yükleme hızı kuvvet kontrollü olarak





Şekil 4. Deney düzeneğine ve ankraj testlerine ait görseller  
Figure 4. Visuals of the experimental setup and anchor tests

Deneyde kullanacağımız numunelere vereceğimiz isimlerdeki K harfi kurşunu, K harfinden sonra gelen 8, 10 veya 12 rakamı zıvana çapını, zıvana çapından sonra gelen 3,5 veya 9 rakamı ise batma derinliğini temsil etmektedir. (-) işaretinden sonraki rakam ise o deneye ait üç numuneden kaçınıcı numune olduğunu göstermektedir. Deneyde kullandığımız bu numunelere ait isim ve veriler Tablo 5'te verilmiştir.

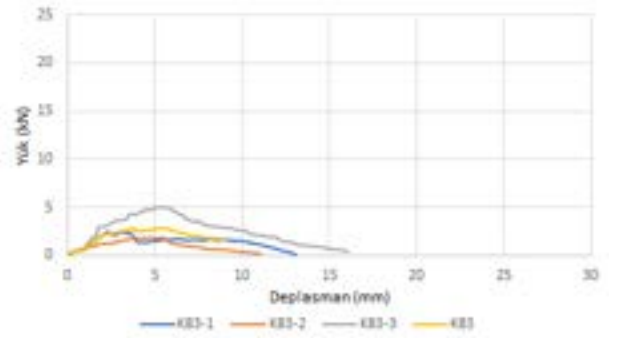
Tablo 5. Deneyde kullandığımız numunelere ait isim ve veriler  
Table 5. Names and data of the samples we used in the experiment

Deney İsimleri	Taş Cinsi	Dolgu Malzemesi	Delik Çapı (mm)	Batma Derinliği (cm)	Zıvana Çapı (mm)
K83 K103 K123	Tüf Taşı	Kurşun	16	3	8-10-12
K85 K105 K125	Tüf Taşı	Kurşun	16	5	8-10-12
K89 K109 K129	Tüf Taşı	Kurşun	16	9	8-10-12

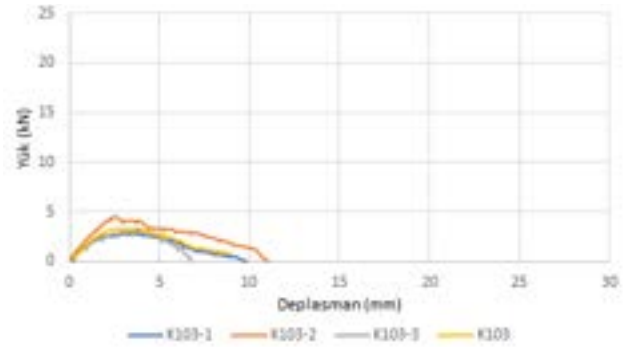
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar bu bölümde resimler, grafikler ve sayısal veriler üzerinden açıklanıp yorumlanmıştır. Aynı şartlar altında testleri gerçekleştirilen numunelerin yük - deplasman grafikleri gösterilmiştir. Hata payını azaltabilmek adına aynı özellikte üçer tane numune hazırlanmış ve teste tabi tutulmuştur. Grafikteki X eksen deplasmanı, Y eksen yük değerlerini göstermektedir. Kurşun ile hazırlanmış bu numunelerin grafiklerinde, grafik eksenleri yükte 25 kN'da, deplasman miktarı ise 30 mm'de sabitlenmiştir.

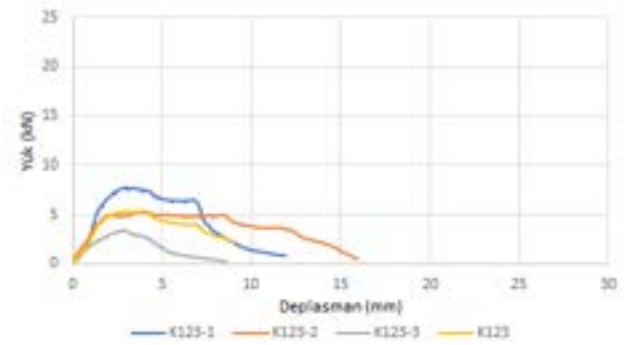
8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanalar ile hazırlanan 3,5 ve 9 cm batma derinliğindeki ve her birinden üçer adet hazırlanmış numunelerin deney sonu grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



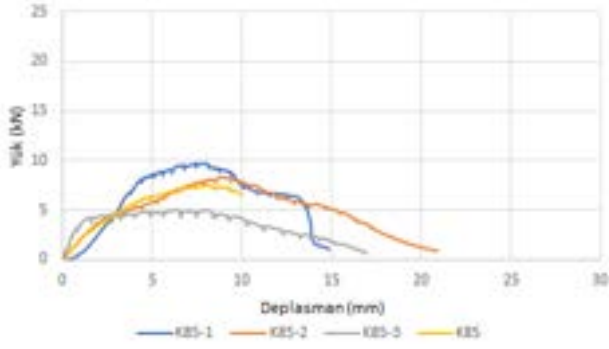
(a)



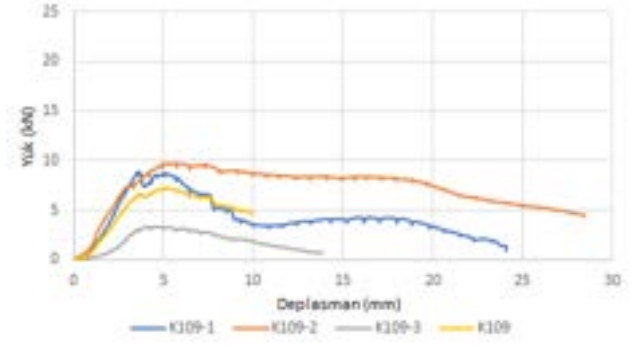
(b)



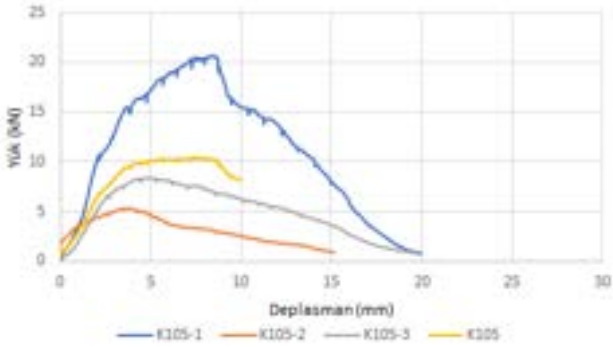
(c)



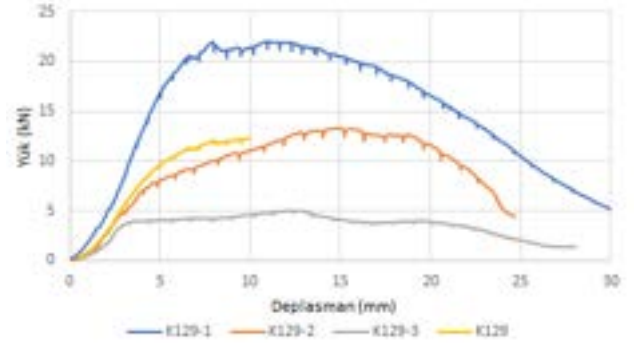
(d)



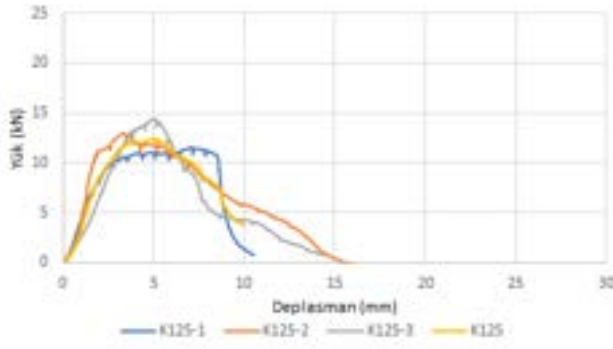
(h)



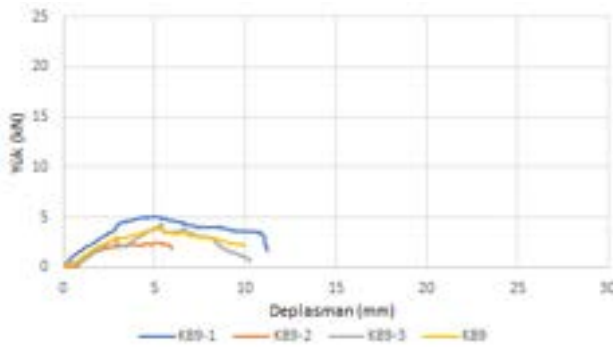
(e)



(i)



(f)



(g)

Şekil 5. Yapılan deneylere ait yük - deplasman grafikleri

Figure 5. Load – displacement graphs of the experiments carried out

27 adet numuneye ait yük - deplasman grafiği ayrı ayrı çizilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

(Şekil 5a)'da 3 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikte hazırlanan üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. K83-1, K83-2 ve K83-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 2,48 kN, 1,86 kN ve 5,11 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler bu gruptaki numunelerdir. Ayrıca bu gruptaki numunelerdeki zıvanalarda sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 3,15 kN'dur.

(Şekil 5b)'de 3 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları fazla miktarda benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. K103-1, K103-2 ve K103-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 2,85 kN, 4,55 kN ve 3,09 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler arasındalardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerdeki zıvanalarda az da olsa sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 3,50 kN'dur.

(Şekil 5c)'de 3 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K123-1, K123-2 ve K123-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 7,78 kN, 5,35 kN ve 3,41 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler arasındadır. Ayrıca bu gruptaki numunelerden sadece birinde sıyrılma olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 5,51 kN'dur.

(Şekil 5d)'de 5 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları az da olsa benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K85-1, K85-2 ve K85-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 9,73 kN, 8,32 kN ve 5,01 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K83 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 7,69 kN'dur.

(Şekil 5e)'de 5 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışı ve taşıdıkları maksimum yükler birbirinden farklı çıkmıştır. K105-1, K105-2 ve K105-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 20,66 kN, 5,33 kN ve 8,38 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 11,46 kN'dur.

(Şekil 5f)'de 5 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K125-1, K125-2 ve K125-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 11,54 kN, 12,95 kN ve 14,40 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K123 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler taşıdıkları maksimum yüklerin ortalaması bakımından, en yüksek yük taşıyan K129 numunelerinden sonra gelerek ikinci grup olmuşlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 12,96 kN'dur.

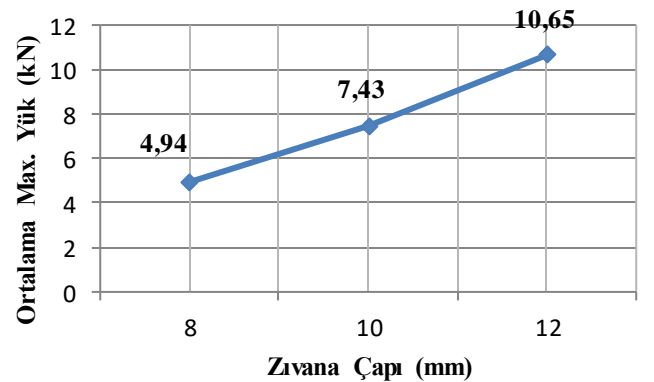
(Şekil 5g)'de 9 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K89-1, K89-2 ve K89-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 5,09 kN, 2,46 kN ve 4,39 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K83 numunelerinden daha fazla, K85 numunelerinden daha az maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 3,98 kN'dur.

(Şekil 5h)'da 9 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin taşıdıkları yükler farklılık gösterse de bu numuneler benzer olarak sünek davranış göstermişlerdir. K109-1, K109-2 ve K109-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 8,89 kN, 9,76 kN ve 3,32 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler en sünek davranış gösteren numuneler arasındadır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 7,32 kN'dur.

(Şekil 5i)'da 9 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin taşıdıkları yükler farklılık gösterse de bu numuneler benzer olarak sünek davranış göstermişlerdir. K129-1, K129-2 ve K129-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 22,06 kN, 13,31 kN ve 5,03 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K123 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numunelerin taşıdıkları maksimum yüklerin ortalaması diğer tüm gruplardan daha fazla çıkmıştır. Ayrıca en fazla maksimum yükü taşıyan numune, bu gruptaki numune olan K129-1 numunesi olmuştur. Bu gruptaki numuneler en sünek davranış gösteren numunelerdir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 13,47 kN'dur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ve düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Farklı çap ve farklı batma derinliğindeki zıvanaların taş bloklara eritilmiş kurşunla sabitlenmesinden sonra ankraj testleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki değişkenler zıvana çapı ve zıvananın taş batma derinliği olup, zıvana çapı 8, 10, 12 mm, batma derinlikleri de 3, 5 ve 9 cm değerlerini alacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Her numunedeki delik çapı aynı olup 16 mm'dir. Her bir numuneden üçer adet olmak üzere toplamda 27 adet numune hazırlanıp ankraj testi gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6'da gösterilmiştir.



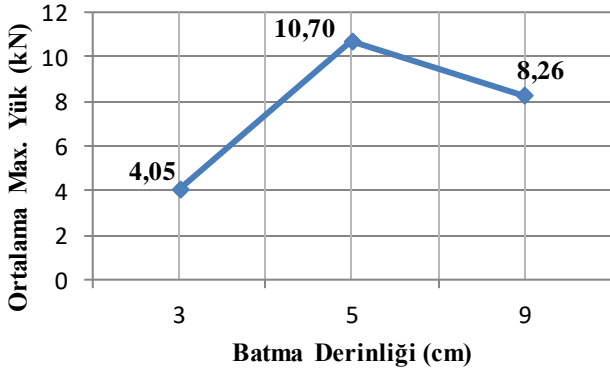
Şekil 6. Deney numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği

Figure 6. Average maximum load - tenon diameter graph of the test samples



Şekil 6'da farklı batma derinliğindeki numunelerle hazırlanan 8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanaların taşıdığı ortalama maksimum yük değerleri gösterilmiştir. Buna göre 8, 10, 12 mm çapındaki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 4,94 kN, 7,43 kN, 10,65 kN maksimum yük taşımışlardır. Zıvana çapı arttıkça taşınan ortalama maksimum yük değeri de artmıştır. Ancak bundan daha fazla çaptaki zıvanalarda bu doğrusallığın bozulacağı, taşınan maksimum yükün artmayacağı, artsa bile sınırlı düzeyde olacağı tahmin edilmektedir.

Deney numunelerinin, batma derinliği ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.



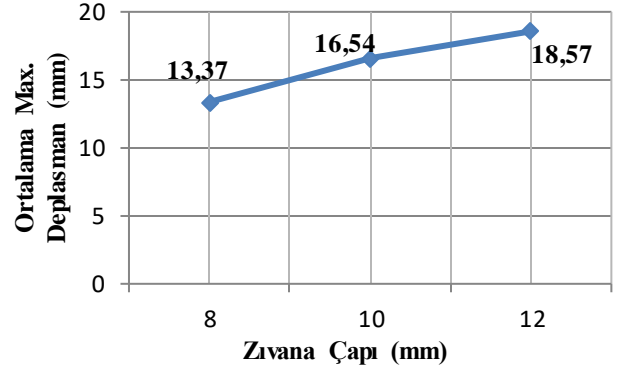
Şekil 7. Deney numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği

Figure 7. Average maximum load - submergence depth graph of the test samples

Şekil 7'de farklı zıvana çapındaki numunelerle hazırlanan 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanaların taşıdığı ortalama maksimum yük değerleri gösterilmiştir. Buna göre 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 4,05 kN, 10,70 kN, 8,26 kN maksimum yük taşımışlardır.

Genel olarak en fazla maksimum yükü 5 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşırken, en düşük maksimum yükü 3 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşımıştır. En az ortalama maksimum yükü 3 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşımıştır. Çünkü bu numunelerin bazılarında deney esnasında sıyrılmalar olmuştur. 9 cm batma derinliğindeki numuneler, 5 cm batma derinliğindeki numunelerden ortalama olarak daha az maksimum yük taşımışlardır. Bunun nedeni ise 9 cm batma derinliğindeki numunelerde delik açma aşamasında taşı daha fazla hacim kaybına uğratıp, dayanımının azaltılmasıdır.

Deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir.

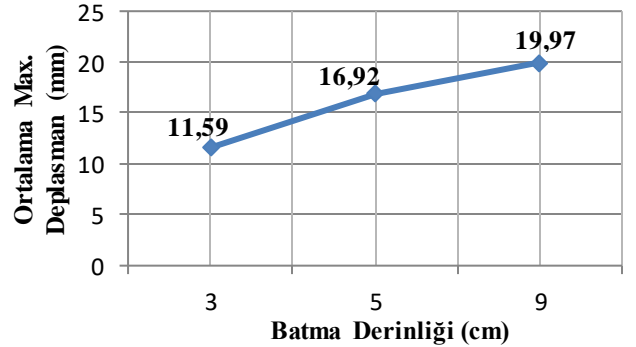


Şekil 8. Deney numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği

Figure 8. Average maximum displacement - tenon diameter graph of the test samples

Şekil 8'de farklı batma derinliğindeki numunelerle hazırlanan 8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanaların yaptığı ortalama maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir. Buna göre 8, 10, 12 mm çapındaki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 13,37 mm, 16,54 mm, 18,57 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre zıvana çapı arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı zıvana çapı arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.

Deney numunelerinin, batma derinliği ile yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Deney numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği

Figure 9. Average maximum displacement - submergence depth graph of the test samples

Şekil 9'da farklı zıvana çapındaki numunelerle hazırlanan 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanaların yaptığı ortalama maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir. Buna göre 3, 5, 9 cm batma derinliğindeki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 11,59 mm, 16,92 mm, 19,97 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre batma derinliği arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır.

Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı batma derinliği arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler hâlinde aşağıda sıralanmıştır.

- Yiğma yapıların yapım aşamasında ve tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde zivana kullanılmalıdır. Zivana yapıya bütünlük, dayanım ve süneklik katmaktadır.
- Zivanaların etrafına dolgu malzemesi olarak eritilmiş kurşun kullanılmalıdır. Kurşun metali yapıya süneklik kattığı gibi, zivanaların taşa sabitlenmesini ve zivananın korozyona uğramasını sağlamaktadır.
- Zivana çapı arttıkça taşın maksimum yük değeri de artmaktadır. Ancak çok büyük çaptaki zivana da çok büyük çapta delik açılmasını gerektireceği için, taşı kesit kaybına uğratıp dayanımını azaltacağı unutulmamalıdır. 8 mm çapındaki zivanalar ile hazırlanan numunelerin bazılarında sıyrılmalar olmuştur. En düşük taşın maksimum yük değeri 8 mm çapındaki zivanalar ile hazırlanmış numunelere aittir. Kullanılan çaplar arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 12 mm çapındaki zivanalar taşımıştır.
- Batma derinliği arttıkça taşın maksimum yük değeri belirli bir yere kadar artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Çünkü açılan deliğin büyüklüğüne göre taşa zarar vermiş, hacim kaybına uğratmış, dayanımını azaltmış oluyoruz. 3 cm batma derinliğindeki numunelerin birçoğunda sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu batma derinliğindeki numunelerden özellikle düşük çaptaki numuneler neredeyse hiç yük taşıyamamışlardır. Kullanılan batma derinlikleri arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 5 cm batma değerindeki numuneler taşımışlardır.
- Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre zivana çapı arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı zivana çapı arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.
- Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre batma derinliği arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı batma derinliği arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.
- Bu deneysel çalışmanın daha da kapsamlı hâle getirilebilmesi mümkündür. Zivana demirlerinin yiğma birimler üzerindeki konumu ve adedi araştırılmalıdır. Ayrıca zivananın taşıdığı maksimum yükü ve sünekliliğini birlikte arttıracak dolgu malzemeleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.

- Elde bulunan imkanlar ile aynı özelliklere sahip numunelerden üçer adet hazırlanıp teste tabi tutulmuştur. İleriki çalışmalar ile bu sayı daha da artırılıp hata payı daha da aza indirilebilir.

## Kaynakça

- Bingöl, O. (2008). Arkeolojik Mimaride Taş, Homer Kitabevi, İstanbul.
- Çelik, T., Tanrıverdi, Ş., Ural, A. & Fırat, F.K. (2020). Kenet batma mesafesinin kayma dayanımına etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 63-68.
- Demirtaş, M.B. (2006). Magnesia Artemis Tapınağı'nın teknik ve işçilik özellikleri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Koçak, Y. (2013). Yiğma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Kourkoulis, S.K. & Pasiou E.D. (2009). Epistyles connected with "I" connectors under pure shear. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, 2(2), 81- 99.
- Kuşüzümü, K.H. (2010). İstanbul minareleri, restorasyon konservasyon arkeoloji ve sanat yılı, Vakıflar Genel Müdürlüğü, 1, 57-66.
- Papadopoulos, K.A. (2006). The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the temple of Apollo Epikourios. Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D' Ayala & Fodde, 1389-1396.
- Sert, H. (2007). Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, 321-329. Ankara.
- Tanrıverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A. & Fırat, F.K. (2020). Batma derinliği farklı olan kenetlerin yiğma duvarların davranışına etkisinin araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 56-62.
- Toubakari, E.E. (2008). The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the ortho state of the northern wall. Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D' Ayala & Fodde, 673-681.
- TS EN 772-1+A1. (2015). Kagir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-6. (2004). Kagir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 6892-1. (2020). Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ural, A. (2009). Yiğma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Ural, A. (2017). Zivana demirlerinin yiğma yiğma duvarların kayma davranışına etkisinin incelenmesi. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon.
- URL-1 <https://www.pinarmetal.com/pic/pdf/kursun.pdf>
- Uslu, S. (2013). Tarihi yiğma yapılarında kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.



# Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Eğitimindeki Yeri ve Önemi

Adem Solak<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Burdur Türkiye, (ORCID: [0000-0002-3911-190X](https://orcid.org/0000-0002-3911-190X)), [asolak@mehmetakif.edu.tr](mailto:asolak@mehmetakif.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 22 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 16 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1091518)

**ATIF/REFERENCE:** Solak, A. (2022). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Eğitimindeki Yeri ve Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 76-87.

## Öz

Toprakların büyük bir bölümü deprem kuşağı içerisinde yer alan Türkiye sık sık deprem afetiyle karşı karşıya kalmaktadır. Geçmiş dönemlerde yaşanmış olan depremler incelendiğinde, yapılarda meydana gelen hasarların en fazla tasarım ve uygulama aşamaların da yapılan hatalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanabilmesi için mimari dizayn ve statik proje süreçlerinde mimarların bu konuda yeterli bilgi sahibi olmaları ve özellikle inşaat mühendisleri ile iş birliği içerisinde çalışabilmeleri önem taşımaktadır. İnşaat mühendisliği ile mimarlık eğitimindeki depreme dayanıklı yapı tasarımı eğitiminin değerlendirilmesi ve öneminin belirlenebilmesi amacıyla yapılmış olan bu çalışma kapsamında, ülkemizde ve bazı diğer ülkelerde bulunan inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin lisans müfredatları üzerinden bu iki bölüm eğitiminde depremin sismik etkileri ve depreme dayanıklı yapı tasarımına verilen önem irdelenmiştir. İnşaat mühendisliği bölümünün "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı" dersini alıp başarı ile tamamlamış öğrencileri ile dersi alıp başarısız olmuş öğrencilerinin, "Bitirme çalışması" dersi kapsamında depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda gereken hassasiyeti gösterip göstermedikleri belirlenmiştir. Ayrıca mimarlık bölümü öğrencilerinin tasarladıkları mimari projeler üzerinden depreme dayanıklı yapı tasarımı derslerinde edinilmiş olan bilgilerin stüdyo ortamına aktarılıp aktarılamadığı araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; ülkemizdeki inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinde tektonik deprem hareketleri ve depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili olan derslerin çoğunlukla seçmeli dersler kategorisinde yer aldığı, bu konuda gerekli eğitimi almış olan öğrencilerin depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda farkındalık kazandıkları ve tasarladıkları projelerde depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerini göz önüne aldıkları tespit edilmiştir. Dolayısıyla lisans eğitiminde alınan bu tasarım konseptinin gelecekte inşa edilecek yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Eğitimi.

## The Place and Importance of Earthquake Resistant Building Design in Civil Engineering and Architectural Education

### Abstract

Turkey, which is in the earthquake zone for most of its territory, often faces earthquake disasters. When the earthquakes experienced in the past periods were examined, it was determined that the damages to the structures were most caused by mistakes made during the design and implementation stages. For the buildings to be designed to be earthquake resistant, it is important that architects have sufficient knowledge about this subject in architectural design and static project processes and can work especially in cooperation with civil engineers. Within the scope of this study, which was carried out to evaluate and determine the importance of earthquake resistant building design education in civil engineering and architectural education, the seismic effects of earthquakes and the importance given to earthquake resistant building design in these two department education were examined through the undergraduate curricula of civil engineering and architecture departments in our country and in some other countries. It was determined whether the students who took the "Earthquake-Resistant Structure Design" course of the Civil Engineering Department and successfully completed it, and the students who took the course and failed the course, showed the necessary sensitivity about earthquake resistant

\* Sorumlu Yazar: [asolak@mehmetakif.edu.tr](mailto:asolak@mehmetakif.edu.tr)

structure design within the scope of the "Graduation Work" course. In addition, it was investigated whether the information obtained in earthquake-resistant building design courses could be transferred to the studio environment through the architectural projects designed by the students. As a result of the study; It has been determined that the courses related to tectonic earthquake movements and earthquake-resistant building design in civil engineering and architecture departments in our country are mostly in the category of elective courses, that the students who have received the necessary training in this subject gain awareness about earthquake-resistant building design and consider the principles of earthquake-resistant building design in the projects they design. Therefore, it has been concluded that this design concept taken in undergraduate education is important in designing future buildings to be earthquake resistant.

**Keywords:** Earthquake, Earthquake Resistant Building Design, Civil Engineering and Architectural Education.

## 1. Giriş

Dünya üzerinde meydana gelen doğal afetlerden en büyük risk taşıyan afet türünün deprem olduğu bilinmektedir. Depremler karmaşık yer hareketleri olup genlikleri ve frekans içerikleri zamana ve geçtiği ortamlara bağlı olarak büyük değişimlere uğradığı için önemli belirsizlikler içerir ve bu nedenle yapıda oluşacak dinamik yük etkilerinin önceden kesin olarak belirlenmesi mümkün değildir. Mevcut deprem yönetmelikleri, bu belirsizlikleri göz önüne almak için belirli bir olasılık ile öngörülen tasarım depremi için arzu edilen performans seviyesini sağlayan depreme dayanıklı yapıların oluşturulmasını mümkün kılar.

Alp Himalaya Deprem Kuşağı üzerinde yer alan ülkemizin etrafında Avrasya, Arabistan ve Afrika olmak üzere üç büyük tektonik plakalar ile Ege ve Anadolu olmak üzere iki küçük plaka ve çok sayıda küçük levhaların bulunması Türkiye'nin tamamına yakın bölümünün deprem kuşağı içerisinde yer almasına sebep olmaktadır (Ayyıldız Potur ve Metin, 2021).

Çeşitli depremlere maruz kalmış ülkelerde oluşan can kayıpları, sosyo-ekonomik ve toplumsal etkileri bakımından en fazla etkilenen ülkelere birisinin de Türkiye olduğu bilinmektedir (Akıncıtürk, 2003).

Ülkemizde yaşanmış olan depremler sonucunda, yapılarda meydana gelen yapısal hasarlar incelendiğinde bu hasarların başlıca nedeninin, yapının tasarım ve uygulama aşamalarındaki hatalardan kaynaklandığı görülmektedir (Altun, 2003; Ayyıldız ve Özbayraktar, 2005). Bu doğrultuda; yapıların mimari tasarım sürecini yöneten mimarların, depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini kavrayabilmeleri için bu konudaki bilgilerinin ve disiplinler arası çalışabilme bilincinin temellerinin lisans eğitimi döneminde oluşturulması gerektiği düşünülmektedir (Charleson, 1997; Morales-Beltran ve Yıldız, 2020).

Bu çalışmada; inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi süresi boyunca deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramına verilen önemin araştırılarak, bu konuda edinilmiş olan bilgilerin yapı üretim sürecinin ilk adımı olan tasarım aşamasında kullanılıp kullanılmadığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında ilk olarak, ülkemizde ve dünyada bulunan bazı ülkelerdeki inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin lisans ders müfredatlarında depreme dayanıklı yapı tasarımı olgusunu ele alan derslerin varlığı ve içerikleri bölümlerin internet sitelerinde yer alan müfredat durumları üzerinden detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın devamında, deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri üzerine gereken eğitimi almış olan öğrencilerin edindikleri teknik bilgileri proje derslerindeki mimari tasarımlarında uygulayıp uygulayamadıkları araştırılmıştır.

## 2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Üzerine etkiyen yükler ve deprem gibi dinamik dış etkilere karşı dayanım göstererek ayakta kalabilen yapı, depreme dayanıklı yapı olarak tanımlanmaktadır. Yapılara etkiyen dış etkiler arasında deprem etkisi önemli yere sahiptir. Deprem etkileri büyük ölçüde belirsizlikler içerdiğinden ve yapılar üzerindeki etkisinin boyutu kesin olarak öngörülemediğinden yapı kullanıcılarının can güvenliğini koruyabilmek bakımından depreme dayanıklı yapı tasarımı önem taşımaktadır (Akçaer, Özdemir ve Soyluk, 2015; Akbulut, 2005).

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı, genellikle inşaat mühendislerinin çalışma alanını kapsayan bir konu olduğu düşünülmektedir (Morales-Beltran, Charleson ve Aydın, 2020). Ancak yapının taşıyıcı sisteminin yapının formuna bağlı olarak tasarlanması göz önüne alındığında, mimari tasarım aşamaları yapının depreme karşı göstereceği performans üzerinde doğrudan belirleyici bir etken olmaktadır (Arbabian, 2000; Estrada ve Lee, 2009).

Yapının formuna uygun olarak tasarlanmış taşıyıcı sistemin deprem esnasında yapının yeterli dayanımı göstererek rijitlik ve sünekliğini koruması ve üzerine etkiyen deprem yükünü güvenli bir şekilde zemine iletebilmesi beklenmektedir. Dolayısıyla yapının formu ve taşıyıcı sistemi deprem etkisine karşı uyum içerisinde bir bütün halinde çalışmalıdır (Hünük, 2006).

Bu nedenle yapının tasarım aşamasından uygulama aşamasına kadar geçen süre olan mimari tasarım süreci boyunca mimar ve mühendislerin bir arada çalışma yürütmesi yapıların depreme karşı güvenli hale gelmesinde önemlidir.

## 3. İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Eğitiminde Deprem Bilincinin Değerlendirilmesi

İnşaat mühendisliği ve mimarlık, bina ve yapısal çevrenin birlikte tasarlanarak kullanıcıya sunulması ile ilgili meslek disiplinleridir. İnşaat mühendisliği ve mimarlık disiplinleri kuramsal bilgilerin uygulamaya dönüştüğü, yapı inşa süreçlerinde etkileşim içerisinde olması gereken mesleklerdir. Mühendislik-mimarlık eğitiminin amacı tasarım yeteneği gelişmiş, yenilikçi, özgün ve alanında tam donanımlı inşaat mühendisi ve mimarlar yetiştirmektir.

Deprem sonucunda meydana gelen yapısal hasarların nedenlerinin yapının projelendirme aşamalarında gerekli/yeterli mimarlık ve mühendislik hizmeti almamış olması, yapının planında düzensizliklerin bulunması, taşıyıcı sistem tasarımının mimari forma uygun tasarlanmamış olması, malzeme ve işçilik kalitesinin yeterli olmaması, yapıya kullanım sırasında birtakım müdahalelerde bulunulması gibi birçok nedeninin olduğu bilinmektedir (Altun, 2003; Özmen ve Ünal, 2007). Bu nedenle

inşaat mühendisi ve mimarların depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri konusunda yeterli bilgiye sahip olması önemlidir.

### 3.1. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Kapsamında Değerlendirilmesi

300 milyonun üzerinde nüfusa ve geniş bir yüzölçümüne sahip olan ABD, üniversitelerinde bulunan inşaat mühendisliği ve mimarlık programı sayısı diğer ülkelerin üniversitelerinde bulunan inşaat mühendisliği ve mimarlık programına göre fazladır. Mühendislik-mimarlık öğrencisi sayısı bakımından da Japonya ve Almanya'dan sonra yer almaktadır. Kayıtlı inşaat mühendisi ve mimar sayısına göre ise Japonya ve İtalya'dan hemen sonra gelmektedir (Bhattacharjee ve Bose, 2015).

ABD'de bulunan inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerindeki öğrencilerin sadece %18'inde depreme dayanıklı yapı tasarımı bilincinin olduğu, ağırlıklı olarak bu konuda deneyim kazanmış olan inşaat mühendisi ve mimarların bulunduğu ve sismik tehlikenin daha olası olduğu bölgelerde eğitim görmektedir. Ülkedeki inşaat mühendisliği ve mimarlık lisans programlarındaki dersler incelendiğinde deprem ile ilgili derslerin varlığının ve sayısının üniversitelerin bulunduğu bölgelerin sismik tehlikesiyle doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir (Theodoropoulos, 2006).

Örneğin; ABD bölgesinde sismik anlamda diğer eyaletlere göre daha fazla risk bulunduran Kaliforniya Eyaletinde bulunan Güney Kaliforniya Üniversitesi inşaat mühendisliği ve mimarlık programlarının müfredatında yer alan dersler içerik bakımından deprem ve depreme dayanıklı tasarım konusuna yoğunlaşmıştır. Zorunlu dersler kategorisinde yer alan ve farklı eğitim dönemlerinde ardışık olarak tekrar eden Yapı Strüktürleri ve Sismik Tasarım dersinin haftalık ders planına teorik ders saatlerine ek olarak atölye çalışmaları da dahil edilerek dersi alan öğrencilerin haftalık dokuz saatini bu derse ayırmaları sağlanmıştır. Diğer yandan sismik tehlike oranının daha az bulunduğu eyaletlerdeki inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin müfredatlarında deprem ile ilgili derslere daha az yer verilmektedir.

### 3.2. Japonya Kapsamında Değerlendirilmesi

Japonya'da mimarlık bölümleri mühendislik fakülteleri içerisinde yer almaktadır. Mimarlar, mimar ve bina mühendisi anlamında kullanılan "kenchikushi" olarak isimlendirilmektedir. Mühendislik fakültesinde eğitim görmeye başlayan öğrenciler eğitim dönemi süresince mimari tasarım dersleriyle eşzamanlı olarak yapısal mühendislik dersleri de almaktadır (Özdil,2021).

Japonya'daki inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitiminde deprem ve afet konularına gereken önem verilmiş durumdadır. İnşaat mühendisleri ve mimarların mesleki sorumluluklarının sadece tasarım alanıyla sınırlı olmayıp güvenli yapı tasarımı konusunda da yeterli donanıma sahip olmaları gerekmektedir (Murao,2008).

Ülkedeki inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin büyük bir kısmında deprem ile ilgili dersler program müfredatında zorunlu dersler kategorisinde yer almaktadır. Örneğin; Chiba Üniversitesinde, "deprem mühendisliği ve sismik tasarım" Tokyo Üniversitesinde "strüktür ve deprem mühendisliği", "deprem mühendisliği", "deprem analizi", "depreme dayanıklı tasarım" ve "sismik dalga analizi", Kyoto Üniversitesinde "depreme dayanıklı strüktür" gibi doğrudan deprem konusunu ele alan dersler bulunmaktadır.

### 3.3. İtalya Kapsamında Değerlendirilmesi

İtalya'da inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi, üniversitelerin inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinde veya politeknik okullarda verilmektedir. Ülkede mühendislik-mimarlık eğitimi verilen üniversitelerde tasarıma dayalı, teknoloji ve yenilikçiliği ön plana alan, diğer meslek disiplinleriyle ilişkilerini güçlü tutan, araştırmaya dayalı bir eğitim sistemi modellenmiştir (Nalçakan ve Polatoğlu,2008).

Depremlerin yoğun olarak yaşandığı bir ülke olan İtalya'da inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin ders müfredatlarında deprem ile ilgili derslere yer verilmiştir. Örneğin; Roma La Sapienza üniversitesinde "Sismik Bölgedeki İnşaatlar", Politecnico di Milano Üniversitesi'nde "Sismik Alanlarda Bina Tasarımı", "Yapısal ve Sismik Tasarım" adlı dersler bulunmaktadır.

### 3.4. Türkiye Kapsamında Değerlendirilmesi

Türkiye'de inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümleri üniversitelerin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Teknoloji Fakültesi, Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi gibi çeşitli fakültelerin bünyesinde yer almaktadır. Ülkemizde giderek artmakta olan inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümü bulunan üniversite sayısına bağlı olarak inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi alan öğrenci sayısında da artış görülmektedir (Özdil,2021).

Deprem aktivitelerinin yoğun olarak bulunduğu ülkemizde depremin yıkıcı ve hasar verici etkilerini azaltabilmek için mühendislik-mimarlık eğitiminde deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı konularını içeren müfredat oluşturularak, inşaat mühendisleri ve mimarların bu konuda tam donanımlı olmaları sağlanmalıdır.

Çalışma kapsamında ülkemizde bulunan 30 devlet üniversitesinin inşaat mühendisliği ders müfredatları incelendiğinde deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı olgusunu ele alan derslerin büyük çoğunluğunun seçmeli dersler kategorisinde yer aldığı görülmektedir (Tablo- 1). Ayrıca ülkemizde mimarlık bölümü bulunan 57 devlet üniversitesinden 28'inin ders müfredatlarında deprem ile ilgili derslerin bulunduğu, bu derslerin, 3 üniversitede zorunlu ders kategorisinde, 24 üniversitede seçmeli ders kategorisinde bulunduğu tespit edilmiştir. Gazi Üniversitesinde ise 1 zorunlu 1 seçmeli olmak üzere 2 adet ders olduğu görülmektedir (Tablo-2).

Tablo-1. Türkiye'deki devlet üniversitelerinin inşaat mühendisliği bölümlerindeki deprem ile ilgili dersler (Table-1. Lessons on earthquakes in the civil engineering departments of public universities in Turkey)

	Üniversite	Ders Adı	Zorunlu/ Seçmeli	Teorik+ Uygulama (Ders Saati)
1	Adıyaman Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	Z	3+0
2	Akdeniz Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	S	2+1
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+1
3	Batman Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı II	S	3+0
4	Bingöl Üniversitesi	Deprem Mühendisliği	Z	2+0
5	Boğaziçi Üniversitesi	Yapıların Sismik Tasarımı	S	2+0
6	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	Z	3+0
7	Bursa Uludağ Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarımı	S	2+1
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+1
8	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Mühendislik Sismolojisi ve Depremsellik	S	2+1
		Geoteknik Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+1
9	Dokuz Eylül Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Tasarım	S	3+0
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Deprem Mühendisliğinde Seçmeli Konular	S	2+0
10	Ege Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Tasarım	S	3+0
11	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Tasarım	Z	3+0
		Deprem Mühendisliği Araştırmaları	S	1+4
12	Giresun Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı	S	3+0
13	Hacettepe Üniversitesi	Geotechnical Earthquake Engineering	S	3+0
		Earthquake Resistant Design of Structures	S	3+0
14	Iğdır Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
15	İskenderun Teknik Üniversitesi	Deprem Yapı İlişkisi	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapılar	Z	3+0
		Deprem Zemin İlişkisi	S	3+0
16	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
17	Karadeniz Teknik Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına Giriş	S	3+0
18	Kırklareli Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	Z	3+0
19	Mersin Üniversitesi	Sismolojiye Giriş	S	3+0
20	Munzur Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	Z	2+0
21	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	Z	3+1
22	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
23	Pamukkale Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
		Geoteknik Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
24	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Geoteknik Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
25	Siirt Üniversitesi	Deprem Mühendisliği	S	3+0
26	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	S	3+0
27	Uşak Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Geoteknik Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
28	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
		Deprem-Zemin-Yapı Etkileşimi	S	3+0
29	Yıldız Teknik Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	S	3+0
30	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0

Tablo-2 Türkiye'deki devlet üniversitelerinin mimarlık bölümlerindeki deprem ile ilgili dersler (Table-2. Lessons on earthquakes in the architecture departments of public universities in Turkey)

	Üniversite	Ders Adı	Zorunlu/ Seçmeli	Teorik+ Uygulama (Ders Saati)
1	Artvin Çoruh Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
2	Atatürk Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
3	Balıkesir Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
4	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	S	3+0
5	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	Mimari Tasarımda Deprem Faktörü	S	2+0
6	Bursa Uludağ Üniversitesi	Deprem ve Konut	S	2+0
7	Dokuz Eylül Üniversitesi	Depreme Karşı Yapıların Mimari Tasarım İlkeleri	S	2+0
8	Düzce Üniversitesi	Tasarımda Deprem Faktörü	S	2+0
9	Erciyes Üniversitesi	Binaların Deprem Performansı	S	2+0
10	Gazi Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Mimari Tasarım	Z	2+0
		Deprem Yönetmelik ve Mimari Tasarıma Etkileri	S	2+0
11	Gebze Teknik Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri	Z	2+0
12	Harran Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	Z	2+0
13	İstanbul Teknik Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
14	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
		Deprem ve Yapı Davranışı	S	3+0
15	Karabük Üniversitesi	Depreme Göre Mimari Tasarım İlkeleri	Z	2+0
16	Kırklareli Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
17	Konya Teknik Üniversitesi	Yapım Sistemlerinde Deprem Davranışı	S	2+0
18	Manisa Celal Bayar Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+1
19	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
20	Munzur Üniversitesi	Deprem Hasarlarının Değerlendirilmesi	S	3+0
21	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	Mimari Tasarımda Deprem Faktörü	S	2+0
22	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+2
23	Sakarya Üniversitesi	Deprem ve Mimarlık	S	1+2
24	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
25	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
26	Trakya Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Üretimi	S	2+0
27	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
28	Yıldız Teknik Üniversitesi	Tasarımda Deprem Faktörü	S	2+0

Türkiye’de bulunan vakıf üniversitelerinin inşaat mühendisliği bölümlerinin ders müfredatları incelendiğinde 31 adet üniversiteden 26’sının ders müfredatlarında deprem ve

depreme dayanıklı yapı tasarımı olgusunu ele alan derslerin olduğu görülmektedir (Tablo-3).

Tablo-3. Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin inşaat mühendisliği bölümlerindeki deprem ile ilgili dersler (Table-3. Lessons on earthquakes in the civil engineering departments of foundation universities in Turkey)

	Üniversite	Ders Adı	Zorunlu/ Seçmeli	Teorik+ Uygulama (Ders Saati)
1	Altınbaş Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
2	Antalya Bilim Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
3	Atılım Üniversitesi	Deprem Mühendisliği	S	3+0
4	Avrasya Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+0
5	Başkent Üniversitesi	Yapı Sistemlerinin Depreme Karşı Tasarımı	S	3+0
6	Beykent Üniversitesi	Deprem Mühendisliği	S	2+1
7	Doğuş Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
8	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
9	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+0
		Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarımı	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
10	İstanbul Aydın Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	Z	3+0
11	İstanbul Bilgi Üniversitesi	Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği	S	3+0
12	İstanbul Esenyurt Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
13	İstanbul Gelişim Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
14	İstanbul Kültür Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	S	2+2
15	İstanbul Medipol Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapılar	S	2+0
16	İstanbul Okan Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Tasarım ve Performans Değerlendirmesi	S	3+0
17	İstanbul Rumeli Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	S	3+0
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
18	İstinye Üniversitesi	Earthquake Resistant Design of Structures	S	2+2
19	İzmir Ekonomi Üniversitesi	Deprem Mühendisliği	S	3+0
20	Kadir Has Üniversitesi	Yapıların Sismik Performans Değerlendirmesi	S	2+2
21	MEF Üniversitesi	Introduction to Earthquake Engineering	S	3+0
		Earthquake Resistant Structural Design	S	3+0
22	Nişantaşı Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
23	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+1
		Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı	S	3+0
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
24	Özyeğin Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Yapıların Deprem Tasarımı	S	3+0
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
25	Yaşar Üniversitesi	Geoteknik Deprem Mühendisliği	S	3+0
		Deprem Mühendisliğine Giriş	S	3+0
		Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
26	Yeditepe Üniversitesi	Deprem Mühendisliğine Giriş	Z	3+0
		Betonarme Binaların Deprem Etkisi Altında Tasarımı	S	3+0



Türkiye’de devlet üniversitelerinin yanı sıra vakıf üniversitelerinde de mimarlık bölümleri bulunmaktadır. Türkiye’de bulunan 43 vakıf üniversitesinden sadece 13’ünün

ders müfredatlarında deprem ile ilgili derslerin bulunduğu ve bu derslerin ise 13 üniversitenin tamamında seçmeli olduğu görülmektedir (Tablo-4).

Tablo-4. Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin mimarlık bölümlerindeki deprem ile ilgili dersler (Table-4. Lessons on earthquakes in the architecture departments of foundation universities in Turkey)

	Üniversite	Ders Adı	Zorunlu/ Seçmeli	Teorik + Uygulama (Ders Saati)
1	Çankaya Üniversitesi	Earthquake Architecture	S	3+0
2	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	Mimaride Deprem Faktörü	S	2+0
3	Haliç Üniversitesi	Yapıların Depreme Karşı Tasarım İlkeleri	S	2+0
4	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
5	İstanbul Kültür Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
6	İstanbul Medipol Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapılar	S	2+0
7	İstanbul Okan Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Mimari Tasarım	S	2+0
8	İstinye Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+1
9	Işık Üniversitesi	Afetlere Dayanıklı Kentsel ve Mimari Tasarım	S	3+0
10	İzmir Ekonomi Üniversitesi	Afete Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	3+0
11	KTO Karatay Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	S	2+0
12	Toros Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Tasarım	S	2+0
13	Yaşar Üniversitesi	Depreme Dayanıklı Yapılar	S	3+0

### 3.5. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) Kapsamında Değerlendirilmesi

KKTC’deki inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi Türkiye’de uygulanmakta olan eğitim ile benzer durumdadır. Türkiye’deki birçok inşaat mühendisliği ve mimarlık öğrencisi eğitimlerini KKTC’de tamamladıktan sonra mesleki hayatına Türkiye’de devam etmektedir. Bundan dolayı KKTC’deki mühendislik-mimarlık eğitiminde depreme önem verilmesi Türkiye’de depreme dayanıklı yapıların inşa edilebilmesi bakımından da önemlidir.

KKTC’de bulunan üniversitelerin mimarlık bölümlerinin ders müfredatları incelendiğinde mimarlık bölümü bulunan 9 üniversiteden sadece Gıme Amerikan Üniversitesi’nde “Depreme Dayanıklı Yapılar” olarak adlandırılan ve seçmeli ders kategorisinde yer alan 1 adet dersin olduğu görülmektedir.

KKTC’de bulunan üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinin ders müfredatları incelendiğinde, çeşitli üniversitelerin müfredatlarında deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı konularını ele alan derslerin genellikle seçmeli dersler kategorisinde yer aldığı görülmektedir.

### 4. İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Deprem Olgusu ile Bitirme Çalışması Dersi İlişkisinin İncelenmesi

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü ders müfredatı incelendiğinde, depreme dayanıklı yapı tasarımı zorunlu dersler kategorisinde olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında; “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” dersini alıp başarı ile tamamlamış öğrenciler ile dersi alıp başarısız olmuş öğrencilerin, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda gereken hassasiyeti gösterip göstermediklerini

belirlemek amacıyla bu dersi alıp başarı ile tamamlayan 5 öğrenci ile bu dersi başarı ile tamamlayamayan 5 öğrencinin bitirme çalışması dersi kapsamında yaptıkları projeler kıyaslanmıştır. “Bitirme çalışması” dersi kapsamında zemin kattında dükkan bulunan 10 adet konut binasının statik projesi incelendiğinde; depreme dayanıklı yapı tasarımı dersini başarı ile tamamlayan öğrencilerin zemin katların diğer katlardan yüksek olması sebebiyle binada yumuşak kat oluşmaması açısından betonarme perde kullandıkları, kullanılan betonarme perdeleri dış akslara ve simetrik olacak şekilde yerleştirdikleri, rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirine yakın olmasına böylece burulma momentlerinin oluşmamasına gayret ettikleri, zemin katın diğer katlara göre zayıf kalmaması amacıyla vitrinlerden kaçınarak yeterli dolgu duvar kullandıkları, her iki doğrultunun periyodunun birbirine yakın olacak şekilde kolon yerleşimi yaptıkları, binanın yeterli süneklilikte olması için daha uygun malzeme ve kesit seçtikleri, kolonlara nazaran daha zayıf kiriş kesitleri seçtikleri, binanın yeterli kararlılık (stabilite)’da olmasını sağlamak amacıyla ikinci mertbe etkilerini inceledikleri ve düşey taşıyıcıların etkin göreliliğini Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de verilen koşullara göre inceledikleri tespit edilmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı dersini başarı ile tamamlayamayan öğrencilerin ise bitirme çalışması projelerinde yukarıda bahsedilen depreme dayanıklı yapı tasarımı temel ilkelerinin birçoğuna dikkat etmedikleri gözlemlenmiştir.

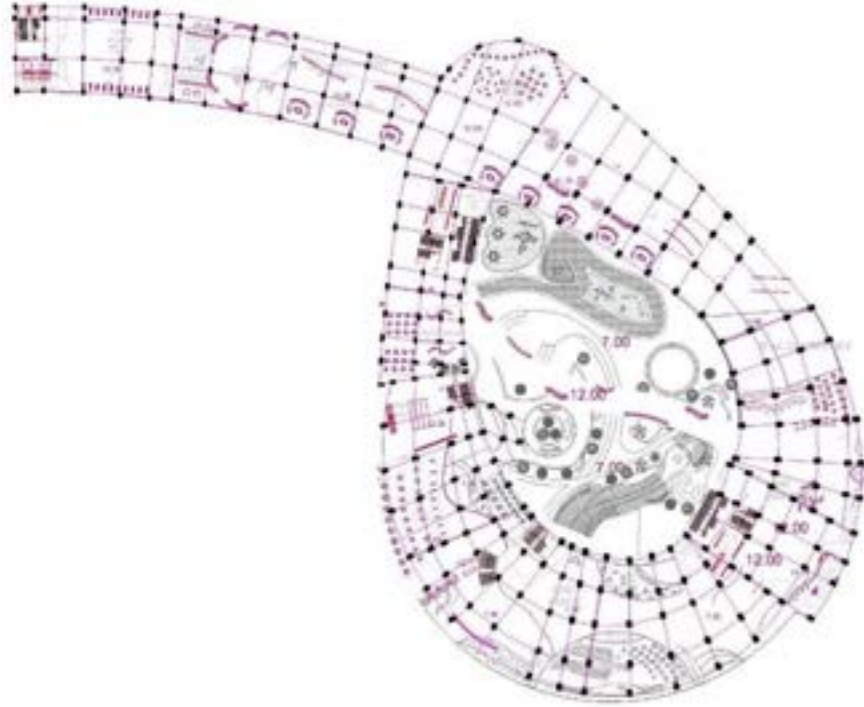
Depreme dayanıklı yapı tasarımı dersini başarı ile tamamlayan öğrencilerin başarısız olan öğrencilere göre bitirme çalışması projelerinde birçok konuda deprem dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine daha çok dikkat ettiği açıkça görülmektedir. Bu çalışma; Topraklarının büyük bir bölümü deprem riski altında olan bir ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı dersinin zorunlu olması gerektiğini açıkça göstermektedir

## 5. Mimarlık Eğitiminde Deprem Olgusu ile Stüdyo Dersleri İlişkisinin İncelenmesi

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mimarlık Bölümü ders müfredatı incelendiğinde, deprem ve depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramlarının 5. Dönem seçmeli dersler kategorisinde yer alan "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" isimli ders kapsamında ele alındığı görülmektedir. "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" dersi ile mimarlık eğitimi almakta olan öğrencilerin; deprem olgusu hakkında bilinçlenmelerinin sağlanması, depremin yapılar üzerindeki etkilerinin anlaşılması, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinin mevcut yönetmelikler kapsamında öğretilmesi amaçlanmakta ve öğrencilerin almış oldukları bu bilgileri mimari proje tasarımlarında kullanabilmeleri beklenmektedir.

Çalışma kapsamında; "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" dersini alıp başarı ile tamamlamış öğrenciler ile dersten

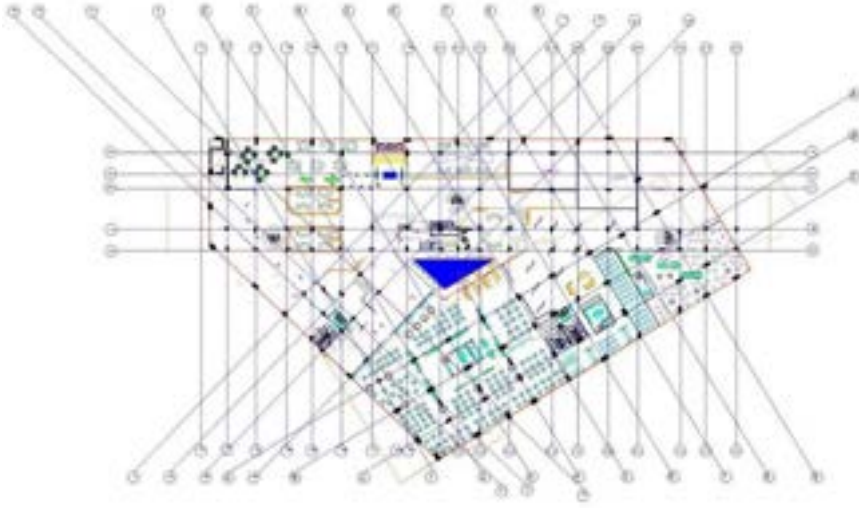
başarısız olmuş öğrencilerin, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda gereken hassasiyeti gösterip göstermediklerini belirlemek amacıyla "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" dersi ile aynı dönemde yer alan "Mimari Proje V" dersi kapsamında tasarlanmış olan 7 adet kent oteli öğrenci projeleri incelenmiştir. Yapılan inceleme doğrultusunda; "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" dersini düzenli olarak takip edip dersi başarılı bir şekilde tamamlamış olan 5 öğrencinin tasarlamış oldukları projelerinde yapının aks sistemini kurguladıktan sonra taşıyıcı sistemine yönelik çözüm önerisinde bulunarak öğrenmiş oldukları depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerini projelerine entegre etmeye çalıştıkları ve öğrencilerde bu konuda bir farkındalık düzeyinin oluştuğu gözlemlenmektedir (Şekil 1-5). Diğer yandan "Mimari Tasarımda Deprem Faktörü" dersini almış ancak dersten başarısız olmuş iki öğrencinin ise projelerinde yapının taşıyıcı sistemine yönelik herhangi bir öneride bulunmadıkları tespit edilmiştir (Şekil 6-7).



Şekil 1. Kent oteli projesi örneği -1 (Figure 1. Example of a city hotel project -1)



Şekil 2. Kent oteli projesi örneği -2 (Figure 2. Example of a city hotel project -2)



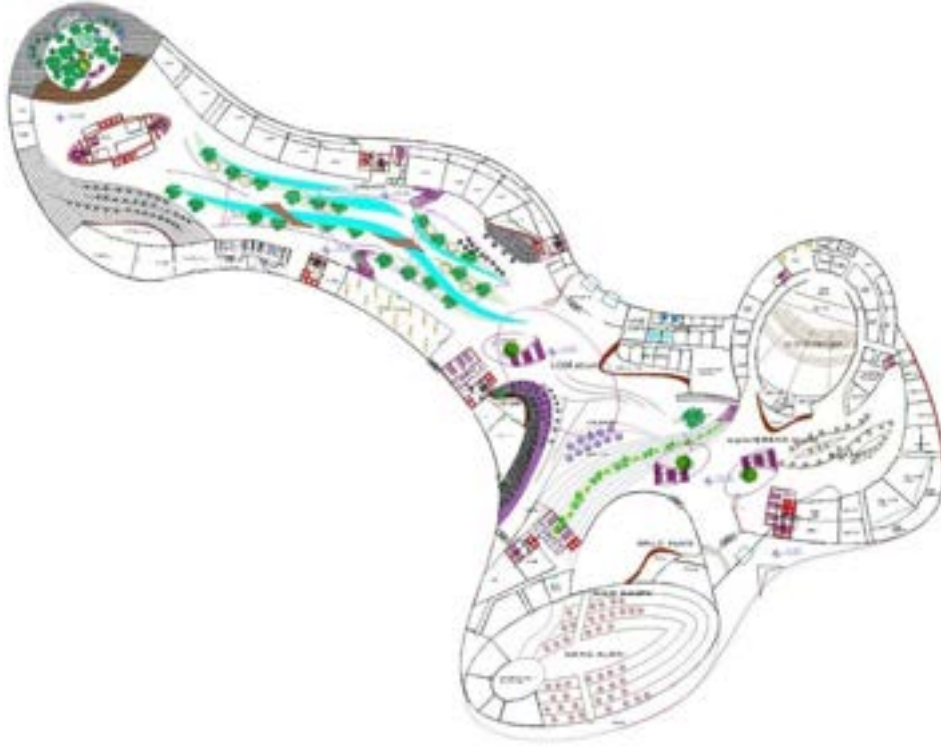
Şekil 3. Kent oteli projesi örneği -3 (Figure 3. Example of a city hotel project -3)



Şekil 4. Kent oteli projesi örneği -4 (Figure 4. Example of a city hotel project -4)



Şekil 5. Kent oteli projesi örneği -5 (Figure 5. Example of a city hotel project -5)



Şekil 6. Kent oteli projesi örneği -6 (Figure 6. Example of a city hotel project -6)



Şekil 7. Kent oteli projesi örneği -7 (Figure 7. Example of a city hotel project -7)

## 6. Sonuç ve Öneriler

İnşaat mühendisliği ve Mimarlık eğitiminde dinamik deprem etkileri ve depreme dayanıklı yapı tasarımı konseptine verilen önemi belirleyebilmek amacıyla yapılmış olan çalışma sonucunda elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir;

- Özellikle ülkemizdeki inşaat mühendisliği ve mimarlık bölümlerinin müfredatları incelendiğinde; öğrencilerde deprem etkileri bilincinin oluşmasını sağlayacak olan derslerin genellikle seçmeli dersler kategorisinde olduğu görülmektedir. Müfredat içerisinde yer alan zorunlu derslerin eğitim görmekte olan tüm öğrencilere fayda sağlayabileceği düşünüldüğünde, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerini esas alan derslerin seçmeli olarak değil zorunlu eğitimin bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir. Sismik yer hareketlerini yani deprem olgusunu kapsayan seçmeli ders sayısı da artırılmalıdır.

- İnşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi almakta olan öğrencilere; deprem ve depreme dayanıklı yapıların tasarlanması konularında yapının tasarım aşamasından uygulama aşamasına kadar olan tüm süreçlerde mimar ve mühendislerin iş birliği içerisinde çalışmalarının gerektiğinin önemi benimsenmelidir.

- İnşaat mühendisliği bölümü öğrencilerinin yaptığı bitime çalışmaları incelendiğinde, Depreme dayanıklı yapı tasarımı dersini başarı ile tamamlayan öğrencilerin başarısız olan öğrencilere göre projelerinde birçok konuda deprem dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine daha çok dikkat ettiği açıkça görülmüştür.

- Topraklarının büyük bir bölümü deprem riski altında olan bir ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı dersinin özellikle inşaat mühendisliği bölümünde zorunlu olarak okutulması gerektiği inşaat mühendisliği öğrencilerin bitirme projelerinde yapılan incelemeyle açıkça görülmektedir.

- Depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılan mühendislik tabanlı yapısal analiz programları, mimarlık eğitiminde de ders müfredatına temel düzeyde eklenmelidir.

- Stüdyo derslerinde, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinin ve yürürlükte olan mevcut yönetmeliklerin, öğrencilerin tasarladıkları projelerde özgün mimari form seçimine engel olmayacağını vurgulanması gerekmektedir. Bu amaçla; küresel düzeyde inşa edilmiş olan özgün tasarımların yapım teknikleri ders kapsamında anlatılmalıdır.

- Depreme dayanıklı yapı tasarımı dersleri kapsamında dijital teknolojilerden faydalanılması inşaat mühendisliği ve mimarlık öğrencilerinin bu konudaki bilgilerinin artırılmasını ve öğrenmelerini teşvik edici etki sağlayacağı düşünülmektedir.

- Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri üzerine gereken eğitimi almış olan öğrencilerin edindikleri teknik bilgileri mimari tasarımlarında uygulamaya geçirebildikleri, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanabilmeleri konusunda inşaat mühendisi ile eşit sorumluluk üstlenme eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir.

- Lisans eğitimini tamamlamış olan inşaat mühendisi ve mimarların da depreme dayanıklı yapı tasarımı konusundaki bilinçlerinin artırılması ve mevcut bilgilerinin güncel tutulabilmesi için düzenli olarak konu ile ilgili meslek içi eğitim programlarının düzenlenmesi gerekmektedir.

## Kaynakça

- Akbulut, M. T. (2005). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Eğitimi Yaklaşımı. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, 586-592.
- Akcaer, G., Özdemir, N. B., Soyuluk, A. (2015). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Eğitimi ve Mimarlık. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı ,14-16 Ekim, 2015, İzmir.
- Akincitürk, N. (2003). Yapı Tasarımında Mimarın Deprem Bilinci. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8 (1), 189-201.
- Altun, M. C., (2003). Tasarım ve Uygulama Sürecinde Çeşitli Disiplinler Arası İlişkiler, Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, 15-16 Şubat 2002, Bildiriler Kitabı, Çizgi Basım Yayın Ltd. Şti., İstanbul, 191-197.
- Arbaban, H., (2000). The Role Of Architects In Seismic Design, International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings, İstanbul.
- Ayyıldız Potur, A., Metin, H. (2021). Mimarlık Eğitiminde Deprem Yeri ve Deprem Eğitsel Boyutu: Küresel Gündem ve Türkiye Bağlamı Üzerine Bir Değerlendirme. Megaron, 16 (2), 223-254.
- Ayyıldız, S., Özbayraktar, M. (2005). Mimarlık Eğitiminde Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Süreci ve Bu Süreçte Disiplinler Arası İletişimin Önemi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, 1224-1234.
- Bhattacharjee S., and Bose S. (2015) "Comparative Analysis of Architectural Education Standards Across the World", ARCC, Future of Architectural Research, 579-589.
- Charleson, A. W. (1997). Seismic design within architectural education. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 30 (1), 46-50.
- Estrada, H., & Lee, L. (2009). Challenges of teaching earthquake engineering to undergraduates. In 2009 Annual Conference & Exposition, 14-312.
- Hünük, T. N., 2006, Betonarme Yapılarda Depreme Dayanıklılığı Sağlayan Mimari Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 110s.
- Morales-Beltran, M., B. Yıldız (2020) Integrating configurationbased seismic design principles into architectural education: teaching strategies for lecture courses, Architectural Engineering and Design Management, 16:4, 310-328.
- Morales-Beltran, M., Charleson, A., & Aydın, E. E. (2020). Sawtooth method for teaching seismic design principles to architecture students. Journal of Architectural Engineering, 26(1).
- Murao, O. (2008). "Case Study of Architecture And Urban Design on the Disaster Life Cycle in Japan", The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- Nalçakan, H., Polatoğlu, Ç. (2008). Türkiye'deki ve Dünyadaki Mimarlık Eğitiminin Karşılaştırmalı Analizi İle Küreselleşmenin Mimarlık Eğitimine Etkisinin İrdelenmesi. MEGARON/Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, 3(1), 79-103.
- Özdil, T. (2021). Mimarlık Eğitimi Stüdyo Derslerinde Strüktür Algısı. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 151s.
- Özmen, C. ve Ünay, A. İ., 2007, Commonly encountered seismic design faults due to the architectural design of residential buildings in Turkey, Building and environment, 42 (3), 1406-1416.
- Soyuluk, A. ve Harmankaya, Z. Y. (2012). Examination Of Earthquake Resistant Design in the Education of Architecture. Procedia - Social and Behavioral Sciences 51, 1080 – 1086
- Theodoropoulos, C. (2006). Seismic design education in schools of architecture. In 2006 Building Technology Educators' Symposium Proceedings, 365-374.

# ZnO Katkılı Kitosan Kullanılarak Sulu Çözeltilerde Flor Giderimi

Mehmet Semih Bingöl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4616-7143),  
[semih.bingol@atauni.edu.tr](mailto:semih.bingol@atauni.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 22 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 13 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1091815)

**ATIF/REFERENCE:** Bingöl, M.S. (2022). ZnO Katkılı Kitosan Kullanılarak Sulu Çözeltilerde Flor Giderimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 88-93.

## Öz

Bu çalışmada, sularadaki florürün bütün dünyayı etkileyen önemli bir sağlık tehdidi olması nedeniyle çevre dostu bir adsorbentin hazırlanarak incelenmesi amaçlanmıştır. ZnO katkılı kitosan adsorbenti flor adsorpsiyonu için üretildi. Adsorbentin karakterizasyonu FT-IR, SEM-EDX analizler ile yapılmıştır. pH, başlangıç konsantrasyonu, adsorbent miktarının adsorpsiyon üzerine etkisi araştırıldı. Buna göre optimum şartlar pH 7 ve adsorbent miktarı 8 g/L bulunmuştur. Adsorpsiyon çalışmalarında 20 mg/L flor konsantrasyonunda %95 flor giderimi sağlanmıştır. Langmuir ve Temkin isotherm modelleri çalışıldı ve en uyumlu isothermin Langmuir olduğu bulunmuştur. Langmuir isothermine göre maksimum adsorpsiyon kapasitesi 3,67 mg/g olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kitosan, Çinko Oksit, Florür, İzoterm, Adsorpsiyon.

## Fluorine Removal in Aqueous Solutions Using ZnO Doped Chitosan

### Abstract

In this study, it was aimed to prepare and analyze an environmentally friendly adsorbent because fluoride in water is an important health threat affecting the whole world. ZnO doped chitosan adsorbent was produced for fluoride adsorption. The characterization of the adsorbent was done by FT-IR, SEM-EDX analysis. The effects of pH, initial concentration, amount of adsorbent on adsorption were investigated. As a result, the optimal conditions were determined to be pH 7 and an adsorbent concentration of 8 g/L. At a fluoride concentration of 20 mg/L, 95 percent fluoride removal was accomplished in adsorption experiments. Langmuir and Temkin isotherm models were studied and Langmuir was found to be the most compatible isotherm. The maximum adsorption amount was calculated as 3.67 mg/g according to Langmuir isotherm.

**Keywords:** Chitosan, Zinc Oxide, Fluoride, Isotherm, Adsorption

\* Sorumlu Yazar: [semih.bingol@atauni.edu.tr](mailto:semih.bingol@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

Florür Elementi yer kabuğunda bol miktarda bulunan bir eser elementtir. Florür biyolojik olarak parçalanamayan kalıcı bir kirlenici olarak sınıflandırılır (Roy & Dass, 2013). Florür iyonu (F<sup>-</sup>) yarı iletken olup enerji santrali ve cam ürünleri endüstrileri gibi farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmakta ve bu şekilde atık su ile çevreye salınmaktadır. Florür, dış sağlığın korunması için vazgeçilmez bir elementtir. Bununla birlikte, içme suyunda 1.5 mg L<sup>-1</sup>'in üzerindeki florür konsantrasyonları insan sağlığına zararlı olabilir ve diş veya iskelet florozisi yol açabilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyunda 0.5 ile 1.0 mg/L arasında arzu edilen ve izin verilen bir sınır aralığı belirlemiştir (Miretzky & Cirelli, 2011).

İçme suyundan fazla florürün uzaklaştırılması için iyon değişim kolonları, membranların kullanımı ve elektrokimyasal gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu teknolojilerin yüksek maliyeti onları gelişmekte olan ülkeler için pratik olmaktan çıkarmıştır (Miretzky & Cirelli, 2011). Bu teknikler arasında adsorpsiyon en etkili, çevre dostu ve ekonomik görünmektedir. F-giderimi için birçok çalışmada farklı adsorbentler kullanılmıştır. Aktifleştirilmiş alümina (Ghorai & Pant, 2004) titanyumdan zengin boksit (Das et al., 2005), sentetik reçineler (Meenakshi & Viswanathan, 2007), manganez oksit kaplı alümina (Meenakshi & Viswanathan, 2007), karbon nanotüpler (Li et al., 2003), kemik char (Medellin-Castillo et al., 2007), çift katmanlı hidroksitler (Lv et al., 2007), kaolinit (Meenakshi et al., 2008) gibi adsorbentler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Fakat bu adsorbentler üzerindeki adsorpsiyon kapasitesi tatmin edici değildir. Çünkü yüksek florür konsantrasyonlarında test edilen çok sayıda adsorbent 2 mg/L'in altında düşük bir florür giderme kapasitesi göstermiştir. Bu sebeple son yıllarda yeni ve uygun maliyetli adsorbentler geliştirmek için birçok çalışma yapılmıştır (Fan et al., 2003).

Doğal polimerler içeren adsorbentlerin, özellikle kitin ve türevi kitosan gibi polisakaritlerin kullanımı büyük ilgi görmüştür. Kitosan, çok sayıda NHF grubu nedeniyle, nötre yakın çözeltilerde metal katyonlarının uzaklaştırılması için mükemmel bir biyosorbent olarak bilinir. Kitosan ile metal kompleksleşmesi üzerine birçok çalışma vardır (Crini, 2005; Kurita, 2006; Varma et al., 2004). Ayrıca, asidik ortamda katyonik davranışı nedeniyle, amin gruplarının protonasyonu iyon değişimi yoluyla metal anyonlarının adsorpsiyonuna yol açmaktadır (Bhatnagar & Sillanpää, 2009; Chatterjee et al., 2009; Chatterjee & Woo, 2009; Jaafari et al., 2004; Xie et al., 2010).

Ağır metal iyonlarının adsorpsiyonu için, yüksek spesifik yüzey alanına, büyük yoğunluğa ve düzgün gözenek boyutu dağılımına sahip mezo gözenekli metal oksitler, yüksek kapasiteli adsorbentler olarak hareket edebilir. Mezogözenekli yapı kullanılarak florür gibi iyonların adsorpsiyonu üzerine çok sayıda makale yayınlanmış olsa da, yalnızca birkaç adsorbent olarak çinko oksit (ZnO) gibi monolitik formdaki mezogözenekli metal oksitlerin sentezine odaklanmıştır. Çinko oksit (ZnO), yarı iletken, manyetik malzeme, elektromineral malzeme, UV soğurucu, piezoelektrik sensör ve aktüatör, anoyapı varistörü, termoelektrik malzeme, gaz sensörü, kozmetik bileşeni, alan emisyonu görüntüleme malzemesi gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahip, teknolojik açıdan olağanüstü bir malzeme olarak kabul edilir.

Bu çalışmanın amacı doğal bir polimer olan kitosan ile ZnO karışımı hazırlanıp, sulardaki flor giderimi üzerine optimum şartların belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzemeler

Kitosan, asetik asit, NaOH ve ZnO Merck'ten ticari olarak satın alınmıştır.

### 2.2. Chitosan/ZnO karışımının hazırlanması

Kitosan, %5 lik asetik asit çözeltisinde 24 saat boyunca manyetik karıştırıcı ile çözüldürülmüştür. Aynı anda ZnO 24 saat boyunca suda manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır ve elde edilen iki çözelti birbiriyle karıştırılmıştır. 24 saat karıştırılan bu karışım, en sonunda bir ayırma hunisi yardımıyla damla damla etanolün içerisine aktarılmıştır. İşlem sonunda elde edilen katı kısmı için filtre edilip alınmış ve etüvde 50 °C de kurutulmuştur.

### 2.3. Karakterizasyon

Hazırlanan adsorbent öncelikle kimyasal yapılarının ve bağlarının anlaşılabilmesi için Fourier Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi Bruker VERTEX 70v modeli cihazı ile 400–4000 cm<sup>-1</sup> tarama aralığı yapılmıştır. Hazırlanan adsorbentlerin numunelerin vakum altında elektro-birikim yoluyla altınla kaplanmasından sonra Zeiss Sigma 300 marka Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntüleri alınmıştır ve EDX analizleri yapılmıştır.

### 2.4. Adsorpsiyon işlemi

Hazırlanmış adsorbentler sudaki flor adsorpsiyonunu araştırmak için farklı deneysel parametrelerde bir dizi kesikli deney yapılmıştır. Bu parametreler; boya konsantrasyonu (100, 150, 200, 300 mg /L), pH seviyeleri (2–12) ve adsorbent (Ch-ZnO) kütlesi (1, 4, 6, 8, 10, 12, 14 g/L) olarak belirlenmiştir. 1000 mg/L NaF kullanılarak flor stok çözeltisi hazırlanmış ve seyreltilerek belirlenen konsantrasyonlar hazırlanmak üzere kullanılmıştır. 50 ml flor çözeltisi içerisine belirlenen miktarlarda adsorbentler katılıp İKA KS 3000i Control model çalkalayıcıda belirlenen zaman boyunca 150 rpm de çalıştırılarak adsorpsiyon işlemi gerçekleştirildi. 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl çözeltileri, flor çözeltisinin istenen pH'ını ayarlamak için kullanıldı. Adsorpsiyon işlemi sonrasında adsorbentlerin çözeltilerden uzaklaştırılması için 8000 rpm ve 30 dk boyunca santrifüjlendi. Santrifüj sonrasında adsorbentler uzaklaştırılıp çözeltinin flor konsantrasyonu, Thermo IC-5000 model iyon kromatografi cihazında belirlenmiştir. Florun uzaklaştırılma yüzdesi ve adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi, aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplandı.

$$q_e = (c_0 - C_e) \times \frac{V}{m} \quad (1)$$

$$q_t = (c_0 - C_t) \times \frac{V}{m} \quad (2)$$

$$Removal\% = \frac{(c_0 - C_e)}{c_0} \times 100 \quad (3)$$

C<sub>0</sub>, C<sub>e</sub> ve C<sub>t</sub> sırasıyla başlangıç, denge ve herhangi bir zamandaki flor konsantrasyonu göstermektedir. V flor çözeltisi



hacmi, m ise adsorbent kütlesini göstermektedir. 2.5 Adsorpsiyon Termodinamikleri

Adsorpsiyon işlemlerin değerleri  $\Delta H^0$  (kJ/mol) entalpi,  $\Delta S^0$  (kJ/mol) entropi ve  $\Delta G^0$  (kJ/mol) gibbs değişimleri aşağıdaki denklemlerden bulunmuştur.

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad (4)$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \quad (5)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (6)$$

$K_c$  adsorbat dağılım sabitidir, R evrensel gaz sabitidir (8.314 J/mol K)(Zhang et al., 2015).

## 2.6 Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları

Adsorplanan flor miktarının çözeltide kalan flor konsantrasyonu arasındaki ilişki izoterm olarak tanımlanır. Bir adsorpsiyon sisteminin tasarımı için gerekli olan ana parametrelerden biri olan adsorbent adsorpsiyon kapasitesini tahmin etmek için izoterm verilerinin analizi önemlidir (Kumar et al., 2013).

Denge izoterm çalışmaları 25°C de, 0.2 gram adsorbent miktarı, pH 6'da ve farklı flor konsantrasyonlarında (100-300 mg/L) gerçekleştirilmiştir. Denge adsorpsiyon değerlerini analiz etmek için Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri kullanılmıştır.

Langmuir'in modeli, adsorpsiyon enerjisindeki değişimi hesaba katmaz, ancak adsorpsiyon sürecinin en basit tanımıdır. Langmuir izotermi, adsorban yüzeyinde maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi hakkında bilgi verdi. Bu modelin varsayımına göre, adsorban yüzey homojendir ve tek tip bağlanma bölgesine sahiptir. Langmuir izotermiminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Langmuir, 1918).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (7)$$

Langmuir izotermi, boyutsuzsabit ayırma faktörü veya denge parametresi  $R_L$  cinsinden ifade edilebilir (Jeyaseelan et al., 2018).

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \quad (8)$$

Tablo 1. Farklı  $R_L$  değerleri için izoterm fizibilitesi

(Table 1. Feasibility of isotherm for various  $R_L$ )

$R_L$	İzoterm tipi
$R_L > 1$	Elverişsiz
$R_L = 1$	Doğrusal
$0 < R_L < 1$	Uygun
$R_L = 0$	Tersinir

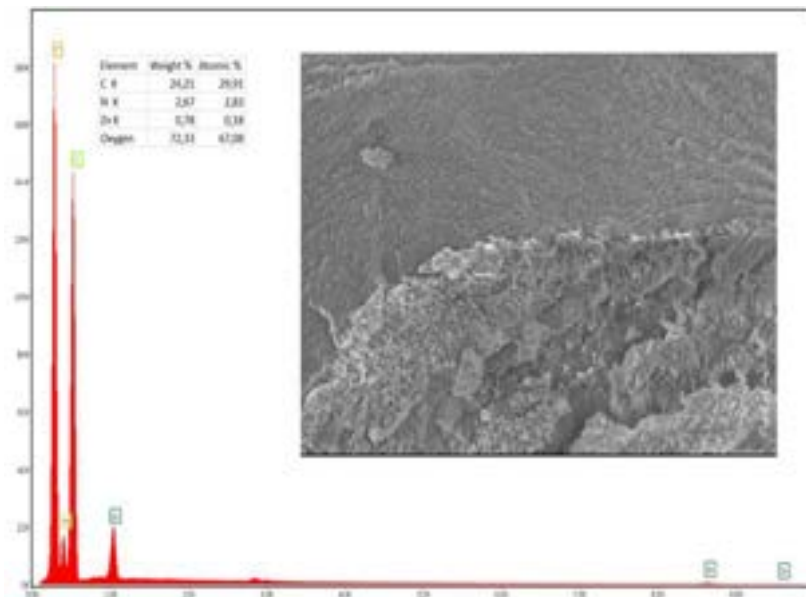
Freundlich izotermi, heterojen bir sistemin ideal olmayan adsorpsiyonunu ve tersinir adsorpsiyonu tanımlanmaktadır. Adsorplanan moleküller arasındaki etkileşimlerin eşlik ettiği aktif bölgelerin heterojen bir enerji dağılımı ile çok katmanlı adsorpsiyonu dikkate almaktadır (Freundlich, 1906; Ng et al., 2003). Freundlich denklemi aşağıdaki modeli şu şekilde temsil edilir:

$$\ln q_e = -\ln K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \quad (9)$$

$q_e$ : dengede adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

$q_{max}$ : maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

$C_e$ : denge konsantrasyonu (mg/L)  $K_L$ : Langmuir sabiti (adsorpsiyonun serbest enerjisiyle ilgili) (L/mg) burada  $K_F$  ve  $n$ , Freundlich sabitleridir ve  $K_F$  (mg/g (L/mg)<sup>1/n</sup>) adsorbann adsorpsiyon kapasitesi ile ilgilidir.



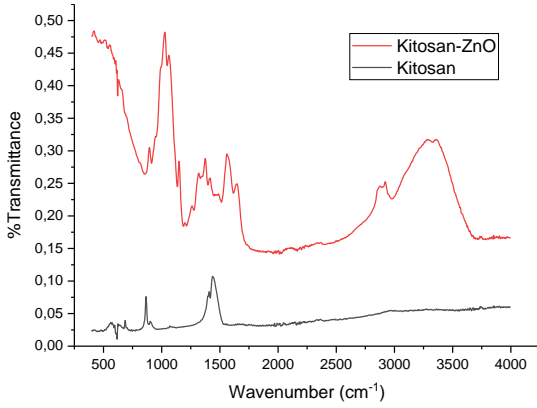
Şekil 1. Kitosan-ZnO'nun SEM görüntüsü ve EDX analizi

(Figure 1. SEM image and EDX analysis of Chitosan-ZnO)

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Karakterizasyon sonuçları

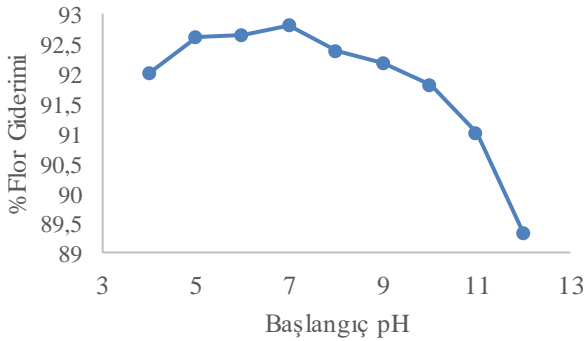
Hazırlanan ZnO katkılı Kitosanın flor adsorpsiyonundan önce SEM fotoğrafları ve EDX analizleri sırasıyla Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de adsorbentın gözenekli yapısı net bir şekilde görülmektedir. Bununla beraber EDX analizinde ise Zn varlığı doğrulanmıştır. Hazırlanan adsorbentın Chitosan ve Chitosan/ZnO FT-IR analizleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Chitosan da FT-IR 3300  $\text{cm}^{-1}$  piki -OH gruplarını, 3000  $\text{cm}^{-1}$  -NH<sub>2</sub> titreşimini göstermektedir. CH<sub>2</sub> bükülmesi ve CH<sub>3</sub> simetrik deformasyonları, yaklaşık 1436  $\text{cm}^{-1}$  bantların varlığı ile doğrulanmıştır (Alhosseini et al., 2012). Ch-ZnO FTIR spektrumunda, Zn-O bağının karakteristik gerilme moduna 400  $\text{cm}^{-1}$  ile 500  $\text{cm}^{-1}$  arasında değişen önemli bir titreşim bandı görülür. 3400  $\text{cm}^{-1}$  ve 1400  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki pikler O-H bağını göstermektedir (Nagaraju et al., 2017).



Şekil 2. Adsorbentın FT-IR spektrumları. (Figure 2. FT-IR spectrum of adsorbent)

#### 3.2. Adsorpsiyon sonuçları

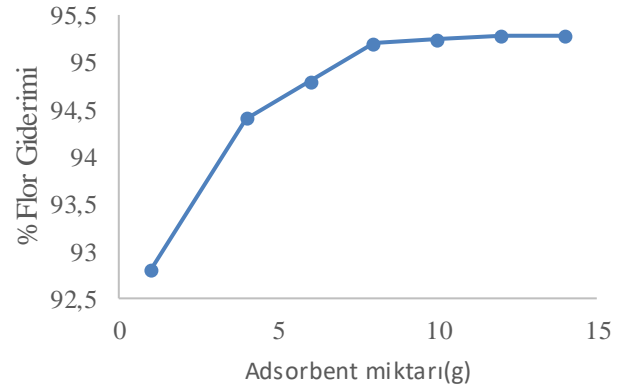
Adsorpsiyon deneylerinde ilk olarak pH etkisi araştırılmıştır. Buna göre 4-12 pH aralığında adsorpsiyon deneyleri yapılmıştır. pH, bir adsorbantın yüzey yükünün, çözeltideki adsorbat iyonizasyon derecesinin ve adsorbantın aktif bölgelerinde farklı fonksiyonel grupların ayrışmasının kontrol edilmesinde önemli bir rol oynar. pH'in adsorpsiyon üzerine etkisi için yapılan deneyler 60 dakikalık temas süresinde, 25 mg/L konsantrasyonda ve 2 g/L adsorbent kütlesi şartlarında yapılmıştır. En yüksek adsorpsiyon oranı pH 7 de %92,8 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. pH değişiminin % flor giderimine etkisi (Figure 3. Effect of pH change on % fluoride removal)

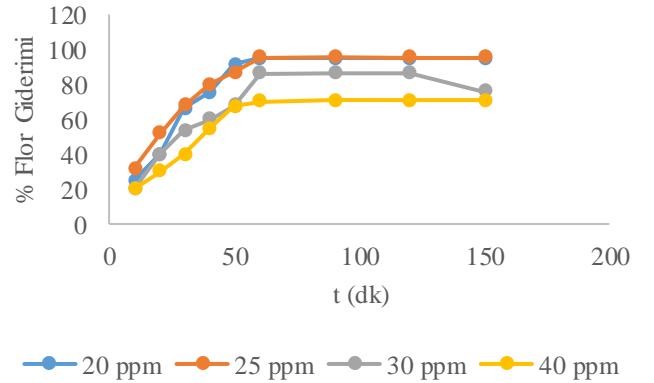
F<sup>-</sup> bir anyondur ve Chitosan-ZnO adsorbentler için pH-ZPC'nin 7,8 olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, 7,8'in altında, adsorbentların yüzeyi pozitif olarak yüklenir ve çözeltide anyonları çeker. Bu yüzden F<sup>-</sup> iyonu düşük pH larda daha iyi adsorplanır. Şekil 4'te adsorbent miktarının flor adsorpsiyonu üzerine etkisi gösterilmiştir. Bu deney serisi pH 7 de, 2 saat adsorpsiyon süresinde 25 mg/L şartlarında gerçekleşmiştir.

Adsorbent miktarının flor giderimini üzerine etkisini bulabilmek için 25 mg/l flor konsantrasyonu, pH 7, 120 dk adsorpsiyon süresi şartlarında incelenmiştir. Buna göre adsorbent miktarı doğal olarak arttıkça adsorplanma miktarında artmıştır. Ancak 8 g/L adsorbent miktarından sonra artış hızı çok düşmüştür. Bu yüzden bundan sonraki deneylerde 8 g/L olarak belirlenmiştir ve %95,2 yüzde flor giderimi elde edilmiştir.



Şekil 4. Adsorbent miktarının % flor giderimine etkisi (Figure 4. Effect of adsorbent amount on % fluoride removal)

Adsorpsiyon süresinin ve başlangıç konsantrasyonunun Adsorpsiyon üzerine etkisi Şekil 5 'te verilmiştir. Bu çalışmalar pH 7'de, 8g/L adsorbent miktarı ile gerçekleştirilmiştir. Analizler 60 dk sonrasında adsorpsiyon dengeye ulaşmıştır. Çünkü adsorbentler üzerinde bulunan aktif siteler dolması ve azalmasıdır. Bu sonuçlara göre en yüksek flor adsorplanması %95 ile 20 mg/L, en düşük adsorpsiyon %71 ile 40 mg/L başlangıç konsantrasyonlarında olmuştur.



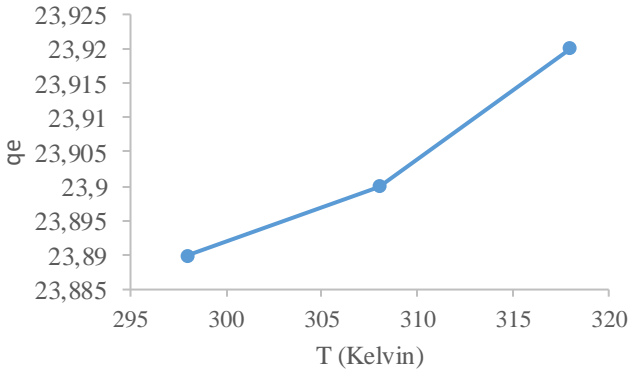
Şekil 5. Başlangıç konsantrasyonunun ve zamanın adsorpsiyona etkisi (Figure 5. Effect of initial concentration and time on adsorption)

#### 3.3. Sıcaklığın etkisi ve termodinamik sonuçlar

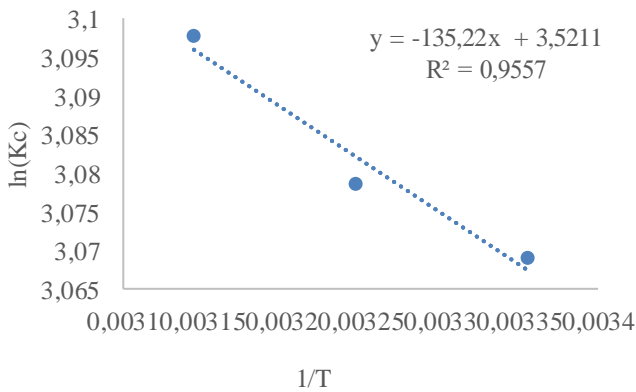
Sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi 20 mg/L başlangıç konsantrasyonunda 8 g/L adsorbent miktarı, 150 rpm çalkalama hızı ve 120 dk zaman ile gerçekleşmiştir. Sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi Şekil 6 da verilmiştir. Adsorpsiyon miktarının zamanla çok azda olsa arttığı görülmüştür.  $1/T$  ye karşı  $\ln(K_c)$  Şekil 7'de gösterilmiştir. Adsorpsiyonun termodinamik parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Tüm sıcaklıklarda  $\Delta G$ 'nin (-7.5, -7.8 ve -8.1 kJ/mol) negatif değeri, reaksiyonların doğada kendiliğinden olduğu sonucunu çıkarılmıştır. Genellikle Fiziksel adsorpsiyon izotermi için,  $\Delta G$  değerleri  $-20 < \Delta G < 0$  (kJ/mol) içinde rapor edildi ve  $-400 < \Delta G < -80$  (kJ/mol) kemisorpsiyon izoterm reaksiyonuna işaret edilmiştir. Ayrıca sıcaklık arttıkça  $\Delta G$ 'nin düştüğü gözlenmiştir, bu da daha yüksek sıcaklıklarda adsorpsiyonun uygulanabilirliğini göstermektedir. Entalpinin ( $\Delta H = 1.09$  kJ/mol) pozitif olması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu gösterir. Entropinin ( $\Delta S = 0.029$  kJ/mol) pozitif olması katı/çözelti arayüzünde adsorpsiyon çalışmaları sırasında rastgeleliğin artacağını gösterir(Kavci et al., 2021).

Tablo 2. Flor adsorpsiyonunun termodinamik parametreleri (Table 2. Thermodynamic parameters of fluorine adsorption)

T (Kelvin)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol)	$\Delta G$ (kJ/mol K)
298	1.266	0.042	-11.25
308	1.266	0.042	-11.67
318	1.266	0.042	-12.09



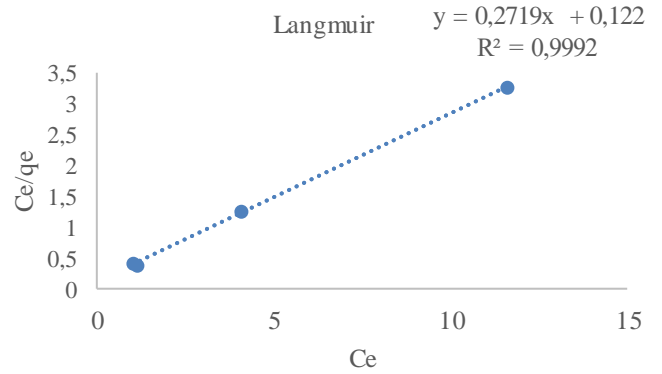
Şekil 6. Sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi (Figure 6. Effect of temperature on adsorption)



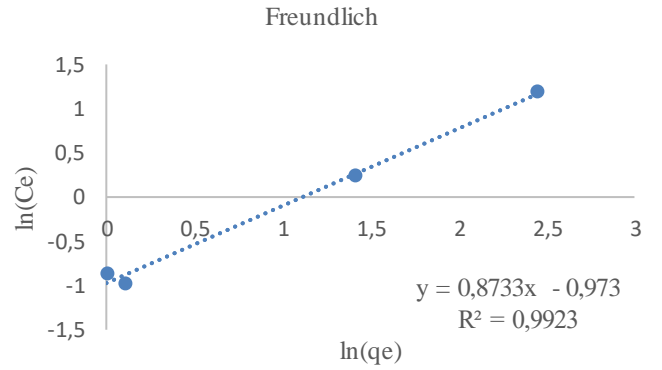
Şekil 7.  $\ln(K_c)$  karşılık  $1/T$  grafiği (Figure 7.  $\ln(K_c)$  vs  $1/T$  graph)

### 3.4. Adsorpsiyon İzoterm sonuçları

Hazırlanan Ch-ZnO adsorbentlerin flor adsorplama üzerine Langmuir ve Freundlich modelleri parametrelerinin değerleri ve grafikleri Tablo 3'te verilmiştir. Langmuir ve Freundlich modelleri birbiri le karşılaştırıldığında Langmuir  $R^2=0.9992$  olduğu, Freundlich ( $R^2=0.9923$ ) göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da bu adsorpsiyon mekanizmasının Langmuire uygun olduğunu göstermiştir. Bu da flor ile adsorbent yüzeyleri arasındaki adsorpsiyonun yüzeyde tek katmanlı bir kaplama olarak gerçekleştiğini gösterir. Bununla beraber  $R_L$  değerlerine bakıldığında 0.02 ile 0.01 arasında değiştiği görülmüştür bununada adsorpsiyon için sadece uygun olduğunu gösterir(Kavci et al., 2021).



Şekil 8. Langmuir izoterm eğrisi (Figure 8. Langmuir isotherm curve)



Şekil 9. Freundlich izoterm eğrisi (Figure 9. Freundlich isotherm curve)

Tablo 3. İzoterm parametre değerleri (Table 3. Isotherm parameter values)

İzoterm	Parametreler	Değerleri
Langmuir	$R^2$	0.9992
	$q_{max}$ (mg/g)	3.67
	$K_L$	2.27
Freundlich	$R^2$	0.9923
	$K_F$ (L/mg)	9.39
	n	1.14

### 3. Sonuç

ZnO katkılı kitosan polimeri adsorbentleri sentezlendi. Elde edilen bu adsorbentlerle flor sulu çözeltilerinden giderimi üzerine çalışılmıştır. FT-IR analizi ile yapıların doğruluğu sağlanmıştır. SEM görüntüleri gözenekli yapıları görülmüştür. EDX analizinde ise ZnO varlığı tespit edilmiştir. Buna göre optimum pH 7 olarak bulunmuştur. pH 7' de en yüksek adsorpsiyon gerçekleşmiş ve sonrasında pH arttıkça adsorpsiyon önemli miktarda düşmüştür. Bu çalışmada adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon miktarı artmıştır. Ancak 8 g/L adsorbent miktardan sonra artış hızı çok düşmüştür. Bu yüzden en uygun adsorbent miktarı 8 g/L olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında 20 mg/L flor konsantrasyonunda %95 flor giderimi sağlanmıştır. Bu çalışmanın Langmuir isotherm modeline uygun olduğu ve  $q_{max}=3,67$  mg/g olarak hesaplanmıştır.

### Kaynakça

Alhosseini, S. N., Moztafzadeh, F., Mozafari, M., Asgari, S., Dodel, M., Samadikuchaksaraei, A., Kargozar, S., & Jalali, N. (2012). Synthesis and characterization of electrospun polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds modified by blending with chitosan for neural tissue engineering. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 25.

Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2009). Applications of chitin-and chitosan-derivatives for the detoxification of water and wastewater—a short review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 152(1–2), 26–38.

Chatterjee, S., Lee, D. S., Lee, M. W., & Woo, S. H. (2009). Nitrate removal from aqueous solutions by cross-linked chitosan beads conditioned with sodium bisulfate. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 508–513.

Chatterjee, S., & Woo, S. H. (2009). The removal of nitrate from aqueous solutions by chitosan hydrogel beads. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2–3), 1012–1018.

Crimi, G. (2005). Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in Polymer Science*, 30(1), 38–70.

Das, N., Pattanaik, P., & Das, R. (2005). Defluoridation of drinking water using activated titanium rich bauxite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.06.045>

Fan, X., Parker, D. J., & Smith, M. D. (2003). Adsorption kinetics of fluoride on low cost materials. *Water Research*, 37(20), 4929–4937. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.014>

Ghorai, S., & Pant, K. K. (2004). Investigations on the column performance of fluoride adsorption by activated alumina in a fixed-bed. *Chemical Engineering Journal*, 98(1), 165–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2003.07.003>

Jaafari, K., Ruiz, T., Elmaleh, S., Coma, J., & Benkhouja, K. (2004). Simulation of a fixed bed adsorber packed with protonated cross-linked chitosan gel beads to remove nitrate from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 99(2), 153–160.

Kavci, E., Erkmén, J., & Bingöl, M. S. (2021). Removal of methylene blue dye from aqueous solution using citric acid modified apricot stone. *Chemical Engineering Communications*, 1–16.

Kurita, K. (2006). Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. *Marine Biotechnology*, 8(3), 203–226.

Li, Y.-H., Wang, S., Zhang, X., Wei, J., Xu, C., Luan, Z., & Wu, D. (2003). Adsorption of fluoride from water by aligned carbon nanotubes. *Materials Research Bulletin*, 38(3), 469–476. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(02\)01063-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-5408(02)01063-2)

Lv, L., He, J., Wei, M., Evans, D. G., & Zhou, Z. (2007). Treatment of high fluoride concentration water by MgAl- $CO_3$  layered double hydroxides: Kinetic and equilibrium studies. *Water Research*, 41(7), 1534–1542. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.033>

Medellin-Castillo, N. A., Leyva-Ramos, R., Ocampo-Perez, R., Garcia de la Cruz, R. F., Aragon-Piña, A., Martinez-Rosales, J. M., Guerrero-Coronado, R. M., & Fuentes-Rubio, L. (2007). Adsorption of Fluoride from Water Solution on Bone Char. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(26), 9205–9212. <https://doi.org/10.1021/ie070023n>

Meenakshi, S., Sundaram, C. S., & Sukumar, R. (2008). Enhanced fluoride sorption by mechanochemically activated kaolinites. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1), 164–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.031>

Meenakshi, S., & Viswanathan, N. (2007). Identification of selective ion-exchange resin for fluoride sorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 308(2), 438–450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.12.032>

Miretzky, P., & Cirelli, A. F. (2011). Fluoride removal from water by chitosan derivatives and composites: A review. *Journal of Fluorine Chemistry*, 132(4), 231–240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2011.02.001>

Nagaraju, G., Udayabhanu, Shivaraj, Prashanth, S. A., Shastri, M., Yathish, K. v, Anupama, C., & Rangappa, D. (2017). Electrochemical heavy metal detection, photocatalytic, photoluminescence, biodiesel production and antibacterial activities of Ag–ZnO nanomaterial. *Materials Research Bulletin*, 94, 54–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.05.043>

Roy, S., & Dass, G. (2013). Fluoride contamination in drinking water—a review. *Resour. Environ*, 3(3), 53–58.

Varma, A. J., Deshpande, S. v, & Kennedy, J. F. (2004). Metal complexation by chitosan and its derivatives: a review. *Carbohydrate Polymers*, 55(1), 77–93.

Xie, Y., Li, S., Wang, F., & Liu, G. (2010). Removal of perchlorate from aqueous solution using protonated cross-linked chitosan. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 56–63.



## **Sağlıklı ve preeklampitik plasental dokularda oksidatif stres parametrelerinin ve nitrik oksitin değerlendirilmesi**

Ozlem Aydin Berktaş<sup>1</sup>, Sadettin Oguzhan Tutar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Healthy Science, Department of Nursing, Giresun University, 28100, Giresun, Turkey. 0000-0002-7235-4890, ozlem.berktas@giresun.edu.tr

<sup>2</sup>Faculty of Medicine, Department of Obstetrics and Gynecology, Giresun University, 28100, Giresun, Turkey. 0000-0003-0208-6680, oguzhantutar48@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 24 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1092209)

**ATIF/REFERENCE:** Berktaş, A. O., Tutar, S. O. (2022). The evaluation of oxidative stress parameters and nitric oxide in healthy and preeclamptic placental tissues. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 94-98.

### **Öz**

Bu çalışmada preeklampitik gebelerde oksidatif hasar parametreleri araştırıldı ve sağlıklı dokularla karşılaştırıldı. 53 preeklampitik ve 53 sağlıklı gebe plasentada antioksidan enzimler belirlendi. Plasenta dokusunda serbest oksijen radikallerinin hasarı, antioksidan enzim sistemleri (lipid peroksidasyon (LPO), glutatyon (GSH) ve katalaz (CAT) miktarları, miyeloperoksidaz (MPx) enzim aktiviteleri ve nitrik oksit düzeyleri ölçülerek belirlendi. Preeklampsisi geçirmiş gebede LPO düzeyleri sağlıklı gebelere göre yükselmiştir. Sağlıklı plasenta dokularında GSH miktarı yüksek iken, preeklampsisi dokularında oldukça düşük bulundu. Preeklampsili kadınların plasental dokularında CAT, MPx enzim aktiviteleri ve NO düzeyleri oldukça yüksek iken, sağlıklı dokularda düşük bulunmuştur. Plasental dokularda antioksidan enzim aktiviteleri ve miktarları gruplar arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bu veriler doğrultusunda oksidatif stres parametrelerinin doku düzeyindeki hasarı oldukça iyi gösterdiğini söyleyebiliriz. Sonuç olarak elde edilen veriler plasenta dokusunda oksidatif hasarı göstermekte ve antioksidan mekanizmanın çalıştığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Preeklampsisi, Oksidatif hasar, Reaktif oksijen türleri, Antioksidan enzimler.

## **The evaluation of oxidative stress parameters and nitric oxide in healthy and preeclamptic placental tissues**

### **Abstract**

In the present study, oxidative damage parameters in preeclamptic pregnant women were investigated and compared with healthy tissues. Antioxidant enzymes were determined in 53 preeclamptic and 53 healthy pregnant placentas. The damage of free oxygen radicals in the placental tissue was determined by measuring by antioxidant enzyme systems [The amounts of lipid peroxidation (LPO), glutathione (GSH) and catalase (CAT), myeloperoxidase (MPx) enzyme activities and nitric oxide levels (NO)]. The LPO levels increased in the pregnant woman who has had preeclampsia compared with healthy pregnant. While the amount of GSH was high in healthy placental tissues, it was found to be quite low preeclampsia tissues. While CAT, MPx enzyme activities and levels of NO were quite high in the placental tissues of women with preeclampsia, they were found to be low in healthy tissues. The antioxidant enzyme activities and amounts show significant differences between groups in placental tissues. In line with these data, we can say that oxidative stress parameters show the damage at the tissue level quite well. As a result, the data obtained show oxidative damage in the placental tissue and indicate that the antioxidant mechanism works.

**Keywords:** Preeclampsia, Oxidative damage; Reactive oxygen species; Antioxidant enzymes.

## 1. Introduction

Preeclampsia is the most complex multisystem disorder among all pregnancy complications associated with hypertension and proteinuria that occur during pregnancy. Since it is a system disorder, the cause has not been determined exactly (Burton and Jauniaux, 2015). In particular, studies are on enzyme systems, and their effects on free radicals and oxidative stress are now very popular. Preeclampsia is characterized as an oxidative damage that develops due to the increase of free oxygen radicals and the decrease of antioxidant sources. Some studies suggest that placental oxidative stress may play a role in the etiopathogenesis of preeclampsia (Hauth et al., 2000). In cases where reactive oxygen species increase, the body's defense system is defeated and oxidative stress occurs. ROS (reactive oxygen species) are molecules containing unpaired electrons in their outer orbitals (hydroxyl radical, superoxide anion radical, and nitric oxide radical). In addition to these radicals, there are reactive oxygen species such as hydrogen peroxide and peroxynitrite, but also structures containing unpaired electrons. They attack phospholipid structures, especially by acting on the cell membrane. They react with polyunsaturated fatty acids, forming lipid peroxides. Thus, it has been widely cited as a promoter of lipid peroxidation in relation to preeclampsia (Hung et al., 2002). The decreased uteroplacental perfusion results in ischemic damage to the placenta. may be a catalyst for increased oxygen radical-based lipid peroxidation to trigger oxidative stress in the placenta.

Placenta; It is a specialized organ that coordinates adaptation during pregnancy and manages normal growth and development (Burton and Jauniaux, 2015). The placenta, which provides continuous two-way exchange between mother and baby, provides ion transport and the passage of waste products into circulation (Lanoix et al., 2008; Myatt, 2006). It plays a role in the synthesis of all molecules necessary for a healthy pregnancy and ensures the continuation of many reactions thanks to its multiple enzyme systems. Thanks to these enzyme systems, foreign chemicals that pass through the placenta can be modified (Myatt, 2006; Syme et al., 2004). Therefore, in the present study, antioxidant enzyme systems were determined in preeclamptic placentas to help elucidate the oxidative stress mechanism, which is thought to have important roles in the pathogenesis of preeclampsia.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Experimental Procedure

The preeclamptic pregnant placental tissues were obtained from Giresun Gynecology and Pediatrics Training and Research Hospital. The experiment was carried out with the permission of Gumushane University clinical research ethics committee (09.06.2021/4). The institutional permission for the study was obtained from Giresun University Gynecology and Pediatrics Training and Research Hospital with the number E-87982892-929.

#### 2.1.1. Chemicals

All chemicals used in the experiment were obtained from Sigma-Aldrich.

#### 2.1.2. The tissue samples

Who applied to Giresun University Gynecology and Pediatrics Training and Research Hospital, Department of Obstetrics and Gynecology outpatient clinic, filled out the informed consent form, and volunteered two groups, healthy and preeclamptic were formed from pregnant women. In the first of these experimental groups, there were 53 preeclamptic pregnant women and in the other 53 healthy pregnant women. The tissue samples taken from these groups at the time of birth were stored at -80°C and then the biochemical parameters were measured. The placental tissues were ground with liquid nitrogen and homogenized with appropriate homogenates (different for each parameter). The homogenates were centrifuged for each enzyme using a refrigerated centrifuge as specified in the literature. The clear supernatant was also used for enzyme activities such as CAT (catalase), SOD (superoxide dismutase), NOx (nitric oxide) enzymes activities and the levels of GSH (glutathione) and LPO (lipid peroxidase).

#### 2.1.3. Biochemical investigation of placental tissues

Total glutathione (GSH) determination: GSH levels in placental tissues were measured in accordance with the literature (Sedlak and Lindsay, 1968).

Lipid peroxidation (LPO) determination: LPO levels were determined using thiobarbituric acid based on the measurement principle of the variability of the MDA level in the medium (Ohishi and Yagi, 1979).

Catalase (CAT) activity: Catalase activity was measured according to the appropriate literature. The results were obtained by measuring at 240 nm in the homogenate obtained by adding appropriate buffers (Aebi, 1984).

Myeloperoxidase (MPx) activity: The supernatants prepared according to the principle will be used as the enzyme source in the measurement of MPx activity. The absorbance will be recorded by measuring at 460 nm wavelength at 30 second intervals and for 5 minutes (Priebat et al., 1982).

NOx (Nitric oxide) levels: The NOx levels in the samples were determined by the spectrophotometric method described by Miranda et al., 2001 (Miranda et al., 2001).

#### 2.1.4. Statistical analyses

The number of samples calculated according to the G power analysis test was calculated in the appropriate SPSS program. Statistical differences were expressed and significance levels independent sample t test results at  $p < 0.05$  were considered significant.

## 3. Results

In the current study, 106 pregnant placentas were used. The sample number was adjusted to include 53 preeclamptic pregnant and 53 healthy pregnant women. The oxidative stress in placenta tissues obtained from pregnant women was expressed by the parameters of antioxidant enzyme systems. The enzyme activities in placental tissues are shown in the Table 1.

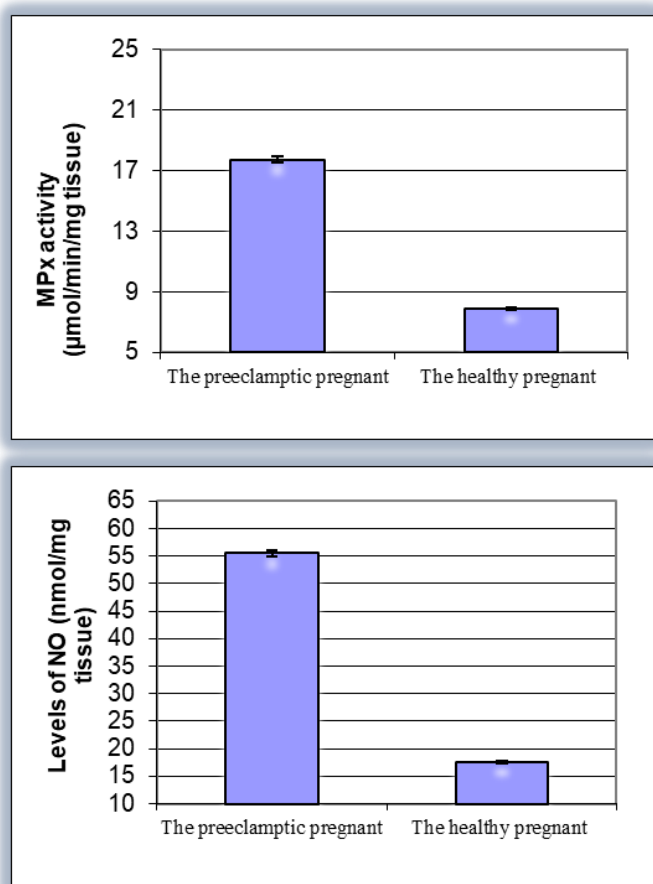
**Table 1:** The oxidative stress parameters, the levels of GSH and LPO; the enzyme activities of CAT, MPx and NOx in placental tissues taken from pregnant women with preeclampsia.

Means in the same column by the same letter are not significantly different to the Duncan test  $p < 0.05$ . Mean damage

Treatment	N	Amount of LPO (nmol/g tissue)	Amount of GSH (nmol/mg tissue)	CAT activity (mmol/min/mg tissue)
The preeclamptic pregnant placentas	53	21.4±0.2	17.4±0.18	80.53±0.2
The healthy pregnant placentas	53	15.6±0.1	24.5±0.14	69.49±0.1

index ± SE of fifty-three placental tissues in each group.

As seen in Table 1, LPO level, which is an indicator of tissue damage, was found to be quite high in pregnant women with preeclampsia compared to healthy tissue. Parallel to LPO, CAT and NOx enzyme activities in tissues are also quite high in preeclamptic pregnant tissues. While GSH level was significantly high in healthy pregnant placental tissues, it was found to be significantly low in preeclamptic pregnant women. Likewise, MPx crushing activity, which is an important indicator of neutrophil infiltration, was found to be as low as GSH in tissues (Fig. 1).



**Fig. 1.** The oxidative stress parameters, the levels of NO and the enzyme activities of MPx in placental tissues. Means in the same

column by the same letter are not significantly different to the One-way ANOVA ( $p < 0.05$ ).

## 4. Discussion

Preeclampsia is a multisystemic syndrome that occurs after the 20th week of pregnancy and is characterized by hypertension and proteinuria (Young et al., 2010).

More than sixty thousand maternal deaths worldwide are caused by preeclampsia every year, especially in developing countries. Preeclampsia, which is a pregnancy-specific disease, disappears after delivery. It is important to identify which patients are at risk for the development of preeclampsia in order to identify cases that may benefit from follow-up and treatment, but the pathogenesis of preeclampsia is still not fully understood. According to some studies, it is stated that preeclampsia is caused by changes in placental microcirculation (Young et al., 2010).

The placenta, which provides the bilateral relationship between mother and fetus during pregnancy, is a specialized endocrine organ. The passage of nutrients, ions and gases necessary for normal fetal development, and the incorporation of waste materials into the circulation are provided here. In order to have a healthy pregnancy period, the synthesis of molecules such as hormones, proteins and steroids takes place in the placenta (Lanoix et al., 2008; Syme et al., 2004). In particular, many enzymes responsible for drug oxidation, hydrolysis, reduction and conjugation are found in the placenta. Thanks to these enzyme systems, the functioning of the chemical substances coming to the placenta is directed. Mostly, these enzymes modify the compounds formed by the oxygen molecule that aerobic organisms are constantly exposed to. In all organisms, there is a balance between enzyme systems and free radicals, and when this balance is disturbed, free oxygen radicals appear. The free radical reactions cause oxidation of lipids, proteins and polysaccharides and DNA damage, which exerts significant toxic biological effects (Saugstad, 1996). It is very natural that the production of oxygen radicals increases during the pregnancy period when tissue oxygen demand increases (Gitto et al., 2009; Chamy et al., 2006). During this period, the main source of oxidative stress is the placenta. Because placental lipid peroxides pass into the maternal circulation (Saugstad, 1996). But; In normal pregnancy, lipid peroxides in the placenta are under control by antioxidant enzymes (Walsh, 1997). There are high levels of antioxidant enzymes such as SOD, CAT, GPx, MPx and glutathione reductase in the placenta (Walsh, 1997; Adiga et al., 2007). However, the production of lipid peroxides is quite high in the placental tissue, especially in preeclamptic pregnant women. Accordingly, it was determined in some studies that malondialdehyde (MDA) increased and enzymatic and non-enzymatic antioxidants decreased (Walsh, 1997; Adiga et al., 2007). In addition, it was determined that the activity of nitric oxide synthase, a secondary enzyme in both placenta and plasma, increased (Lowe, 2000; Bowen et al., 2001; Moncada, 1992).

In the current study, pregnant women were divided into two groups (preeclamptic and healthy) and, oxidative damage in placental tissues compared. Primarily, the level of lipid peroxidation was investigated in preeclamptic pregnant tissues. MDA level, which is an indicator of lipid peroxidation, was found to be significantly higher than in healthy pregnant women (Saugstad, 1996). It is natural that there is an increase in free radical production according to the increasing oxygen demand during pregnancy. In particular, they seek help from enzymatic

and non-enzymatic enzyme systems in order to minimize the damage during the oxidative stress process. Since LPO present in the placenta during normal pregnancy needs more defense than the stress state of the environment, it tries to quickly block the reactive oxygen system. Therefore, it tries to eliminate the damage of the environment by secreting more MDA. The reason why LPO level is higher than healthy pregnant placentas is that it stimulates the antioxidant system to quickly eliminate stress. In many studies, results were obtained that are compatible with our findings (Saugstad, 1996; Walsh, 1997; Adiga et al., 2007).

Against the increasing reactive oxygen species in the tissues, the amount of GSH takes action to neutralize the radicals. Meanwhile, GSH is oxidized by donating electrons to the unpaired electrons of the radicals and turns into oxidized glutathione (GSSG). This structure is converted to GSH by the GR enzyme. Therefore, if radical production is high in the environment, the amount of oxidized GSH will also be high, and the amount is expected to be low compared to healthy pregnant placentas. Consistent with the literature, the amount of GSH in preeclamptic tissues was also found to be significantly low (Lowe, 2000; Bowen et al., 2001).

Again, the CAT enzyme, which is found in a significant amount in the tissues, eliminates the effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, which has a weak character. Normally not a strong radical, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> can be a very strong source in the presence of transition metals such as Fe<sup>+2</sup> and Cu<sup>+2</sup>. For this reason, during the production of reactive oxygen, the CAT enzyme eliminates the damage by converting the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formed in the environment into water and molecular oxygen. Therefore, the catalase enzyme, which is present at certain levels in healthy tissues, shows more activity in case of stress and tries to reduce the amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. In line with this information, it is expected that CAT activity is higher in preeclamptic tissues compared to healthy tissues (Saugstad, 1996; Walsh, 1997; Adiga et al., 2007). Another enzyme important in the management of oxidative stress is MPx. In case of tissue damage, this enzyme releases neutrophils to the area and creates hypochlorous acid (HOCl) from H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and chloride ions. HOCl increases the production of hydroxyl radicals. Hydroxyl radicals, as it is known, are very important oxygen radicals and cause LPO by showing dangerous and harmful effects on biomolecules. According to the data obtained, while MPx activity is quite low in healthy pregnant women, the activity is very high in preeclamptic tissues. Our findings are consistent with many studies.

Nitric oxide, synthesized from L-arginine by a family of enzymes known as NO synthases (NOS), is an important messenger molecule that plays a critical role in a wide variety of physiological functions, including neuronal transmission, vascular relaxation, immune modulation, and cytotoxicity (Moncada, 1992). Nitric oxide and its by-products (RNM) from antioxidant enzyme systems inhibit mitochondrial respiration; It maintains the current balance by stimulating or inhibiting cell death. While NO production at physiological concentration is necessary for the continuation of functions; moderate and high levels trigger oxidative stress (Tresguerres et al., 2008). NO is a molecule responsible for oxidative damage and many studies have shown increased oxidative stress in various tissues. In the present study, it was determined that NOx activity increased proportionally in the placental tissues of preeclamptic pregnant women compared to healthy tissues (Lowe, 2000; Bowen et al., 2001; Furchgott and Zawadzki, 1980; Palmer et al., 1987). In line with all these data, it can be said that preeclamptic pregnant women are exposed to oxidative stress compared to healthy

pregnant women. We believe that the repair of this condition, the cause of which is still unknown, can be started by preventing free radical damage.

### Compliance with Ethical Standards

**Ethical Approval:** The experiment was carried out with the permission of Gumushane Univ. Clinical Research Ethics Committee (09.06.2021/4).

**Financial support:** The financial support of this study was provided by the researchers themselves.

**Conflict to Interest:** All authors declare that there are no conflicts of interest.

**Authors' Contributions:** The collection of placental tissues provided by Dr. O. T. The biochemical analysis of tissue samples and measurement of parameters were carried out by Dr. O. B.

## References

- Adiga, U., D'souza, V., Kamath, A., & Mangalore, N. (2007). Antioxidant activity and lipid peroxidation in preeclampsia. *J Chin Med Assoc*, 70, 435–438. doi: 10.1016/S1726-4901(08)70034-0.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Method Enzymol*, Lester, P., Ed. Academic Press: Vol. Volume 105, 121-126. doi: 10.1016/s0076-6879(84)05016-3.
- Bowen, R.S., Moodley, J., Dutton, M.F., & Theron, A.J. (2001). Oxidative stress in pre-eclampsia. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 80, 719–725. 20. doi: 10.1034/j.1600-0412.2001.080008719.x.
- Burton, G.J., & Jauniaux, E. (2015). What is the placenta? *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 213:S6.e1-S6. e4. doi: 10.1016/j.ajog.2015.07.050.
- Chamy, V.M., Lepe, J., Catalan, A., Retama, I D., Escobar, J.A., & Madrid, E.M. (2006). Oxidative stress is closely related to clinical severity of pre-eclampsia. *Biol Res*, 39:229–236. disease. doi: 10.4067/s0716-97602006000200005.
- Furchgott, R.F., & Zawadzki, J.V. (1980). The obligatory role of the endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. *Nature*, 288:373-376. DOI: 10.1038/288373a0.
- Gitto, E., Pellegroni, S., Gitto, P., Barberi, I., & Reiter, R.J. (2009). Oxidative stress of the newborn in the pre- and postnatal period and the clinical utility of melatonin. *J Pineal Res*, 46: 128–139. doi: 10.1111/j.1600-079X.2008.00649.x.
- Hauth, J.C., Ewell, M.G., & Levine, R.J, et al. Pregnancy outcomes in healthy nulliparas who developed hypertension. (2000). Calcium for Preeclampsia Prevention Study Group. *Obstet Gynecol*, 95:24–8. doi: 10.1016/s0029-7844(99)00462-7.
- Hung, T.H., Skepper, J.N., & Charnock-Jones, D.S, et al. (2002). Hypoxia– reoxygenation: a potent inducer of apoptotic changes in the human placenta and possible etiological factor in preeclampsia. *Circ Res*, 90:1274–81. doi: 10.1161/01.res.0000024411.22110.aa.
- Lanoix, D., Beghdadi, H., Lafond, J., & Vaillancourt, C. (2008). Human placental trophoblasts synthesize melatonin and express its receptors. *Journal of Pineal Research*, 45:50–60. doi: 10.1111/j.1600-079X.2008.00555.x. Epub 2008 Feb 25.
- Lowe, D.T. (2000). Nitric oxide dysfunction in the pathophysiology of pre-eclampsia. *Nitric Oxide*, 4(4):441–448. doi: 10.1006/niox.2000.0296.



- Miranda, K.M., Espey, M.G., Wink, D.A. (2001). "A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite". *Nitric Oxide*, 5(1):62-71. doi: 10.1006/niox.2000.0319.
- Moncada, S. (1992). The L-arginine: nitric oxide pathway. *Acta Physiol Scand*, 145:201–227. doi:10.1111/j.1748-1716.1992.tb09359.x
- Myatt, L. (2006). Placental adaptive responses and fetal programming. *J Physiol*, 25-30. doi: 10.1113/jphysiol.2006.104968.
- Ohishi, H., & Yagi, K. (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem*, 95:351-358. doi: 10.1016/0003-2697(79)90738-3.
- Palmer, R.M.J., Ferrige, A.G., & Moncada, S. (1987). Nitric oxide release account for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature*, 327:524-526. doi: 10.1038/327524a0.
- Priebat, P.P., Christensen, D.A., & Rothstein, R.D. (1982). Measurement of cutaneous inflammation: Estimation of neutrophil content with an enzyme marker. *J Invest Dermatol*, 78,206–20. doi: 10.1111/1523-1747.ep12506462.
- Saugstad, O.D. (1996). Mechanisms of tissue injury by oxygen radicals: implications for neonatal disease. *Acta Paediatrica*, 85:1–4. doi: 10.1111/j.1651-2227.1996.tb13880.x.
- Sedlak, J., & Lindsay, R.H. (1968). Estimation of total, protein-bound, and nonprotein sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent. *Anal Biochem*, 25(1):192-205. DOI: 10.1016/0003-2697(68)90092-4.
- Syme, M.R., Paxton, W., & Keelan, J.A. (2004). Drug transfer and metabolism by the human placenta. *Clin Pharmacokinet*, 43(8): 487-514. doi: 10.2165/00003088-200443080-00001.
- Tresguerres, J.A., Kireev, R., Tresguerres, A.F., Borrás, C., Vara, E., Ariznavarreta, C. (2008). Molecular mechanisms involved in the hormonal prevention of aging in the rat. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 108(3-5):318-326. doi: 10.1016/j.jsbmb.2007.09.010.
- Walsh, S.W. (1997). The role of oxidative stress and antioxidants in preeclampsia. *Contemporary OB/GYN*, 42:113–124. 48.
- Young, B.C., Levine, R.J., Karumanchi, S.A. (2010). Pathogenesis of Preeclampsia. *Annu Rev Pathol*, 5:173–92. doi: 10.1146/annurev-pathol-121808-102149.



## 4-Boyutlu Lorentz-Minkowski Uzayında Null Olmayan Ortak İzoasimptotik Eğrili Hiperyüzey Aileleri

Çiğdem Turan<sup>1\*</sup>, Mustafa Altın<sup>2</sup>, H. Bayram Karadağ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, Fen Bilim Enstitüsü, Matematik Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5224-730X), [cigdemturan427@gmail.com](mailto:cigdemturan427@gmail.com)  
<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bingöl Türkiye (ORCID: 0000-0001-5544-5910), [maltin@bingol.edu.tr](mailto:maltin@bingol.edu.tr)  
<sup>3</sup> İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6474-877X), [bayram.karadag@inonu.edu.tr](mailto:bayram.karadag@inonu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 11 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1093177)

**ATIF/REFERENCE:** Turan, C., Altın, M. & Karadağ, H. B. (2021). 4-Boyutlu Lorentz-Minkowski Uzayında Null Olmayan Ortak İzoasimptotik Eğrili Hiperyüzey Aileleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 99-109.

### Öz

Bu çalışmada,  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ve timelike  $\alpha = \alpha(s)$  eğrilerinden geçen hiperyüzeylerin parametrik denklemi, bu eğrilerin Frenet çatıları yardımıyla ifade edildi. Ayrıca  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında spacelike ve timelike eğrilerin hiperyüzey üzerinde ortak izoasimptotik olması için gerekli ve yeterli koşullar verilerek hiperyüzey aileleri oluşturuldu. Daha sonra sapma fonksiyonları yardımıyla elde edilen bu koşullar sadeleştirildi. Son olarak, örneklerle çalışma desteklendi ve belli iz düşüm metodları kullanılarak bu örneklerin grafikleri çizildi.

**Anahtar Kelimeler:** 4-Boyutlu Lorentz-Minkowski Uzayı, Spacelike ve Timelike İzoasimptotik Eğri, Hiperyüzey Aileleri.

## Hypersurfaces Families with Common Non-Null Isoasymptotic Curve in Lorentz-Minkowski 4-Space

### Abstract

In this study, the parametric equation of hypersurfaces passing through spacelike and timelike  $\alpha = \alpha(s)$  curves having non-null Frenet vectors in  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski space is expressed with the help of the Frenet frames of these curves. In addition, hypersurface families are formed by giving necessary and sufficient conditions for spacelike and timelike curves to be common isoasymptotic on the hypersurface in  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski space. Then, these conditions obtained with the help of marching-scale functions are simplified. Finally, the study is supported with examples and the graphs of these examples are drawn using certain projection methods.

**Keywords:** Lorentz-Minkowski 4-Space, Spacelike and Timelike Isoasymptotic Curve, Hypersurface Families.

\* Sorumlu Yazar: [cigdemturan427@gmail.com](mailto:cigdemturan427@gmail.com)

## 1. Giriş

Diferansiyel geometride önemli bir yere sahip olan eğriler ve yüzeyler teorisi, uygulama açısından oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olduğundan birçok bilim insanı tarafından çalışılmaktadır. Eğriler ve yüzeyler teorisinde, farklı uygulama alanlarında kullanılan birçok özel eğriden bir tanesi de asimptotik eğrilerdir. Asimptotik eğriler yüzeylerin analizinde asli doğrultuların manyetik sapmalarını belirlemek için faydalı bir araç olup diferansiyel geometri, astronomi, astrofizik, mimari ve CAD gibi farklı alanlarda uygulama imkânına sahiptir. Ayrıca Contopoulos "Asymptotic curves and escapes in Hamiltonian systems" isimli çalışmasında Lyapunov yörüngelerindeki asimptotik eğrilerin bulunması durumunda, yıldız sistemindeki yıldızların kaçan yörüngelerinin bulunabileceğini göstermiştir (Contopoulos 1990). Özellikle 3-boyutlu Öklid uzayında asimptotik eğrilerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Farin 1988, Latifi 2015, Hartman and Wintner 1951, Kitagawa 1988, Garcia and Tello 1997, Garcia et al. 1999).

Wang ve arkadaşlarının ayakkabı üretim maliyetini düşürmek için yaptıkları "Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic" isimli çalışması, eğriler ve yüzeyler teorisinin bir uygulaması olarak düşünülebilir. Bu çalışmada sapma fonksiyonları, herhangi bir eğri ve bu eğrinin Frenet çatısı yardımıyla belirli bir karakteristik özelliğe sahip yüzey aileleri oluşturulmuştur. Ayrıca parametrik olarak ifade edilen bu yüzey aileleri üzerinde eğrinin geodezik olması için gerekli koşullar incelenmiştir (Wang et al. 2004). Wang ve arkadaşlarının bu çalışmasından sonra konuyla ilgili 3 ve 4 boyutlu farklı uzaylarda birçok araştırma yapılmıştır. Örneğin 3 boyutlu Öklid uzayında; Rashad ve Abdel (2016) ortak asimptotik eğriye sahip yüzey ailesini inceleyip gerekli ve yeterli koşulları oluşturmuştur. Ayrıca, Bayram vd. (2012) ortak asimptotik eğrili yüzey ailesi bulma problemini incelemiştir. Kasap vd. (2008) yüzeylerin parametrik ifadesini bir ortak uzay geodesiğinin Frenet çatısının katsayılarını, sapma fonksiyonlarını kullanarak Wang'ın çalışmasını genellemiştir. Daha sonra Bayram ve Kasap ise (2014a) ve (2014b) çalışmalarında sırasıyla, 4-boyutlu Öklid uzayında ortak izogeodezik ve izoasimptotik eğrilere sahip hiperyüzeyleri incelemiştir. Bu çalışmalara ek olarak Öklid uzayında yüzey aileri üzerine (Ayvaci and Atalay 2020, Şenyurt et al. 2020, Atalay and Kasap 2016) gibi çalışmalar da yapılmıştır.

Yüzey aileleri ile ilgili Öklid uzayından farklı olarak Minkowski ve Galilean uzaylarında da çalışmalar mevcuttur. Kasap ve Akyıldız (2006) da, 3-boyutlu Minkowski uzayında ortak bir geodezik eğriye sahip olan yüzey ailelerini elde ederek sapma fonksiyonları için yeterli koşulları vermiştir. Şaffak ve Kasap (2009) ise ortak null geodezik eğrili yüzey ailesini incelemiştir. Bu çalışmalara ek olarak 3-boyutlu Minkowski uzayında Şaffak vd. (2013) yüzey ailelerini ortak bir asimptotik eğri ve üç tür sapma ölçek fonksiyonları ile ifade etmiştir. Minkowski uzayında yüzey aileri ile ilgili diğer bazı çalışmalar da (Ergün and Bayram 2019, Kocayigit and Çiçek 2015, Ergün et al. 2015, Turan et al. 2022) vardır. Ayrıca Galilean uzayında da hiperyüzey aileleriyle ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Örneğin, 3-boyutlu Galilean uzayında Yüzbaşı ile Bektaş (2016) ve Yüzbaşı (2016) da sırasıyla ortak geodezik ve ortak asimptotik eğrilerden geçen yüzey aileleri üzerine çalışmıştır. 4-boyutlu Galilean uzayında Yoon ve Yüzbaşı (2018) de verilen ortak izogeodezik eğrili hiperyüzey aileleri üzerine çalışarak bazı karakterizasyonlar vermiştir. Bu çalışmalara ek olarak Galilean

uzayında yüzey ailesi ile ilgili olarak çalışmalar da mevcuttur (Altın and Yüzbaşı 2020, Altın and Ünal 2020, Altın et al. 2021).

Bu makalede, 4-boyutlu Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ve timelike ortak izoasimptotik eğrilere sahip hiperyüzey aileleri oluşturulmuştur. Bu hiperyüzey aileleri üzerinde null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ve timelike bir eğrinin hem parametre eğrisi hem de asimptotik eğri olması için gerekli ve yeterli koşullar elde edilmiştir. Bulunan bu koşullar, özel sapma fonksiyonları yardımıyla yeniden oluşturulmuştur. Ayrıca elde edilen koşullar sayesinde izoasimptotik eğrili hiperyüzey aileleri için örnekler oluşturulmuş ve bu örnekleri üç boyuta iz düşürerek grafikleri çizilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, sonraki bölümlerde kullanılacak olan bazı temel kavramlar verilecektir.

**Tanım 1.**  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında

$$\vec{D} = (x_1, x_2, x_3, x_4),$$

$$\vec{F} = (y_1, y_2, y_3, y_4),$$

ve

$$\vec{G} = (z_1, z_2, z_3, z_4)$$

vektörleri için skaler çarpım ve vektörel çarpım sırasıyla;

$$g(\vec{D}, \vec{F}) = -x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3 + x_4y_4$$

ve

$$\vec{D} \wedge \vec{F} \wedge \vec{G} = - \begin{vmatrix} -e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \end{vmatrix} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$  ve  $\vec{e}_4$  vektörleri  $E_1^4$  de standart baz vektörleridir (Turgut and Yılmaz 2008).

**Tanım 2.**  $V$  bir skaler çarpım uzay ve  $\vec{u} \in V$  olsun.

$$\|\vec{u}\| = \left( g(\vec{u}, \vec{u}) \right)^{\frac{1}{2}}$$

eşitliği ile tanımlı  $\|\vec{u}\|$  reel sayıma  $\vec{u}$  vektörünün normu denir.

Ayrıca normu 1 olan vektöre de birim vektör denir (Turgut and Yılmaz 2009).

**Tanım 3.** Sıfırdan farklı  $\forall \vec{u}, \vec{v} \in E_1^4$  için

$$g(\vec{u}, \vec{v}) = 0,$$

ise  $\vec{u}$  ve  $\vec{v}$  vektörleri Lorentz anlamında diktir (ortogonaldir) denir (Turgut and Yılmaz 2009).

**Tanım 4.**  $\alpha : I \rightarrow E_1^4$  herhangi regüler bir eğri olmak üzere  $\alpha(s)$  eğrisine;  $g(\overline{\alpha}'(s), \overline{\alpha}'(s)) < 0$  ise timelike eğri,  $g(\overline{\alpha}'(s), \overline{\alpha}'(s)) > 0$  ise spacelike eğri ve  $g(\overline{\alpha}'(s), \overline{\alpha}'(s)) = 0$  ise null eğri denir. Burada  $\alpha'(s), \alpha(s)$  eğrisinin hız vektörüdür (Tozak 2010).

**Teorem 5.**  $\alpha = \alpha(s), E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında bir spacelike ya da timelike eğri olsun. Bu durumda  $\alpha$  eğrisinin  $\alpha(s)$  noktasındaki  $\{\overline{T}, \overline{N}, \overline{B}_1, \overline{B}_2, k_1, k_2, k_3\}$  Frenet takımı

$$T = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|},$$

$$N = \frac{\|\alpha'\|^2 \cdot \alpha'' - \varepsilon \cdot g(\alpha', \alpha'') \cdot \alpha'}{\|\|\alpha'\|^2 \cdot \alpha'' - \varepsilon \cdot g(\alpha', \alpha'') \cdot \alpha'\|},$$

$$B_1 = N \wedge T \wedge B_2,$$

$$B_2 = \mu \frac{T \wedge N \wedge \alpha''}{\|T \wedge N \wedge \alpha''\|},$$

$$k_1 = \frac{\|\|\alpha'\|^2 \cdot \alpha'' - \varepsilon \cdot g(\alpha', \alpha'') \cdot \alpha'\|}{\|\alpha'\|^4},$$

$$k_2 = \frac{\|T \wedge N \wedge \alpha''\| \cdot \|\alpha'\|}{\|\|\alpha'\|^2 \cdot \alpha'' - \varepsilon \cdot g(\alpha', \alpha'') \cdot \alpha'\|},$$

$$k_3 = \frac{g(\alpha^{(n)}, B_2)}{\|T \wedge N \wedge \alpha''\| \cdot \|\alpha'\|},$$

dir. Burada  $[\overline{T}, \overline{N}, \overline{B}_1, \overline{B}_2]$  matrisinin determinantını +1 yapmak için  $\mu = -1$  ya da  $\mu = 1$  olarak alınır ve  $\langle \alpha', \alpha' \rangle > 0 \Rightarrow \varepsilon = 1, \langle \alpha', \alpha' \rangle < 0 \Rightarrow \varepsilon = -1$  dir.  $E_1^4$  de  $\{\overline{T}, \overline{N}, \overline{B}_1, \overline{B}_2, k_1, k_2, k_3\}$  olarak verilen Frenet takımı sırasıyla,  $\alpha$  eğrisinin  $\alpha(s)$  noktasındaki tanjant vektörü, asli normal vektörü, binormal vektörü, trinormal vektörü, birinci, ikinci ve üçüncü eğriliklerdir (Turgut and Yılmaz 2008, Ali 2010).

Şimdi  $E_1^4$  de null olmayan Frenet vektörlerine sahip spacelike ve timelike  $\alpha = \alpha(s)$  eğrilerinin  $\{\overline{T}, \overline{N}, \overline{B}_1, \overline{B}_2\}$  Frenet çatısının türev denklemleri verilecektir (Walrave 1995).

İlk olarak,  $\alpha$  eğrisi  $E_1^4$  de bir spacelike eğri olsun. Bu durumda  $\alpha$  eğrisinin  $\alpha(s)$  noktasındaki asli normal, binormal ve trinormal vektörleri spacelike ve timelike vektör iken Frenet türev denklemleri aşağıdaki gibidir.

**Durum 1.**  $\alpha$  eğrisi,  $E_1^4$  de bir spacelike eğri ve asli normal vektörü timelike olsun. Bu durumda  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin Frenet türev denklemi

$$\begin{bmatrix} \overline{T}'(s) \\ \overline{N}'(s) \\ \overline{B}_1'(s) \\ \overline{B}_2'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & 0 & 0 \\ k_1 & 0 & k_2 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 & k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{T}(s) \\ \overline{N}(s) \\ \overline{B}_1(s) \\ \overline{B}_2(s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

dir.

**Durum 2.**  $\alpha$  eğrisi,  $E_1^4$  de bir spacelike eğri ve binormal vektörü timelike olsun. Bu durumda  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin Frenet türev denklemi

$$\begin{bmatrix} \overline{T}'(s) \\ \overline{N}'(s) \\ \overline{B}_1'(s) \\ \overline{B}_2'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & 0 & k_2 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 & k_3 \\ 0 & 0 & k_3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{T}(s) \\ \overline{N}(s) \\ \overline{B}_1(s) \\ \overline{B}_2(s) \end{bmatrix} \quad (3)$$

dir.

**Durum 3.**  $\alpha$  eğrisi,  $E_1^4$  de bir spacelike eğri ve trinormal vektörü timelike olsun. Bu durumda  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin Frenet türev denklemi

$$\begin{bmatrix} \overline{T}'(s) \\ \overline{N}'(s) \\ \overline{B}_1'(s) \\ \overline{B}_2'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & 0 & k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & 0 & k_3 \\ 0 & 0 & k_3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{T}(s) \\ \overline{N}(s) \\ \overline{B}_1(s) \\ \overline{B}_2(s) \end{bmatrix} \quad (4)$$

dir.

İkinci olarak,  $\alpha$  eğrisi  $E_1^4$  de bir timelike eğri olsun. Bu durumda  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin asli normal, binormal ve trinormal vektörleri spacelike vektör olacağından Frenet türev denklemi

$$\begin{bmatrix} \overline{T}'(s) \\ \overline{N}'(s) \\ \overline{B}_1'(s) \\ \overline{B}_2'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & 0 & 0 \\ k_1 & 0 & k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & 0 & k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{T}(s) \\ \overline{N}(s) \\ \overline{B}_1(s) \\ \overline{B}_2(s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

dir.

$E_1^4$  de bir hiperyüzey üzerindeki indirgenmiş metrik bir Lorentz metrik (ya da pozitif tanımlı Riemannian metrik) ise bu hiperyüzey bir timelike (ya da spacelike) hiperyüzey olarak adlandırılır. Bu durumda hiperyüzeyin normali spacelike (ya da timelike) vektördür.

$E_1^4$  deki bir  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyinin  $n(s, x, y)$  normal vektörü

$$n(s, x, y) = \frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial s} \wedge \frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial x} \wedge \frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial y} \quad (6)$$

olarak hesaplanır (Thorpe 2012).

$\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde bir parametre eğrisi olması için gerek ve yeter şart hiperyüzey üzerindeki keyfi  $x = x_0$  ve  $y = y_0$  parametreleri için  $\Psi(s, x_0, y_0) = \alpha(s)$  olmasıdır (O'Neill 2014).

Ayrıca, hiperyüzey üzerindeki bir eğri için eğer eğrinin hız vektörü asimptotik doğrultu ise eğri asimptotik eğri olarak adlandırılır. Böylece,  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde bir asimptotik eğri olması için

$$\left\langle \frac{\partial n(s, x_0, y_0)}{\partial s}, T(s) \right\rangle = 0 \quad (7)$$

olmasıdır.  $E_1^4$  de herhangi bir hiperyüzey üzerinde verilen bir eğrinin izoasimptotik olması için bu eğrinin hiperyüzey üzerinde hem parametre hem de asimptotik eğri olmasıdır (Şaffak et al. 2013).

### 3. $E_1^4$ Lorentz-Minkowski Uzayında Non-Null Ortak İzoasimptotik Eğriye Sahip Hiperyüzey Aileleri

Bu bölümde  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ve timelike ortak izoasimptotik eğrili hiperyüzey aileleri oluşturulacaktır.  $E_1^4$  de hiperyüzey ailelerinin ortak izoasimptotik eğrilere sahip olması için gerekli teorem ifade edilip ispatı yapılacaktır. Teoremden verilen koşullar, sapma fonksiyonları kullanılarak yeniden ifade edilecektir. Ayrıca bu çalışmayı destekleyen örneklere yer verilecektir.

$E_1^4$  de  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinden geçen hiperyüzey ailesinin parametrik denklemi

$$\Psi(s, x, y) = \alpha(s) + u(s, x, y).T(s) + v(s, x, y).N(s) + w(s, x, y).B_1(s) + q(s, x, y).B_2(s) \quad (8)$$

$$C_1 \leq s \leq C_2, \quad P_1 \leq x \leq P_2, \quad M_1 \leq y \leq M_2$$

şeklinde verilmiş olsun. Burada  $u(s, x, y)$ ,  $v(s, x, y)$ ,  $w(s, x, y)$ ,  $q(s, x, y) \in C^1$  sapma fonksiyonlarını ve  $T(s)$ ,  $N(s)$ ,  $B_1(s)$ ,  $B_2(s)$  de  $\alpha$  eğrisinin  $\alpha(s)$  noktasındaki Frenet çatısını göstermektedir. Bu çalışmada non-null hiperyüzey aileleri çalışılacaktır.

$E_1^4$  de  $\alpha$  null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike veya timelike bir eğri olmak üzere aşağıdaki teoremi verebiliriz.

**Teorem 9.**  $E_1^4$  de  $\alpha = \alpha(s)$  null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ya da timelike bir eğri olsun. Bu durumda,  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin (8) parametrik denklemi ile verilen  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde bir izoasimptotik olması için gerek ve yeter şart

$$u(s, x_0, y_0) = v(s, x_0, y_0) = w(s, x_0, y_0) = q(s, x_0, y_0) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} = \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y}, \quad (10)$$

$$\left( \frac{\frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y}}{\frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x}} \right)^2 + \left( \frac{\frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y}}{\frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y}} \right)^2 \neq 0 \quad (11)$$

olmasıdır.

**İspat.** Herhangi bir hiperyüzey üzerinde verilen bir eğrinin izoasimptotik olması için bu eğrinin hiperyüzey üzerinde hem parametre hem de asimptotik eğri olması gerekmektedir. İlk olarak  $\alpha$  eğrisi (8) parametrik denklemi ile verilen  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzey ailesinin üzerinde bir parametre eğrisi olsun. Bu durumda  $\Psi(s, x_0, y_0) = \alpha(s)$  olması için gerek ve yeter şart

$$\exists x_0 \in [P_1, P_2], \quad y_0 \in [M_1, M_2] \text{ bulunabilir öyle ki}$$

$$u(s, x_0, y_0) = v(s, x_0, y_0) = w(s, x_0, y_0) = q(s, x_0, y_0) = 0, \quad (12)$$

$$C_1 \leq s \leq C_2$$

dir. Bu da bize teoremden ki (9) şartlarını verir. Ayrıca, (12) eşitliğinden

$$\frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} = \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} = \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} = \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} = 0 \quad (13)$$

olduğu kolayca görülür.

Şimdi kabul edelim ki  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisi timelike bir eğri olsun. Bu durumda, (5) deki Frenet türev formülleri yardımıyla,  $\Psi = \Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyinin kısmi türevleri

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial s} &= \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) T(s) \\ &+ \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) N(s) \\ &+ \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right) B_1(s) \\ &+ \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) B_2(s), \quad (14) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial x} = \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} T(s) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} N(s) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} B_1(s) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} B_2(s), \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Psi(s, x, y)}{\partial y} = \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} T(s) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} N(s) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} B_1(s) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} B_2(s) \quad (16)$$

olarak hesaplanır. (1), (6), (14), (15) ve (16) dan, parametrik olarak (8) ile verilen  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzey ailesinin normal vektörü

$$n(s, x, y) = \beta_1(s, x, y)T(s) + \beta_2(s, x, y)N(s) + \beta_3(s, x, y)B_1(s) + \beta_4(s, x, y)B_2(s)$$

olarak elde edilir. Burada

$$\begin{aligned} \beta_1(s, x, y) = & \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \\ & + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & - \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_2(s, x, y) = & \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & - \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_3(s, x, y) = & \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \left( k_3 w(s, x, y) + \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial s} \right) \\ & - \frac{\partial q(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} \beta_4(s, x, y) = & \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right) \\ & + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial x} \left( k_2 v(s, x, y) + \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial s} - k_3 q(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial s} + k_1 v(s, x, y) \right) \\ & - \frac{\partial w(s, x, y)}{\partial y} \frac{\partial u(s, x, y)}{\partial x} \left( k_1 u(s, x, y) + \frac{\partial v(s, x, y)}{\partial s} - k_2 w(s, x, y) \right) \end{aligned}$$

dir. Burada (12) ve (13) eşitliklerini sağlayan  $x_0$  ve  $y_0$  değerleri alındığında

$$\begin{aligned} \beta_1(s, x_0, y_0) = & \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ & + \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ & + \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ & - \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ & - \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ & - \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_2(s, x_0, y_0) &= \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &+ \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &+ \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &- \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &= \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} - \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_3(s, x_0, y_0) &= \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &+ \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &+ \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &- \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &= \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} - \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} \beta_4(s, x_0, y_0) &= \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &+ \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &+ \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &- \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial s} \right) \\ &- \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial u(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial s} \\ &= \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} - \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \end{aligned}$$

elde edilir.

Bu durumda hiperyüzey ailesinin  $x_0, y_0$  noktasındaki normal vektörü

$$\begin{aligned} n(s, x_0, y_0) &= \begin{pmatrix} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \\ - \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \end{pmatrix} N(s) \\ &+ \begin{pmatrix} \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \\ - \frac{\partial q(s, x_0, y_0)}{\partial y} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \end{pmatrix} B_1(s) \quad (17) \\ &+ \begin{pmatrix} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial y} \\ - \frac{\partial w(s, x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial v(s, x_0, y_0)}{\partial y} \end{pmatrix} B_2(s) \end{aligned}$$

olduğu görülür.  $\alpha$  eğrisinin spacelike eğri olması durumunda, yukarıdaki işlemlere benzer hesaplamalar yapıldıktan sonra (12) ve (13) eşitliklerini sağlayan  $x_0$  ve  $y_0$  değerleri yerine yazılırsa (8) ile verilen hiperyüzey ailesinin normal vektörünün de (17) ye benzer olduğu görülür.

Ayrıca, (7) ve (17) den  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisinin  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde bir asimptotik eğri olması için gerek ve yeter şart

$$\begin{aligned} \beta_1(s, x_0, y_0) &= \beta_2(s, x_0, y_0) = 0, \\ (\beta_3(s, x_0, y_0))^2 &+ (\beta_4(s, x_0, y_0))^2 \neq 0, \end{aligned}$$

$$C_1 \leq s \leq C_2, \quad P_1 \leq x_0 \leq P_2, \quad M_1 \leq y_0 \leq M_2$$

olmasıdır. Bu da bize teoremin (10) ve (11) şartlarını verir.

### 3.1. Sapma Fonksiyonları

Bu alt bölümde, hesaplamalarda kolaylık sağlaması ve dizayn problemlerinin daha iyi analiz edilebilmesi için hiperyüzey denklemindeki  $u(s, x, y), v(s, x, y), w(s, x, y)$  ve  $w(s, x, y)$  sapma fonksiyonları üç özel durumda incelenecektir.

#### 3.1.1. I.Çeşit Sapma Fonksiyonları

Bu alt kısımda,  $h(s), k(s), r(s), b(s), U(x, y), V(x, y)$   $W(x, y), Q(x, y) \in C^1$  ve  $h(s) \neq k(s) \neq r(s) \neq b(s) \neq 0$ ,  $\forall s \in [C_1, C_2]$  olmak üzere sapma fonksiyonları

$$u(s, x, y) = h(s)U(x, y),$$

$$v(s, x, y) = k(s)V(x, y),$$

$$w(s, x, y) = r(s)W(x, y),$$

$$q(s, x, y) = b(s)Q(x, y),$$

$$C_1 \leq s \leq C_2, P_1 \leq x \leq P_2, M_1 \leq y \leq M_2$$

olsun. Teorem (9) dan  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlerine sahip spacelike veya timelike  $\alpha(s)$  eğrinin,  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde izoasimptotik olması için gerek ve yeter şart

$$U(x_0, y_0) = V(x_0, y_0) = W(x_0, y_0) = Q(x_0, y_0) = 0,$$

$$\frac{\partial W(x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial Q(x_0, y_0)}{\partial y} = \frac{\partial Q(x_0, y_0)}{\partial x} \frac{\partial W(x_0, y_0)}{\partial y},$$

$$\left( \begin{array}{l} \left( b(s) \frac{\partial Q(x_0, y_0)}{\partial x} k(s) \frac{\partial V(x_0, y_0)}{\partial y} \right)^2 \\ - b(s) \frac{\partial Q(x_0, y_0)}{\partial y} k(s) \frac{\partial V(x_0, y_0)}{\partial x} \end{array} \right)^2 + \left( \begin{array}{l} k(s) \frac{\partial V(x_0, y_0)}{\partial x} r(s) \frac{\partial W(x_0, y_0)}{\partial y} \\ - r(s) \frac{\partial W(x_0, y_0)}{\partial x} k(s) \frac{\partial V(x_0, y_0)}{\partial y} \end{array} \right)^2 \neq 0,$$

$$x_0 \in [P_1, P_2], y_0 \in [M_1, M_2], C_1 \leq s \leq C_2$$

olmalıdır.

### 3.1.2. II. Çeşit Sapma Fonksiyonları

Bu alt kısımda,  $h(s, x), k(s, x), r(s, x), b(s, x), U(y), V(y), W(y), Q(y) \in C^1$  ve  $\forall s \in [C_1, C_2]$  olmak üzere sapma fonksiyonları

$$u(s, x, y) = h(s, x)U(y),$$

$$v(s, x, y) = k(s, x)V(y),$$

$$w(s, x, y) = r(s, x)W(y),$$

$$q(s, x, y) = b(s, x)Q(y),$$

$$C_1 \leq s \leq C_2, P_1 \leq x \leq P_2, M_1 \leq y \leq M_2$$

olsun. Teorem (9) dan  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlerine sahip spacelike veya timelike  $\alpha = \alpha(s)$  eğrinin,  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde izoasimptotik olması için gerek ve yeter şart

$$h(s, x_0)U(y_0) = k(s, x_0)V(y_0) = 0,$$

$$r(s, x_0)W(y_0) = b(s, x_0)Q(y_0) = 0,$$

$$\frac{\partial r(s, x_0)}{\partial x} W(y_0) b(s, x_0) \frac{\partial Q(y_0)}{\partial y} = \frac{\partial b(s, x_0)}{\partial x} Q(y_0) r(s, x_0) \frac{\partial W(y_0)}{\partial y},$$

$$\left( \begin{array}{l} \left( \frac{\partial b(s, x_0)}{\partial x} Q(y_0) k(s, x_0) \frac{\partial V(y_0)}{\partial y} \right)^2 \\ - b(s, x_0) \frac{\partial Q(y_0)}{\partial y} \frac{\partial k(s, x_0)}{\partial x} V(y_0) \end{array} \right)^2 + \left( \begin{array}{l} \left( \frac{\partial k(s, x_0)}{\partial x} V(y_0) r(s, x_0) \frac{\partial W(y_0)}{\partial y} \right)^2 \\ - \frac{\partial r(s, x_0)}{\partial x} W(y_0) k(s, x_0) \frac{\partial V(y_0)}{\partial y} \end{array} \right)^2 \neq 0,$$

$$x_0 \in [P_1, P_2], y_0 \in [M_1, M_2], C_1 \leq s \leq C_2$$

olmalıdır.

### 3.1.3. III. Çeşit Sapma Fonksiyonları

Bu alt kısımda,  $h(s, y), k(s, y), r(s, y), b(s, y), U(x), V(x), W(x), Q(x) \in C^1$  ve  $\forall s \in [C_1, C_2]$  olmak üzere sapma fonksiyonları

$$u(s, x, y) = h(s, y)U(x),$$

$$v(s, x, y) = k(s, y)V(x),$$

$$w(s, x, y) = r(s, y)W(x),$$

$$q(s, x, y) = b(s, y)Q(x),$$

$$C_1 \leq s \leq C_2, P_1 \leq x \leq P_2, M_1 \leq y \leq M_2$$

olsun. Teorem (9) dan  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlerine sahip spacelike veya timelike  $\alpha(s)$  eğrinin,  $\Psi(s, x, y)$  hiperyüzeyi üzerinde izoasimptotik olması için gerek ve yeter şart

$$h(s, y_0)U(x_0) = k(s, y_0)V(x_0) = 0,$$

$$r(s, y_0)W(x_0) = b(s, y_0)Q(x_0) = 0,$$

$$r(s, y_0) \frac{\partial W(x_0)}{\partial x} \frac{\partial b(s, y_0)}{\partial y} Q(x_0) =$$

$$b(s, y_0) \frac{\partial Q(x_0)}{\partial x} \frac{\partial r(s, y_0)}{\partial y} W(x_0),$$

$$\left( \begin{array}{l} \left( b(s, y_0) \frac{\partial Q(x_0)}{\partial x} \frac{\partial k(s, y_0)}{\partial y} V(x_0) \right)^2 \\ - \frac{\partial b(s, y_0)}{\partial y} Q(x_0) k(s, y_0) \frac{\partial V(x_0)}{\partial x} \end{array} \right)^2 + \left( \begin{array}{l} \left( k(s, y_0) \frac{\partial V(x_0)}{\partial x} \frac{\partial r(s, y_0)}{\partial y} W(x_0) \right)^2 \\ - r(s, y_0) \frac{\partial W(x_0)}{\partial x} \frac{\partial k(s, y_0)}{\partial y} V(x_0) \end{array} \right)^2 \neq 0,$$

$$x_0 \in [P_1, P_2], y_0 \in [M_1, M_2], C_1 \leq s \leq C_2$$



olmalıdır.

### 3.2. Örnekler

Bu alt bölümde, önceki bölümde elde edilen teorik sonuçları destekleyen non-null Frenet vektörlerine sahip spacelike ya da timelike izoasimptotik eğrili hiperyüzey aileleri için örnekler verilecektir. Ayrıca bu örnekleri 3-boyutlu uzaya iz düşürülerek grafikleri çizilecektir.

**Örnek 3.2.1.** Binormali timelike olan spacelike

$$\alpha(s) = \left( \frac{\sqrt{11}s}{3}, \frac{\sqrt{2}s}{3}, \sqrt{2} \cos s, \sqrt{2} \sin s \right), \quad (18)$$

$0 < s \leq 2\pi$ , eğrisi verilsin. (3) den, bu eğrinin Frenet vektörleri

$$T(s) = \left( \frac{\sqrt{11}}{3}, \frac{\sqrt{2}}{3}, -\sqrt{2} \sin s, \sqrt{2} \cos s \right),$$

$$N(s) = (0, 0, -\cos s, -\sin s),$$

$$B_1(s) = \left( \frac{\sqrt{22}}{3}, \frac{2}{3}, -\sin s, \cos s \right),$$

$$B_2(s) = \left( \frac{-\sqrt{2}}{3}, \frac{-\sqrt{11}}{3}, 0, 0 \right),$$

olarak hesaplanır.

$x_0 = 2, y_0 = 0, s \neq 0$  için, sapma fonksiyonları

$$u(s, x, y) = s^2(x-2) + y^2,$$

$$v(s, x, y) = (s^2 + x^2)y,$$

$$w(s, x, y) = (x^2 - 4)(y^2 + s),$$

$$q(s, x, y) = sxy^2$$

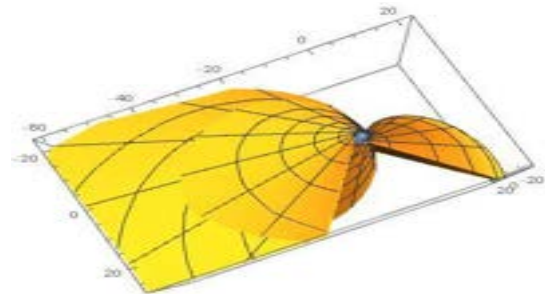
olarak seçilirse teorem (9) da verilen şartlar sağlanır ve böylece

$E_1^4$  de  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisini izoasimptotik eğri kabul eden hiperyüzey ailesi

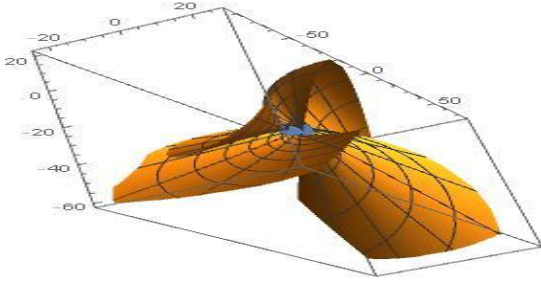
$$\Psi(s, x, y) = \left( \begin{array}{l} \frac{\sqrt{11}s}{3} + \frac{\sqrt{11}}{3}(s^2(x-2) + y^2) \\ + \frac{\sqrt{22}}{3}(x^2-4)(y^2+s) - \frac{\sqrt{2}}{3}sxy^2, \\ \frac{\sqrt{2}s}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3}(s^2(x-2) + y^2) \\ + \frac{2}{3}(x^2-4)(y^2+s) - \frac{\sqrt{11}}{3}sxy^2, \\ \cos s(\sqrt{2} - y(s^2 + x^2)) \\ - \sin s \left( \begin{array}{l} \sqrt{2}(s^2(x-2) + y^2) \\ + (x^2-4)(y^2+s) \end{array} \right), \\ \sin s(\sqrt{2} - y(s^2 + x^2)) \\ + \cos s \left( \begin{array}{l} \sqrt{2}(s^2(x-2) + y^2) \\ + (x^2-4)(y^2+s) \end{array} \right) \end{array} \right) \quad (19)$$

olarak elde edilir.

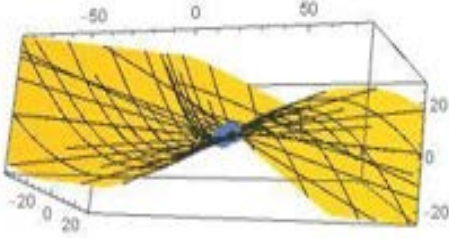
Şimdi (18) eğrisinin ve (19) hiperyüzeyinin 3-boyutlu uzaylara iz düşürülerek oluşan eğriler mavi, yüzeyler ise sarı renkle aşağıda gösterilecektir.



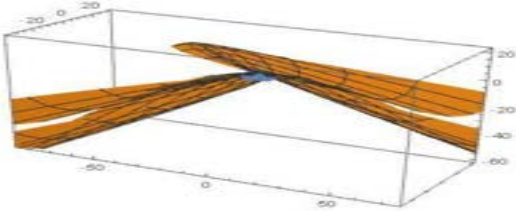
**Şekil 1.** (18) eğrisinin ve (19) hiperyüzeyinin x-eksenine iz düşümü



Şekil 2. (18) eğrisinin ve (19) hiperyüzeyinin y-eksenine iz düşümü



Şekil 3. (18) eğrisinin ve (19) hiperyüzeyinin z-eksenine iz düşümü



Şekil 4. (18) eğrisinin ve (19) hiperyüzeyinin t-eksenine iz düşümü

**Örnek 3.2.2. Timelike**

$$\alpha(s) = (\sqrt{2} \sinh s, \sqrt{2} \cosh s, \sin s, \cos s), \quad (20)$$

$0 < s \leq 2\pi$ , eğrisi verilsin. (5) den, bu eğrinin Frenet vektörleri

$$T(s) = (\sqrt{2} \cosh s, \sqrt{2} \sinh s, \cos s, -\sin s),$$

$$N(s) = \left( \frac{\sqrt{6}}{3} \sinh s, \frac{\sqrt{6}}{3} \cosh s, -\frac{\sqrt{3}}{3} \sin s, -\frac{\sqrt{3}}{3} \cos s \right),$$

$$B_1(s) = (-\cosh s, -\sinh s, -\sqrt{2} \cos s, \sqrt{2} \sin s),$$

$$B_2(s) = \left( \frac{-\sqrt{3}}{3} \sinh s, \frac{-\sqrt{3}}{3} \cosh s, -\frac{\sqrt{6}}{3} \sin s, -\frac{\sqrt{6}}{3} \cos s \right),$$

olarak hesaplanır.

$x_0 = 2, y_0 = 0, s \neq 0$  için, sapma fonksiyonları

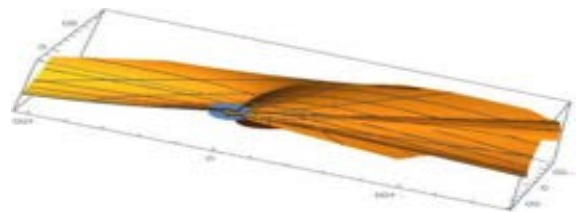
$$\begin{aligned} u(s, x, y) &= s^2(x-2) + y^2, \\ v(s, x, y) &= (s^2 + x^2)y, \\ w(s, x, y) &= (x^2 - 4)(y^2 + s), \\ q(s, x, y) &= sxy^2 \end{aligned}$$

olarak seçilirse teorem (9) da verilen şartlar sağlanır ve böylece  $E_1^4$  de  $\alpha = \alpha(s)$  eğrisini izoasimptotik eğri kabul eden hiperyüzey ailesi

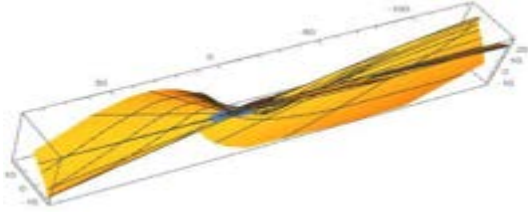
$$\Psi(s, x, y) = \left( \begin{aligned} &\sinh s \left( \sqrt{2} + \frac{\sqrt{6}}{3} y(s^2 + x^2) - \frac{\sqrt{3}}{3} sxy^2 \right) \\ &+ \cosh s \left( \begin{aligned} &\sqrt{2}(s^2(x-2) + y^2) \\ &-(x^2 - 4)(y^2 + s) \end{aligned} \right), \\ &\cosh s \left( \sqrt{2} + \frac{\sqrt{6}}{3} y(s^2 + x^2) - \frac{\sqrt{3}}{3} sxy^2 \right) \\ &+ \sinh s \left( \begin{aligned} &\sqrt{2}(s^2(x-2) + y^2) \\ &-(x^2 - 4)(y^2 + s) \end{aligned} \right), \\ &\sin s \left( 1 - \frac{\sqrt{3}}{3} y(s^2 + x^2) - \frac{\sqrt{6}}{3} sxy^2 \right) \\ &+ \cos s \left( \begin{aligned} &(s^2(x-2) + y^2) \\ &-\sqrt{2}(x^2 - 4)(y^2 + s) \end{aligned} \right), \\ &\cos s \left( 1 - \frac{\sqrt{3}}{3} y(s^2 + x^2) - \frac{\sqrt{6}}{3} sxy^2 \right) \\ &+ \sin s \left( \begin{aligned} &\sqrt{2}(x^2 - 4)(y^2 + s) \\ &-(s^2(x-2) + y^2) \end{aligned} \right), \end{aligned} \right), \quad (21)$$

olarak elde edilir.

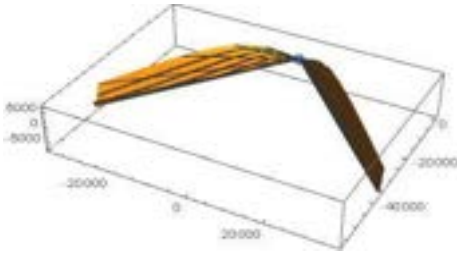
Şimdi (20) eğrisinin ve (21) hiperyüzeyinin 3-boyutlu uzaylara iz düşürülerek oluşan eğriler mavi, yüzeyler ise sarı renkle aşağıda gösterilecektir.



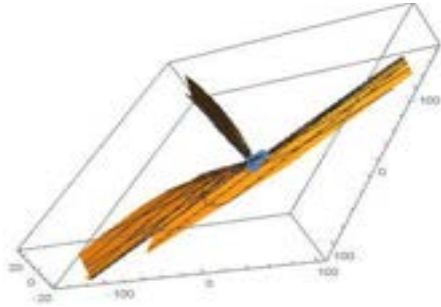
**Şekil 5.** (20) eğrisinin ve (21) hiperyüzeyinin x-eksenine iz düşümü



**Şekil 6.** (20) eğrisinin ve (21) hiperyüzeyinin y-eksenine iz düşümü



**Şekil 7.** (20) eğrisinin ve (21) hiperyüzeyinin z-eksenine iz düşümü



**Şekil 8.** (20) eğrisinin ve (21) hiperyüzeyinin t-eksenine iz düşümü

## 4. Sonuç

Bu çalışmada,  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında null olmayan Frenet vektörlere sahip spacelike ve timelike eğrilerden geçen hiperyüzeylerin parametrik denklemi, bu eğrilerinin Frenet çatıları yardımıyla ifade edilerek spacelike ve timelike eğrilerin hiperyüzey üzerinde ortak izoasimptotik olması için gerekli ve yeterli koşullar verilerek hiperyüzey aileleri oluşturulmuştur. Sapma fonksiyonları yardımıyla da elde edilen bu koşullar sadeleştirilmiştir. Bu çalışma ve kaynaklarda verdiğimiz bu konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar göz önüne alınarak  $E_1^4$  Lorentz-Minkowski uzayında pseudo null eğrilerden geçen hiperyüzeyler elde edilerek uygulamada kullanılacak bazı sonuçlar verilebilir. Ayrıca bu metodlar diğer bazı farklı uzaylara da genelleştirilebilir. Bu nedenle, çalışmamız bu konu üzerine araştırma yapanlara referans olacaktır.

## Kaynakça

- Abdel-Baky, R. A., (2016). A surface family with a common asymptotic curve in the Euclidean 3-space. *Asian Journal of Mathematics and Applications*, 201(6) 12.
- Ali, A. T., (2010). Time-like Smarandache curves derived from a Space-like Helix. *Journal of Dynamical Systems and Geometric Theories*, 8(1), 93-100.
- Altın, M., Kazan, A. & Karadağ, H.B., (2021). Hypersurface families with Smarandache curves in Galilean 4-space. *Communications Faculty Of Science University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 70(2), 744-761.
- Altın, M. & Küçükarslan Yüzbaşı, Z., (2020). Surfaces using Smarandache asymptotic curves in Galilean Space. *International Journal of Mathematical Combinatorics*, (3), 1-15.
- Altın, M., & Unal, I., (2020). Surface family with common line of curvature in 3-dimensional Galilean space. *The journal Facta Universitatis: Series Mathematics and Informatics*, (35), 535(5), 1315-1325.
- Atalay, G. Ş. & Kasap, E., (2016). Surfaces family with common Smarandache geodesic curve according to Bishop frame in Euclidean space. *Mathematical Sciences and Applications E-Notes*, 4(1), 164-174.
- Ayvacı, K. H. & Atalay, G. Ş., (2020). Ortak Bertrand-B isogeodezik eğriye sahip yüzey aileleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1975-1983.
- Bayram, E., Güler, F. & Kasap, E., (2012). Parametric representation of a surface pencil with a common asymptotic curve. *Computer-Aided Design*, 44(7), 637-643.
- Bayram, E. & Kasap, E., (2014a). Hypersurface family with a common isogeodesic. *Scientific Studies and Research*, 24(2), 5-24.
- Bayram, E. & Kasap, E., (2014b). Hypersurface family with a common isoasymptotic curve. *Geometry*, 2014, 1-6.
- Bejancu, A. & Duggal, K. L., (1995). Lightlike submanifolds of semi-Riemannian manifolds. *Acta Applicandae Mathematica*, 38(2), 197-215.
- Contopoulos, G., (1990). Asymptotic curves and escapes in Hamiltonian systems. *Astronomy and Astrophysics*, 231, 41-55.
- Turan, Ç., Altın, M. & Karadağ, H. B., (2022). Hypersurface families with common non-null geodesic in Minkowski 4-space. *Advanced Studies: Euro-Tbilisi Mathematical Journal*, 15(1), 167-180.
- Ergün, E. & Bayram, E., (2019). 3-Boyutlu Minkowski Uzayında Timelike Binormalı Spacelike Eğrinin Tabii Liftini Asimptotik Kabul Eden Yüzey Ailesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 1082-1089.
- Ergün, E., Bilici, M. & Çaliskan, M., (2015). The Natural Lift Curve of the Spherical Indicatrix of a Spacelike Curve in Minkowski 4-Space. *Journal of Science and Arts*, 15(1), 39.
- Farin, G., (1988). *Curves and surfaces for computer aided geometric design: A practical guide*. San Diego, CA, Academic Press, Inc., 348.
- Garcia, R., Gutierrez, C. & Sotomayor, J., (1999). Structural stability of asymptotic lines on surfaces immersed in  $R^3$ . *Bulletin des sciences mathematiques*, 123(8), 599-622.
- Garcia, R. A. & Tello, J. M. S., (1997). Structural stability of parabolic points and periodic asymptotic lines. *Brasil*, 39, 84-102.
- Hartman, P. & Wintner, A., (1951). On the asymptotic curves of a surface. *American Journal of Mathematics*, 73(1), 149-172.

- Kasap, E., Akyildiz, F. T. & Orbay, K., (2008). A generalization of surfaces family with common spatial geodesic. *Applied Mathematics and Computation*, 201(1-2), 781-789.
- Kasap, E. & Akyildiz, F. T., (2006). Surfaces with common geodesic in Minkowski 3-space. *Applied mathematics and computation*, 177(1), 260- 270.
- Kitagawa, Y., (1988). Periodicity of the asymptotic curves on flat tori in  $S^3$ . *Journal of the Mathematical Society of Japan*, 40(3), 457-476.
- Kocayigit, H. & Çiçek, Z., (2015). Some characterizations of constant breadth spacelike curves in Minkowski 4-space  $E^4$ . *New Trends in Mathematical Sciences*, 3(2), 1-12.
- Latifi, S., (2015). Numerical solution of geodesic differential equations on a surface in  $R^3$ . In *8th Seminar on Geometry and Topology*, 20, 450.
- O'Neill, B. (2014). *The geometry of Kerr black holes*. Courier Corporation, 400.
- Şaffak, G. and Kasap, E., (2009). Family of surface with a common null geodesic. *Fizik Bilimleri Dergisi*, 4(8), 428-433.
- Şaffak, G., Bayram, E. & Kasap, E., (2013). Surfaces with a common asymptotic curve in Minkowski 3-space. *arXiv preprint arXiv:1305.0382*.
- Şenyurt, S., Ayvaci, K. H. & Canlı, D., (2020). Ortak Mannheim-D isogeodezik eğriye sahip yüzeyler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 105-116.
- Thorpe, J. A., (1994). *Elementary topics in differential geometry*. Springer Science and Business Media, 256.
- Tozak, H., (2010). Minkowski 4-uzayında eğriler ve hareketlerin geometrisi. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli*, 113.
- Turgut, M. & Yılmaz, S., (2008). On the Frenet frame and a characterization of space-like involute-evolute curve couple in Minkowski space-time. In *Int. Math. Forum*, 3(16), 793-801.
- Turgut, M. & Yılmaz, S., (2009). Some characterizations of type-3 slant helices in Minkowski space-time. *Involve, a Journal of Mathematics*, 2(1), 115-120.
- Yoon, D. W. & Yüzbaşı, Z. K., (2018). An approach for Hypersurface family with common geodesic curve in the 4D Galilean space  $G^4$ . *The Pure and Applied Mathematics*, 25(4), 229-241.
- Yüzbaşı, Z. K. & Bektaş, M., (2016). On the construction of a surface family with common geodesic in Galilean space  $G^3$ . *Open Physics*, 14(1), 360-363.
- Yüzbaşı, Z. K., (2016). On a family of surfaces with common asymptotic curve in the Galilean space  $G^3$ . *J. Nonlinear Sci*, (9), 518-523.
- Walrave, J. (1995). *Curves and surfaces in Minkowski space*.
- Wang, G. J., Tang, K. & Tai, C. L., (2004). Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic. *Computer-Aided Design*, 36(5), 447-459.



# The Investigation of the Sensitivity of Monte Carlo Simulation Results to Modelling Approaches for Nuclear Reactor Cores

Senem Şentürk Lüle<sup>1\*</sup>, Mohammad Allaf<sup>2</sup>, Üner Çolak<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Technical University, Energy Institute, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6632-5831), [senturklule@itu.edu.tr](mailto:senturklule@itu.edu.tr)

<sup>2</sup> The University of Tokyo, Department of Nuclear Engineering and Management, Tokyo, Japan, (ORCID: 0000-0002-4162-8975), [amer@g.ecc.u-tokyo.ac.jp](mailto:amer@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

<sup>3</sup> Istanbul Technical University, Energy Institute, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9293-6065), [unercolak@itu.edu.tr](mailto:unercolak@itu.edu.tr)

(First received 01 February 2022 and in final form 13 April 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1065944)

**ATIF/REFERENCE:** Şentürk Lüle, S., Allaf, M. & Çolak, Ü. (2022). The Investigation of the Sensitivity of Monte Carlo Simulation Results to Modelling Approaches for Nuclear Reactor Cores. *European Journal of Science and Technology*, (38), 110-115.

## Abstract

Monte Carlo simulations provide accurate results for the neutronic response of the system under consideration if modeling is performed appropriately since it has great influence on the results. Sensitivity analysis of modeling approaches for geometry and fissile material composition distributions in the reactor core was performed by taking ITU TRIGA Mark II Research Reactor into consideration. The method of defining fuel element positions in the core by using circular or hexagonal lattice was considered as one case and three different methods of lumping material compositions in the fuel elements were considered as another case since these approaches were used by deterministic codes hence the accuracy of deterministic codes were also investigated. The validation study showed that both MCNP and Serpent Monte Carlo codes resulted in good agreement with the experimental data with less than 1% relative error. It was observed that the handling of fuel composition in different ways did not influence the results significantly (up to 11.1 cents in reactivity). However, the influence of fuel arrangement is more pronounced (deviation in reactivity calculations is around 1\$). These deviations at the results may affect the nuclear safety conclusion of reactors having small shutdown margins. It was also concluded that users of the deterministic codes should be aware of the fact that the simplifications in geometry and fuel composition in the core will result in significant deviation from the reality.

**Keywords:** Criticality, Monte Carlo, Neutronic Analysis, TRIGA Mark II, Serpent, MCNP, Geometrical Modeling, Fuel Composition Modeling.

## Monte Carlo Simülasyon Sonuçlarının Nükleer Reaktör Kalp Modelleme Yaklaşımlarına Duyarlılığının Araştırılması

### Öz

Monte Carlo benzetimleri, modelleme uygun şekilde yapılırsa söz konusu sistemin nötronik tepkisinin tahmininde doğru sonuçlar verir. Yakıt elemanlarında geometri ve bölünebilir malzeme bileşimlerinin dağılımının modellenmesinde kullanılacak yaklaşımların duyarlılığı İTÜ TRIGA Mark II Araştırma Reaktörü kullanılarak araştırılmıştır. Dairesel veya altıgen kafes kullanarak kalpteki yakıt elemanı konumlarını belirleme yöntemi bir durum, yakıt elemanlarındaki malzeme bileşimlerinin grup olarak toplanması için üç farklı yöntem diğer bir durum olarak değerlendirilmiştir. Böylece, sıklıkla bu yaklaşımları kullanan deterministik kodların da duyarlılığı araştırılmıştır. Doğrulama çalışması, hem MCNP 5 hem de Serpent 2 Monte Carlo kodlarının sonuçlarının %1'den az hata ile deneysel verilere iyi bir uyum sağladığını göstermiştir. Yakıt bileşiminin farklı şekillerde ele alınmasının sonuçları önemli ölçüde etkilemediği (reaktivitede maksimum 11,1 cent) gözlenmiştir. Ancak yakıt elemanı konum modelleme yaklaşımının etkisi daha belirgindir (reaktivitede maksimum 1 \$). Sonuçlardaki bu sapmalar, küçük kapatma marjlarına sahip reaktörlerin nükleer güvenlik değerlendirmelerini etkileyebilir. Deterministik kodların kullanıcılarının, kalpteki geometri ve yakıt bileşimindeki basitleştirmelerin sonuçlarda önemli ölçüde sapmaya neden olacağı gerçeğinin farkında olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kritiklik, Monte Carlo, Nötronik Analiz, TRIGA Mark II, Serpent, MCNP, Geometrik Modelleme, Yakıt Bileşimi Modellemesi.

\* Corresponding Author: [senturklule@itu.edu.tr](mailto:senturklule@itu.edu.tr)

## 1. Introduction

Computational methods to model and simulate various phenomena taking place in nuclear reactors have become indispensable tools for developers in industry due to their extended capabilities with almost negligible cost as an alternative to complex and costly experiments. They are also important for the conceptual design studies and safety analyses for new reactors (Generation-IV) since it is impossible to demonstrate these analyses experimentally with currently available resources. For instance, core optimization for a sodium-cooled fast reactor was performed by using neutronic modelling to ensure an increase in neutron leakage in case of a core disruptive accident (Suetomi et al., 2017). In another study, it was concluded that lowering Zirconium content in the metallic fuel minimizes the excess reactivity of a compact linear burn-breed fast reactor after many different Zirconium region zoning have been analyzed numerically (Hartanto et al., 2016). In addition, a new fuel rod design parameters were defined for Super-Fast Reactor by conducting different numerical studies related to thermo-mechanical behavior (Ju et al., 2015). However, the main challenge for the utilization of these tools lies on verifying the accuracy and reliability in simulating the physical processes.

During the last decade, institutions having TRIGA Mark II type research reactors have adapted benchmark analyses in order to test the reliability of their simulations for further research activities (Khan et al., 2011; Tetsuo et al., 2011; Huda et al., 2004). It is known that the selection of engineering software codes, numerical techniques, and model development methodologies have significant importance on neutronic calculations. MCNP and Serpent performances for calculating the attenuation coefficient were compared by Čalić et al. (2015) and slight differences have been found in the results especially for the reflector regions surrounding the core. Besides, a comparison between MCNP and TRIPOLI on calculating the multiplication factor for two different core configurations was presented by Henry et al. (2015) where Monte Carlo methodology showed a better performance than the deterministic approach in simulating the neutronic behavior. On the other hand, deterministic codes are proved to be less computational time demanding (Ivanov et al., 2016). Time requirements and the available computational power needed to simulate a physical phenomenon is always an issue. To that respect, several approaches are considered such as having an average fuel composition in the core, homogenizing the geometry, and reducing dimensions (Khan et al., 2011; Türkmen & Çolak, 2014; Rehman & Ahmad, 2018). The impact of applying geometrical homogenization presented by Wang et al., (2014) showed the negative impact of homogenization on accuracy of the multiplication factor calculations.

This study aims to investigate and reveal influence of modelling approaches on the results of Monte Carlo neutronic simulations for ITU TRIGA Mark II Research Reactor. MCNP 5 and Serpent 2 Monte Carlo simulation codes were utilized for the same problems to make comparison. This study has been performed to highlight whether there is a significant difference observed in results if some simplifications are taken into account regarding the geometrical modelling and fuel compositions. There are various ways to model reactor core with Monte Carlo codes. They usually allow users to use repeated structures in hexagonal or circular geometry for core modeling to reduce the modeling effort. In addition, fuel element compositions can be defined

individually or can be taken the same if there is only a slight variation in fissile content. All these options have been analyzed and a comparison matrix was generated based on the results of two well-known Monte Carlo codes.

## 2. Material and Method

### 2.1. ITU TRIGA Mark II Research Reactor

ITU TRIGA Mark II is a 250 kW pool type research reactor owned by the Energy Institute of Istanbul Technical University. The reactor was commissioned in 1979 for research and education purposes to demonstrate both steady state and pulse mode operations. Reactor core is arranged to have 5 rings B to F around the central thimble to provide 90 positions in total for the placement of different elements. In ITU TRIGA Mark II research reactor, 69 positions are occupied by fuel elements and 16 positions are occupied by graphite dummy elements as seen in Figure 1. There are 3 control rods in the core namely transient, safety, and regulating. Safety rod is used for coarse reactivity adjustment while the regulating rod is used for multiplication factor tuning. Transient rod is used for power pulses. Pneumatic system in the F ring is used for quick irradiations and one position is reserved for neutron source in F ring. Inside the stainless steel clad, there are central zirconium rod, fuel meat which is a homogenized mixture of uranium (U) and zirconium hydride ( $ZrH_{1.6}$ ) containing 8.45 wt.% enriched uranium having no more than 20%  $^{235}U$ , and top and bottom graphite reflectors. The end fittings are also made of stainless steel. The graphite dummies that do not contain fuel and zirconium rod have similar geometry but have aluminum cladding.

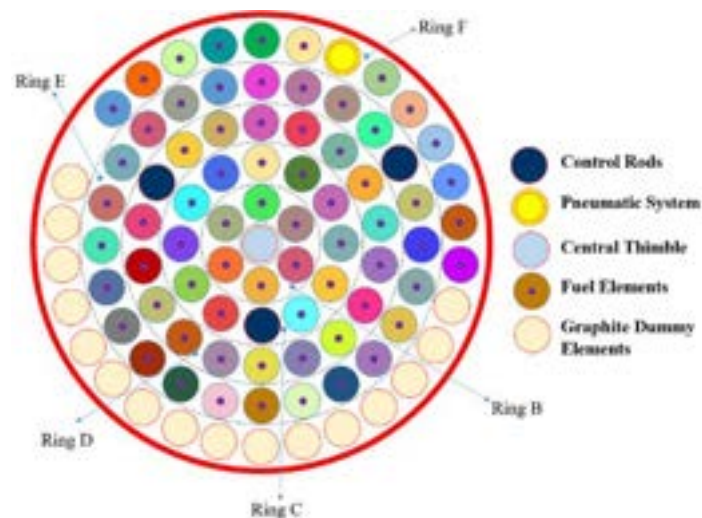


Figure 1. Cross-sectional view of ITU TRIGA Mark II Research Reactor

### 2.2. Problem Definition

For criticality calculations, simplifications that are made in geometrical configurations and/or material compositions such as homogenization are likely to cause the loss of information due to change on neutron leakage which is mathematically due to geometrical and material buckling. It was shown by Dall'Osso (2002) that changing the buckling value results in change of decay constant. It is emphasized by Yamamoto (2012) that there is a need for neutron leakage corrections in numerical modelling methods for both deterministic and Monte Carlo based methods when it comes to buckling search and introduced a leakage models for symmetric systems. Unfortunately, these models are

not valid for asymmetric cores such as the one in ITU TRIGA Mark II research reactor as seen in Figure 1. A new leakage model was described for asymmetric core buckling calculation by Yamamoto et al., (2018). Furthermore, a heterogeneous leakage model was presented by introducing three different schemes for PWR core which resulted in more accurate results than the homogenous model (Li et al., 2017). With such models, geometry can be simplified from 3D to 2D or 1D (Sohrabpour & Ezzati, 2009). However, these models require further development and they are complicated for implementation. In this study, the focus is not directly on buckling but on neutronic behavior represented by multiplication factor since a change in multiplication factor as a result of changes in geometrical modelling and material composition eventually indicates change in buckling value.

Six different cases, having different combinations of geometrical modelling and fuel compositions, have been selected for this study as seen in Table 1. For Model-1 and Model-4, all fuel element compositions were defined individually. For Model-2 and Model-5, the element compositions for each ring that are shown in Figure 1 was reduced to 3 totaling 15 fuel element compositions in the core. Each ring in core was assumed to have three distinct fuel compositions that is the minimum, the maximum, and ring averaged enrichment of that particular ring. For Model-3 and Model-6, all 69 fuel elements in the core were assumed to have one fuel composition which is the core average value.

Table 1. Model definitions used in the study

Geometry Arrangement	The Number of Fuel Element Composition Defined in the Core		
	69	15	1
Circular	Model-1	Model-2	Model-3
Hexagonal	Model-4	Model-5	Model-6

Cross sectional views from Model-1 to Model-6 generated with MCNP and Serpent codes are shown in Figure 2 and Figure 3. In these figures, each colour allocation in fuel elements represents different fuel enrichment. In these models, the circular arrangement represents exact position of each fuel element. On the other hand, hexagonal arrangement was created by using repeated structure option of the software under consideration. It is usually preferred due to simplicity and deterministic codes usually uses this method to model the core that has circular arrangement. Similarly, homogenized or uniform composition for fuel elements may be preferred due to simplicity and this method is used for some deterministic codes as well.

Monte-Carlo based codes MCNP 5 (Argonne National Laboratory, 2003) and Serpent 2 (Leppänen et al., 2015) were used for simulations. MCNP 5 and Serpent 2 have great capabilities in general geometrical and 3D modelling and can replicate the transport phenomena using continuous-energy cross sections which make them very suitable for the purposes of this study.

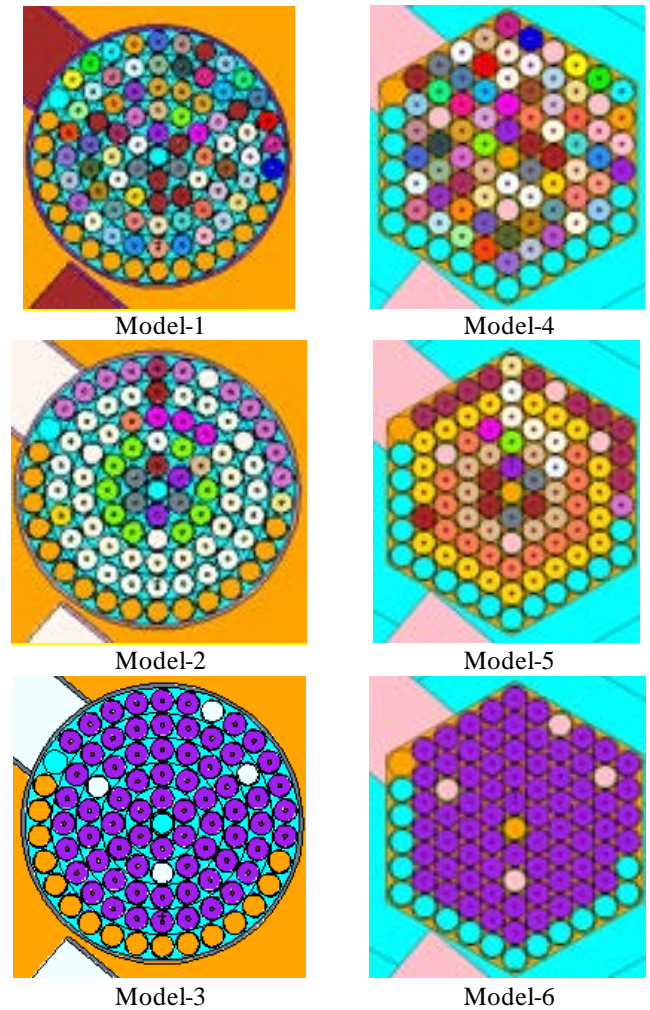


Figure 2. Cross sectional view of each model developed using MCNP 5 code

The details of the reactor such as grid plates, beam ports, central thimble, thermal column, reflector, aluminum tank, and concrete structure around the tank were included in the geometric models. For Model-1, -2, and -3 in MCNP 5 (Figure 2), all positions in the core were modeled individually and moved to their position with transformation card since MCNP 5 does not have circular lattice feature. For Model-4, -5, and -6, hexagonal lattice feature of the MCNP 5 code was used to place the fuel elements in their respective positions in the core. For these models, pitch between the fuel elements were used to calculate the dimensions of the hexagonal lattice cells, then, equivalent hexagons were generated for reflector and cavity regions. The cross-section library used for MCNP 5 is ENDF/VI.5 which considers delayed neutrons. In addition, neutron inelastic scattering  $S(\alpha,\beta)$  interactions have been considered by taking the data from TMCCS library. Hence, the molecular binding effects of light water, graphite, hydrogen, and zirconium in  $UZrH_{1.6}$  were evaluated at 300 K. Similarly, Serpent 2 has been used to model the same cores. However, unlike MCNP, a circular array cluster is possible with Serpent 2 therefore a cluster was defined to describe the 90 positions in the core for Model-1, -2, and -3. For Model-4, -5, and -6, similar to MCNP-5 code, hexagonal lattice was adopted (Figure 3). The cross-section library JEFF-3.1 has been used in Serpent 2 simulations. Meanwhile, the neutron inelastic scattering  $S(\alpha,\beta)$  data were taken from JEFF-3.2 library.

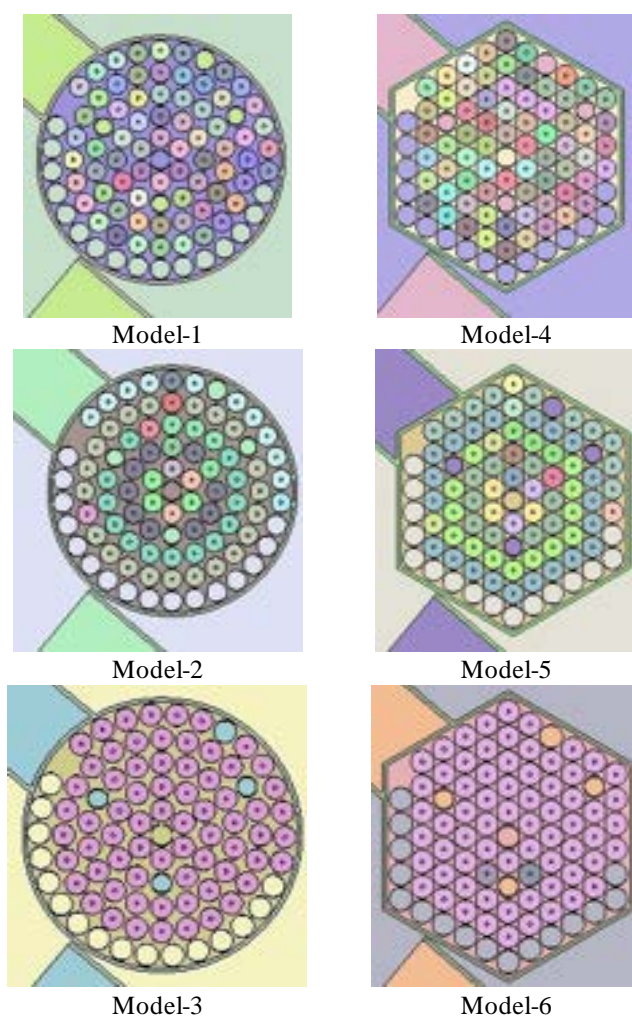


Figure 3. Cross sectional view of each model developed using Serpent 2 code

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Benchmark Analysis

The benchmark analyses have been performed to verify the MCNP 5 and Serpent 2 reactor models generated for this study. The purpose of this benchmark analysis was to calculate the excess reactivity of the core with both codes and compare it against the experimental data from safety analysis report of the ITU reactor (General Atomics, 1979). Therefore, the results of Model-1 for both codes were benchmarked. All the Monte Carlo calculations have been performed with 1000 active cycles with 40000 neutrons per cycle.

The excess reactivity is determined by calculating the reactivity required from the insertion of each control rod to bring the reactor into the critical state (Asuku et al., 2015). Reactivity ( $\rho$ ) is determined using the formula described in Eq.1. where  $k_{eff}$  and  $k_{eff,1}$  are the multiplication factor of consecutive states (Lamarsh & Baratta, 2001).

$$|\rho| = \frac{k_{eff,1} - k_{eff,0}}{k_{eff,1}} \quad (1)$$

In order to perform benchmark analysis, two states were simulated; in the first one, the reactor made critical by using control rods and in the second one, the reactor was super critical due to control rod movement. The resulting core excess reactivity

values that are shown in Table 2 were calculated by using Eq. 1 for both codes. As seen in Table 2, both codes have shown good agreement with the experimental data since the results have less than 1% error. Therefore, the benchmark study verified the modeling and the input data and deck.

Table 2. Comparison between experimental and the calculated excess reactivity values

Experimental (\$)	MCNP (\$)	Serpent (\$)	% Error for MCNP 5	% Error for Serpent 2
3.0309	3.0192	3.0035	0.38	0.79

#### 3.2. The Influence of Geometrical and Fuel Composition Modeling

In order to investigate the influence of geometrical and fuel composition modeling on core criticality  $k_{eff}$  hence reactivity, simulations of Model-1 through Model-6 have been performed with both codes with 1000 active cycles and 40000 neutrons per cycle and by assuming all control rods are out of the core. The resulting multiplication factor values have standard deviation of  $2 \times 10^{-4}$  for all cases performed with both codes. Model-1 results from both codes have been taken as reference values since they represent the real core configuration without any simplification in geometry and material composition.

Results in Table 3 shows that models employing hexagonal lattice (Model-1, -2, and -3) results in higher values of reactivity. This increase is on the order of 30% for MCNP 5 and 28% for Serpent 2. This is due to the fact that when the fuel elements are positioned at the center of the equivalent hexagonal cells, the distance between two fuel elements (pitch) became smaller. As a result, more compact core is situated and reactivity in the core increases.

Table 3. Calculated reactivity values for six models using MCNP 5 and Serpent 2

Model #	MCNP 5 Reactivity (\$)	Serpent 2 Reactivity (\$)
1	3.40	3.24
2	3.38	3.21
3	3.29	3.13
4	4.46	4.15
5	4.43	4.13
6	4.26	3.95

In addition, Table 3 shows that if the core is assumed to have only one average fuel composition (Model-3), the reactivity deviates around 4.2% for both codes from the reference case (Model-1) and if 15 different fuel element compositions are used in the core (Model-2), the results show around 0.6% deviation for both codes although the amount of  $^{235}\text{U}$  in the core is the same in all models.

It is seen that there is not much difference in reactivity if each ring is lumped by using 3 different compositions (maximum, minimum, and the average of the rest in the particular ring). Almost all fuel elements in ITU TRIGA core have different enrichment therefore when the lumping is used,  $^{235}\text{U}$  content increases in some fuel elements and decreases in others. The decrease is significant for high  $^{235}\text{U}$  content fuel elements. Since



high  $^{235}\text{U}$  content fuel elements are positioned close to the core center, the reduction in their  $^{235}\text{U}$  content due to lumping causes decrease in reactivity.

It is important to point out that the reactivity difference with respect to Model-1 varies from -0.02 to 1.06 \$ for MCNP 5 code, while from -0.03 to 0.91 \$ for Serpent 2 code. When the shutdown margin value of ITU TRIGA reactor was considered, the decision on the safety of the reactor will be erroneous with 10% to 500% error. Therefore, the results of codes that are using Monte Carlo or deterministic methods must be used carefully.

The reactivity results in Table 3 also shows the different responses of each code. For each case, MCNP 5 overestimates the reactivity value by approximately 6% compared to Serpent 2. The difference between the cylindrical core and hexagonal core is more pronounced with MCNP 5 simulations since the deviation is around 30% for MCNP 5 and around 26% for Serpent 2. Therefore, MCNP code simulations are clearly more sensitive to the implemented geometrical modeling approach than Serpent 2 code. It should be noted here that on the contrary to Serpent 2, MCNP 5 does not have cylindrical lattice feature, therefore, TRIGA core geometrical modelling was performed by coordinate transformation. The same conclusions cannot be made for their response to fuel composition models. Both codes resulted in 0.8% deviation for reduction of fuel element compositions from 69 to 15 and 3.3% deviation when full core averaging of fuel composition is applied. Average of 6% difference between the results of MCNP and Serpent codes can be related to the fact that both codes utilize different nuclear data library. There are also computational uncertainties related to the simulation scheme which may influence the error buildup such as geometric modelling (defining lattices for core), source sampling (MCNP requires position of initial source locations, while Serpent initiates source randomly, which also results into more computation time in the latter), and numerical tolerance difference (surface transformation's matrix coefficients).

There are several studies in the literature about the comparison of Monte Carlo and deterministic codes. In general, simplifications in geometry and material compositions are used for deterministic codes. Sadewo et al. (2019) performed the comparison of WIMS and MCNP codes for Kartini TRIGA reactor. It was found that an average difference of 1.8% exists among code results for excess reactivity. Similarly, Rabir et al. (2012) reported 1.9% difference between TRIGLAV and MCNP code reactivity results. Criticality safety analysis for spent fuel pit of J. Stefan Institute TRIGA reactor was performed with MCNP and WIMS code by Ravnik et al. (1994). The reactivity results indicated 1.7% difference. The novelty of this study comes from the fact that modeling difference was investigated by using the same code. The literature presented above includes two different codes that use different calculation methodology and modeling approaches. Therefore, it is difficult to point out the reason of the difference in the results.

## 4. Conclusions and Recommendations

Monte Carlo simulations of ITU TRIGA Mark II Research Reactor have been performed by using MCNP 5 and Serpent 2 codes to investigate the effect of different approaches in modeling, specifically in geometry and fuel composition, on neutronic parameters. The benchmark analysis validated the simulation geometry and selected simulation parameters for both MCNP 5 and Serpent 2 models since the results showed good

agreement with the experimental data with relative errors less than 1%.

Six models have been defined to investigate the influence of different geometry and fuel composition modeling approaches on core excess reactivity value. It has been found that reactivity drops in the same rate with fuel element composition simplification regardless of the code utilized (0.8% for 69 fuel compositions to 15 and 3.3% for 69 fuel compositions to one, respectively). In addition, this drop becomes more pronounced at very high level of homogenization i.e. only one fuel composition to represent all fuel elements. Geometric transformation from circular to hexagonal lattice has induced more deviation than what is produced by averaging the fuel composition to simplify the simulations (around 30%). It may be concluded that MCNP 5 code is more sensitive to the modeling approaches since the deviation in case of MCNP 5 model reaches up to 1.06 \$ while in case of Serpent 2 it reaches up to 0.91 \$. For reactor with small shutdown margin, inappropriate modeling may affect the conclusion about the safety of the reactor.

The need for simplification in simulations is sometimes inevitable due to limited computational capacity, time restrictions, complexity of the design, and missing details. Furthermore, it might be needed for the purpose of suggesting new technology or concepts that are very expensive to be experimented or established. The investigation which is presented in this study gives a valuable insight on how the numerical results would be influenced by adapting such approaches, in other words, when these influences are considered negligible and when they are too significant to be ignored. This insight also helps to understand how to treat the results of deterministic codes which use fuel homogenization and hexagonal lattice for ring type core configuration.

## References

- Argonne National Laboratory. (2003). MCNP - Version 5, Vol. I: Overview and Theory. Ed., LA-UR-03-1987. [https://mcnp.lanl.gov/pdf\\_files/la-ur-03-1987.pdf](https://mcnp.lanl.gov/pdf_files/la-ur-03-1987.pdf)
- Asuku, A., Ahmed, Y. A., & Agbo, S. A. (2015). Application of positive period method in the calibration and determination of Integral Worth of MNSR Control Rod. Nuclear Energy Science and Technology, 9, 319-332. <https://doi.org/10.1504/ijnest.2015.075485>
- Čalić, D., Žerovnik, G., Trkov, A., & Snoj, L. (2015). Validation of the Serpent 2 code on TRIGA Mark II benchmark experiments. Applied Radiation and Isotopes, 107, 165-170. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.10.022>
- Dall'Osso, A. (2002). A transverse buckling based method in core neutronics models equivalence. Annals of Nuclear Energy, 29, 659-671. [https://doi.org/10.1016/S0306-4549\(01\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0306-4549(01)00068-8)
- General Atomics. (1979). Safety Analysis Report of ITU TRIGA Mark II Research Reactor. General Atomics.
- Hartanto, D., Kim, C., & Kim, Y. (2016). An optimization study on the excess reactivity in a linear breed-and-burn fast reactor (B&BR). Annals of Nuclear Energy, 94, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.02.017>
- Henry, R., Tiselj, I., & Snoj, L. (2015). Analysis of JSI TRIGA MARK II reactor physical parameters calculated with TRIPOLI and MCNP. Applied Radiation and Isotopes, 97, 140-148. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.12.017>

- Huda, M. Q., Rahman, M., Sarker, M.M., & Bhuiyan, S. I. (2004). Benchmark analysis of the TRIGA MARK II research reactor using Monte Carlo techniques. *Annals of Nuclear Energy*, 31, 1299-1313. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2004.02.005>
- Ivanov, V., & Bousquet, J. (2016). Assessing reactor physics codes capabilities to simulate fast reactors on the example of the BN-600 Benchmark. *Kerntechnik*, 81, 512-519. <https://doi.org/10.3139/124.110730>
- Ju, H., Ishiwatari, Y., & Oka, Y. (2015). Fuel rod behavior under normal operating conditions in Super Fast Reactor with high power density. *Nuclear Engineering and Design*, 289, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2015.04.037>
- Khan, R., Stummer, T., Böck, H., & Villa, M. (2011). Neutronics analysis of the initial core of the TRIGA Mark II reactor. *Nuclear Engineering and Design*, 241, 1463-1468. <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.11.003>
- Lamarsh, J. R., & Baratta, A. J. (2001). *Introduction to Nuclear Engineering*. Prentice-Hall Inc.
- Leppänen, J., Pusa, M., Vitanen, T., Valtavirta, V., & Kaltiaisenaho, T. (2015). The Serpent Monte Carlo code: status, development and applications in 2013. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 142-150. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.08.024>
- Li, Y., Zhang, B., Wu, H., & Shen, W. (2017). Heterogeneous neutron-leakage model for PWR pin-by-pin calculation. *Annals of Nuclear Energy*, 110, 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.07.002>
- Rabir, M.H., Usang, M.D., Hamzah, N.S., Karim, J.A. & Salleh, M. A. S. (2012). Modeling The Puspati TRIGA Reactor Using MCNP Code. *Research and Development Seminar, Bangi (Malaysia)*.
- Ravnik, M., & Glumac, B. (1994). TRIGA spent fuel storage criticality calculations. *European TRIGA Users Conference, Ljubljana, Slovenia*.
- Rehman H., & Ahmad, S.-u.-I. (2018). Neutronics analysis of TRIGA Mark II research reactor. *Nuclear Engineering and Technology*, 50, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.11.003>
- Sadewo, P.H. & Wahyono, P.I. (2019). Development of an auxiliary software for WIMS input file creation as a means of calculating the critical mass of the Kartini reactor. *International Conference on Nuclear Capacity Building, Education, Research and Applications (I-Concern'19), Yogyakarta, Indonesia*.
- Suetomi, E., Nakano, S., Takezawa, H., & Takaki, N. (2017). Core geometry for recriticality prevention against CDA in sodium-cooled fast reactor. *Energy Procedia*, 131, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.444>
- Sohrappour, M., & Ezzati, A. (2009). Monte Carlo simulation and benchmarking of pulsed neutron experiments in variable buckling Beo systems. *Annals of Nuclear Energy*, 36, 547-549. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2009.01.014>
- Tetsuo, M., & Nobuhiro, H. (2000). Benchmark Analysis of TRIGA Mark II Reactivity Experiment Using a Continuous Energy Monte Carlo Code MCNP. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 37, 1082-1087. <https://doi.org/10.1080/18811248.2000.9714995>
- Türkmen, M., & Çolak, Ü. (2014). Analysis of ITU TRIGA Mark II research reactor using Monte Carlo method. *Progress in Nuclear Energy*, 77, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.06.015>
- Wang, M.-J., Peir, J.-J., Sheu, R.-J., & Liang, J.-H. (2014). Effects of geometry homogenization on the HTR-10 criticality calculations. *Nuclear Engineering and Design*, 271, 365-360. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2013.11.062>
- Yamamoto, T. (2012). Monte Carlo algorithm for buckling search and neutron leakage-corrected calculations. *Annals of Nuclear Energy*, 47, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2012.04.017>
- Yamamoto T., & Sakamoto, T. (2018). Monte Carlo method for solving a B1 equation with complex-valued buckling in asymmetric geometries and generation of directional diffusion coefficients. *Annals of Nuclear Energy*, 122, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2018.08.025>



# **Kentleşme Olgusu, Kanal İstanbul ve Ulaştırma Kaynaklı Ekonomiye Etkisinin Analizi**

Mehmet Çağrı Kızıldaş<sup>1\*</sup>, Yunus Emre Ayözen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428), [themacagri@yandex.com](mailto:themacagri@yandex.com)

<sup>2</sup> T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9394-1568), [yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr](mailto:yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1074802)

**ATIF/REFERENCE:** Kızıldaş, M. Ç. & Ayözen, Y. E. (2022). Kentleşme Olgusu, Kanal İstanbul ve Ulaştırma Kaynaklı Ekonomiye Etkisinin Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 116-121.

## **Öz**

Kentsel planlama kentin sosyal, ekonomik, ticari, politik, ulaşım ve diğer hizmetler, kültürel ve altyapı performansları açısından hayati bir role sahiptir. Büyük projelerin kente girdi ve çıktı bağlamında ciddi etkileri söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla ile projelerin niceliği kadar niteliği de önemli olmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında ilk olarak İstanbul'daki kentsel gelişim örnekler dâhilinde ele alınmıştır. Ardından ise kentin ve Türkiye'nin ekonomik potansiyeli Kanal İstanbul projesi bağlamında analiz edilmiştir. Takibinde Türkiye'nin bölgesel ve küresel ekonomik, ticari, sosyal ve politik etki alanı ve girişimleri ulaşım bağlamında kapsamlı değerlendirilmiştir. Son olarak da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel büyüme, altyapı, Kanal İstanbul

## **Analyse of Urban Phenomena, Channel Istanbul and Influence on Economy Based on Transportation**

### **Abstract**

Urban planning has a vital role in terms of social, economical, trading, political, transport and other services, cultural and infrastructural performance of urban. There are serious effects of mega projects to urban as input and output. Hence quality of projects are as significant as quantity of projects too. In this context in this paper firstly urban development in Istanbul is evaluated on the parallel of specific samples. Then economical potential of Istanbul and Turkey is analyzed on the context of Channel Istanbul. After these economical, trading, social and political intuitives and influence areas of Turkey on regional and global scale are detailed examined in terms of transportation. Lastly conclusions and recommendations are presented.

**Keywords:** Urban growth, infrastructure, Channel Istanbul

\* İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0001-9852-9428, [themacagri@yandex.com](mailto:themacagri@yandex.com)

## 1. Giriş

Ülkemiz gelişmekte olan ülkeler sınıfındadır. Gelişmiş ülkelerde altyapı yatırımlarının toplam yatırımlar içerisindeki payı düşüktür zira gelişimlerini tamamlamışlardır. Temel altyapı eksiklikleri bulunmamaktadır. Gelişmemiş olan ülkeler ise altyapı kurulum aşamasının başlarında, uzun vadeli bir planlamaya ihtiyaçları bulunmaktadır. Ancak gerek ekonomik kısıtları gerek farklı disiplinler arası eş güdüm eksiklikleri gerek kurumsal koordinasyonun yetersizliği gerekse de sosyal ve teknik fazlarda geri aşamalarda olmaları nedeni ile yıllık altyapı yatırım oran ve miktarları düşük değerlerde kalmaktadır. Ancak gelişmekte olan ülkeler ise ekonomi-teknik-sosyal-kültürel-politik olarak belirli bir ivme ve entegrasyonu yakalamış, tabir yerinde ise çarkları döndürmeye başlamıştır. Aynı anda hem gelişim dinamikleri sürekli olarak altyapı talebini ortaya çıkarmakta, yakalanan sinerji ise altyapı yatırımlarının etkin ve verimli bir şekilde gerçekleşmesini temin etmektedir. Bu artık sürekli, sürdürülebilir ve istikrarlı bir döngüye dönüşmeye başlamıştır (Altan, M.F. vd. 2020).

Ülkemiz; gelişmekte olan bir ülke olarak yıllık yatırımlarının ağırlıklı çoğunluğunu altyapıya yapmaktadır. Altyapı dışındaki yatırımları ise eğitim, hizmet sektörü, sağlık, spor, savunma sanayi, gıda gibi temel başlıklarda ele alabiliriz. Altyapıyı kısaca; doğalgaz, elektrik, içme suyu, atık su, ulaştırma gibi başlıklarda değerlendirebiliriz. Kısacası kent şebekeleri ve bunun merkezindeki rolü ile ulaştırmayı zikredebiliriz. Ülkemiz yıllık altyapı yatırımları içerisinde ulaştırmanın payı ise %50'lerdedir. Bunu inşaat sektörü ve mühendisliğin ülkemiz için inşa edici vasfı ve göç paralelinde hızlı kentleşmemiz ile beraber düşündüğümüzde ortaya devasa bir ekonomik ve sosyal hacim çıkmaktadır. Ulaştırma, kentleşme ve inşaat üçgeninde kapsamlı bir bakış; gerçekleştirilmekte olan ulaştırma yatırımlarının büyük çoğunluğunun ülkemiz için on yıl, elli yıl ve yüzyıllık periyotlarda önemli ekonomik ve sosyal sonuçlarının olacağı açıkça anlaşılmaktadır (Kızıltaş, M.Ç. ve Altan, M.F., 2018).

Yapılmakta olan ulaştırma ve diğer altyapı yatırımları ile Türkiye'nin bölgesel merkezlik konumu güçlendirilmeye çalışılmaktadır. Türkiye düzenli ekonomik büyüme kat eden bir ülkedir. Altyapı gelişim süreci ise devam etmektedir. Türkiye'nin mevcut durumda Avrupa Birliği'nin yanı sıra Bulgaristan, Makedonya, Macaristan, Ukrayna, Gürcistan, Azerbaycan, Irak gibi ülkeler ile entegrasyon ve ticaretini artırması gerekliliği daha da belirginleşmeye başlamıştır. Bunun için de karayollarının yanı sıra denizyolları ve demiryollarının önemi de oldukça artmıştır. Bu noktada İstanbul, Bursa, Samsun, Antalya, Kırklareli, Sakarya gibi kentlerin Türkiye için önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.

Bilindiği üzere İstanbul başta olmak üzere ülkemizde ekonomik gelişim, alım gücündeki artış, Gayri Safi Milli Hasıla'daki (GSMH) artışa paralel olarak kullanım ve tüketim alışkanlıkları değişmektedir. Bu süreçte; küresel eğilimlerin yanı sıra, yeterli ve yetersiz yönleriyle yerel dinamiklerimiz de gelişimin yönü ve şekli üzerinde belirleyici olmaktadır. Küresel sermayenin merkezlerinden olan Köln, Amsterdam gibi kentlerde, bilinenin aksine, alışveriş merkezi, yaşam merkezi gibi büyük çaplı ve çok katlı yapılar sınırlıdır. Dolayısıyla; küresel gidişatın ve sermayenin bizatihi kendisi olumlu ve olumsuz yönleriyle zaten değerlendirilmesi gereken bir hususken, söz konusu yapının yerleşik olduğu bu kentlerin en azından kendi içerisinde daha sağlam bir sistem bütününe ve tutarlılığına sahip olduğu da unutulmamalıdır (Hu, J. vd. 2012). Bu yüzden; ülkemiz en

temelde, tüketim kültürü ve alışkanlıkları noktasında sağlıklı bir anlayış bütünlüğü ve bir yönetim stratejisi geliştirmek durumundadır. Şehirlerimiz; eşsiz tarihi ve kültürel birikimini günümüzde de bir şekilde yansıtabilecek ve yarımlara taşıyacak bir hüviyette planlanmak zorundadır. İlk önce anlayış bazında şehirlerimizin, 100-200 yıllık geçmişine olan, kimliksiz ve birbirinin kopyası olan küresel çaptaki türedi kentlerle aynılışmasının önüne geçecek bir yolun bulunması gerekmektedir. Bu noktada, alışveriş merkezi kavramından türedi bir kelime olan 'yaşam merkezleri'nin hayatı kuşatmaya başladığı da görülmelidir. Geçmişte gerçek manasıyla yaşamın merkezi olan külliyelerin yerini hangi hüviyeti ile bu söz konusu yaşam merkezlerinin alabileceği detaylı tahlil edilmelidir. Çıkamaz sokaklar, çınaraltılar ve avluların sağladığı yaşam kalitesini alışveriş merkezleri, gökdelenler, blok yapılar sağlayabilir mi? Bu bağlamda ilk olarak, yaşam kalitesi algısının da radikal bir biçimde kırılmaya uğratıldığının da farkına varılması gerekmektedir.

Geneli itibariyle algı boyutunda yerleştirilmesi gereken birçok nokta olduğu açıktır ve bunlar temel ve daha uzun süreli boyutları teşkil etmektedir. Özeli itibariyle alışveriş merkezleri (AVM) ölçeğinde bakıldığında ise, İstanbul Anadolu yakasında ve Avrupa yakasında bilinen ilk AVM'ler 1990'lı yıllarda inşa edilmiş olan Capitol ve Ak Merkez'dir. Uzunca bir süre İstanbul genelinde AVM sayısı kısıtlı kalmış olup günümüz itibariyle neredeyse her semtte bir AVM bulunduğu duruma gelinmiştir. Bu durum sadece İstanbul'un silüetini değil aynı zamanda bütün hizmet koşullarını baştan aşağı etkilemektedir. Söz gelimi aynı büyüklükteki bir arazi üzerinde büyük açıklıklı ya da yüksek katlı bir yapı inşa edildiğinde, daha önceki geleneksel yapılaşma ile aynı arazide yaşayan nüfusun 4-5 misli bir nüfus yaşayacaktır. Buna karşın, ortalama bir yıl içerisinde kat edilen bu nüfus değişimine karşın aynı sürede 4-5 misli bir altyapı gelişimi, yol bağlantısı gelişimi, su-elektrik-doğalgaz hizmet gelişimi kat edilememiştir. Buda; altyapı sorunları, trafik tıkanıklığı sorunları ve sosyal adaletsizlik kaynaklı sorunlar olarak geri dönecektir (Lee, B. vd. 2012).

Bu anlamda; AVM'lerde yapı ruhsatlandırması süreci ile ilgili aşağıdaki noktalar dikkat edilmesi gereken hususlar olarak ortaya konabilir:

- İstanbul (veya ilgili kent) çeşitli alt bölgeler halinde değerlendirilerek, mevzu bahis alt bölgelerin nüfus, istihdam, coğrafya ve ekonomik dağılımları (hane halkı büyüklüğü, otomobil sahipliği oranları, bölgedeki iş alanları vb.) göz önüne alınarak asgari-azami yüksek yapı-geniş açıklıklı yapı sayılarının belirlenmesi
- Bu bölgelere mücavir alanlardaki (komşuluğundaki) yapı karakteristikleri ve sınıflandırmaları çıkarılarak, bunlardan elde edilecek değerlere göre, ortalama bir yapılar arası mesafe değerinin çıkarılması
- Belirli özelliklere göre (coğrafya, tarih, yerleşim, doğal güzellik, nüfus büyüklüğü, iklim vs.) çeşitli bölgelerin AVM ve benzeri yapıların yasak olduğu alanlar ilan edilmesi, çeşitli bölgelerin ise özellikle bu gibi yapıların yoğunlaştığı bölge olarak belirlenmesi. Bu çerçevede de; bölgelerin bu nevi yapılar yönünden (AVM vb.) sayı ve büyüklük itibariyle kendi içerisinde de kademelendirilmesi

- Mücavir alanda yoğunlaşan ulaşım ağları, yol standartları, ulaştırma türleri vb. gibi ölçütlerinde bu süreçte dikkate alınması
- Gerekirse 'AVM' kavramının da yeniden ele alınarak kendi içerisinde ilgili niteliklere göre (alım gücü, mahallin sosyo-kültürel yapısı, nüfus yoğunluğu vs.) çeşitlendirilmesi (büyüklük, yoğunlaşan ürünler ve ürün çeşitliliği, mimari vs.) ve buna göre karar ve uygulama aşamalarındaki hareket kabiliyetinin artırılması
- Bölgeye bir AVM inşaatı kararı aşamasına gelmeden önce ilgili alanın ulaştırma-trafik-altyapı vs. senaryolarının detaylı olarak çıkarılması. AVM inşaatı tamamlandıktan sonra oluşan sorunlara göre geçici çözümler geliştirilmeye çalışılması
- Onay sürecinde değerlendirilen alanın mimari ve mahalli yapısının da göz önüne alınması, bu bağlamda eğer AVM kararı alınması noktasına gelirse de mevcut ve/veya korunması hedeflenen mimari yapı ile uyumlu bir yapısal tasarımın gerçekleştirilmesi
- AVM'lere alternatif olarak metro istasyonu çevrelerinin ve konvansiyonel-yüksek hızlı tren garlarının şehrin merkezi bir alışveriş alanı olarak tasarlanması ve değerlendirilmesi, bunun için eğer gerekliyse ilgili imar düzenlemelerinin yapılması
- Mevcut onay sürecinde hükümetin denetim mekanizmasının aktive edilerek dâhil edilmesi, bunun için ilgili noktalarda Ulaştırma Denizcilik Haberleşme Bakanlığı, Kalkınma Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın devreye girdiği mekanizmalar oluşturulması. Bu çerçevede resmi muhatapların sayısı artırılırken prosedürel sürecin buna paralel olarak artmasına mani olunması
- Karar sürecinde; düşünülen bölge için mücavir alandaki hastane-okul başta olmak üzere ilgili hizmet yapılarının envanteri çıkarılarak, buna göre her bölge için bir 'sosyal hizmet katsayısı' oluşturulması. Ve bu çerçevede karar alınırken bu katsayıların da dikkate alınması, bu yönde bir eksiklik var ise bu eksikliğin giderilmesi noktasının AVM ve benzeri yatırımların önüne alınması (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç. vd. 2018).

A alışveriş merkezleri, gökdelenler ve diğer büyük açıklıklı ve yüksek katlı yapılar kentsel planlamalarda özellikle de mega kentlerde çok önemli bir noktayı teşkil etmektedir. Yapılmakta olan büyük altyapı projeleri kentsel planlamaları sekteye uğratmamalı, çevrecilik veçhesini göz ardı etmemeli, ekonomik hareketlilik artışına hizmet etmekle birlikte rant odaklı insiyatiflere imkan tanınamalıdır. Mega projeler kentin kimliğini sekteye uğratmamalı, aksine tahkim edici bir işleve de sahip olabilmelidir. Kenet binlerce yılın birikimini günümüze taşımakta ve toplumsal hafıza aktarımının en önemli gereçlerinden bir tanesini teşkil etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

İstanbul başta olmak üzere kent içi raylı sistem yatırımları, denizyolları ve iç suyolları yatırımları, Anadolu kentlerindeki havalimanı inşaları ve bu kentleri birbirine bağlayan yüksek hızlı demiryolu yatırımları başta olmak üzere pek çok yatırımdan söz edilebilir. Son yıllarda ülkemizde aynı anda birden fazla mega projenin inşası ve açılışı gerçekleştirilmektedir.

Bu yatırımlardan işleme alınanların başlıcaları; Metrobüs, Marmaray, Avrasya Tüneli, Ankara-Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu hattı, Ankara-Konya yüksek hızlı demiryolu hattı, Osmangazi Köprüsü ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü olarak sayılabilir. Dünyanın en büyüğü olması öngörülen İstanbul 3.havalimanı, İzmir-Gebze Otoyolu, Ankara-Yozgat-Sivas yüksek hızlı demiryolu hattı, Ankara-Afyon-Manisa-İzmir yüksek hızlı demiryolu hattı ve Çanakkale 1915 Köprüsü gibi devasa yatırımların ise inşası devam etmektedir. Yine gündemde olan ya da inşa fazında olan onlarca proje sayılabilir (Kızıldaş, M.Ç. ve Altan, M.F., 2017).

Bunlar içerisinde belki de en çok ses getireni ve etkileyici olanı Kanal İstanbul'dur. Proje gündeme geldiğinden beri belirli kesimlerce kategorik olarak karşı çıkılmış, belirli kesimler samimi çekinceler ortaya koymuş, bir kesim sessizlikle karşılanmış ve doğrudan destekleyen de çok sayıda da insan olmuştur. Proje başlı başına heyecan vericidir. Bu gibi yürekleniciler ve ön alıcı, ufuk açıcı projelere, yapıcı tarafından bakarak olabilirliğinin imkânlarını bilimsel yönden bütünü ile sorgulamak doğru olanıdır. Yani proje, nasıl cazip ve yapılabilir hale getirilebilir sorusuna cevap aranmalıdır. Elbette ki riskler ve soru işaretleri olabilir ancak kapsamlı bilimsel çalışmalar ile bunun asgariye indirilmesi yönünde samimi gayretler gereklidir. Çevresel, kültürel ve doğal açıdan kapsamlı tedbirler alınması bir zaruret zira bu bir kentin yeniden dirilerek eşik atlamasına da yol açabilir, varlık zenginliğinden kaybetmesine de neden olabilir. Dolayısı ile kapsamlı etütler zaruridir ama samimi ve iyi niyetli yaklaşım da zorunludur (Chen, C. vd. 2012).

Son 15 yılda ülkemizde Anadolu'ya, doğuya, iç bölgelere ve her köşeye, Cumhuriyet tarihi boyunca görülmemiş ölçeklerde yatırımlar yapılmıştır, yapılmaya da devam etmektedir. Ancak niceliğin niteliklerle birleştiği noktada verim ve başarı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı tek boyutlu olarak; en iyi, en büyük, en hacimliyi yapmak başarıya yetmeyebilir. Bu da bize planlama, koordinasyon, entegrasyon (eş güdüm) ve istişarenin önemini hatırlatmaktadır. Son 15 yılda Anadolu sathındaki yatırım artışına paralel olarak İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Antalya, Konya gibi büyük kentlere de ciddi yatırımlar yapılmıştır, yapılmaya devam etmektedir. Dolayısı ile bu mega kentler ile Anadolu kentleri ve kırsal arasındaki yatırım dengesinin de yeniden kurulduğunu söylemek yersiz olmaz. Buradan hareketle, bu dengenin de daha doğru ve mümkün olduğunca en sağlıklı noktada teşkiline çalışılmalıdır. Bunun için de planlama, iş birliği ve istişare zaruret (Chen, Z. 2017). İstanbul'daki ve çevre illerdeki yatırımlar birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadır. İstanbul 3.havalimanı, Kanal İstanbul ve onun öncülüğündeki oluşacak yeni kentsel dokuyla daha etkin bir konum elde edecektir. Buna paralel olarak 3.havalimanına bağlanacak olan metro ve bağlanması planlanan yüksek hızlı demiryolu, Kanal İstanbul ile mevcut kentsel alanların entegrasyonuna da aracı olacak ve müthiş bir ekonomik sinerji ortaya çıkartacaktır. Diğer taraftan da yine Yavuz Sultan Selim Köprüsü de Kanal İstanbul'a ve çevresinde oluşacak kentsel alana bağlantının bir aracına dönüşecektir. Yeni boğaz yolu (Kanal İstanbul) aynı zamanda yeni konutlar, yeni kentsel alanlar, kentle iç içe yeni yeşil alanlar, yeni turistik alanlar ve köprülerin de ortaya çıkışı demektir. Bütün bunlar inşaat başta olmak üzere birçok sektörde ülkemizde kayda değer bir canlanmaya neden olacaktır. Ayrıca bütün bu inşa sürecinin kendi içerisinde birçok alt başlığından söz edilebilir (SUMP 2015).

Kanal İstanbul'un ekonomik getirileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Boğazlar sözleşmesi gereği İstanbul boğazında geçirilmesine izin verilen yük gemilerinden kaynaklı trafiğin büyük ölçüde Kanal İstanbul'a aktarılacağı söylenmektedir. Bu Boğaziçi için büyük bir çevresel kazanım, boğaz civar alanının mimari gelişiminde daha fazla hareket kabiliyeti ve kent içi ulaşımında şehir hatları ve diğer yolcu taşımacılığının daha fazla hacim, sıklık ve güzergâh ile uygulanması anlamlarına gelmektedir.
- İnşa süresince devasa bir şantiye alanındaki yapım kapsamında başta inşaat sektörü olmak üzere pek çok sektörde uzun yıllara yayılı istihdam söz konusu olacaktır. Akabinde ise bunların bir kısmı işletim süresince de varlığını sürdürecektir bir artı istihdam anlamına gelmektedir.
- Kanal İstanbul'un inşası süresince devasa bir deneysel alanda AR-GE havuzu oluşturulması bir zarurettir. Hatta birçok üniversite; araştırmacısı, akademisyeni, piyasa ortakları ve öğrencisi ile bu sürece bir şekilde dâhil edilebilir. Kanal İstanbul'un inşası ayrıca belirlenecek öncelikli alanlar paralelinde yerli üretimin belirli alanlardaki bir itici gücüne de dönüştürülebilir, dönüştürülmelidir de.
- Bununla beraber kazı ile ortaya çıkacak devasa hafriyat ile kentin kuzeybatısındaki devasa maden alanlarının doldurularak yeşil alana dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bundan da öte kalan hafriyat ile kanalın Marmara denizindeki güney ağzına en az 3 ada yapılması düşünülmektedir. Bu da turizmde devasa bir girdi demektir. Bunun yanı sıra kalan hafriyat ile ise kanalın kuzey ağzında Karadeniz'de devasa dolgu alanlarının oluşturulması ve buralarda serbest ticaret bölgelerinin teşekkülünde söz edilmektedir. Bu da çok büyük bir bölgesel ekonomik gücün devşirilmesi anlamına gelebilmektedir. Bütün bu çevresel, turistik ve ekonomik ayağın tamamlayıcısı ise politik ayaktır. Zira bütün bunların gerçekleştirilmesi ancak büyük bir politik güçle sağlanabilir. Ülkemiz artık hak ettiği bu seviyelere gelmiştir. Sadece bölgenin değil, Akdeniz çanağının ve hatta bütün bir kürenin ana ticaret güzergâhlarından birisinde hayatı bir değişikliğe imza atılmaktadır. Ayrıca uluslararası bir deniz olan Karadeniz'de dolu ile devasa bir toprak alanı kazanılmakta ve ülkemiz bu alanın güvenliğini her anlamda sağlayabilmektedir. Oldukça büyük bir çöküntü alanı olan kör maden yatakları da büyük bir sosyal proje olarak yeşil alana kazandırılmaktadır. Yani halka kazandırılmaktadır. Yine Marmara'da önemli büyüklükteki adalar ile Marmara'dan Karadeniz'e kadar uzun bir hat turistik bir cazibe merkezine de dönüştürülmektedir.
- İstanbul ülkemizin en fazla göç alan kentidir. Diğer taraftan yine İstanbul deprem riski ile beraber yaşamaktadır. İstanbul'un deprem kuşağı en çok kentin güney hattında kendini gösterirken kentin kuzeyi ise son ormanlık alanlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bundan da öte kent farklı ve yer yer zorlu bir topografyaya da sahiptir. Dolayısı ile birçok açmaz ile de mücadele durumundadır. Buradan

hareketle Kanal İstanbul'un inşasında hem deprem riski, hem çevresel riskler bütünü ile merkezi bir şekilde gündemde bulundurulmalı ve hem de kentteki nüfus politikaları, sıkı, bütünlüklü ve bilinçli bir şekilde takip edilmelidir. Kanal İstanbul, kente yeni göç dalgası çekmemelidir. Kentsel çöküntü alanlarında oluşacak boşluk Anadolu'dan yeni gelen göçle doldurulmamalı, tam tersine yüksek nüfus yoğunluklu ve yüksek deprem riskine sahip kent içi yerleşimlerde, Kanal İstanbul çevresindeki kentsel oluşuma paralel nüfus seyrekleşmesine gidilmelidir. Bütün bunlar; çevre, deprem ve kentsel nüfuslanma hususlarında hata kaldırmaz bir disiplin ile çalışmayı zaruri kılmaktadır.

- Kentsel dönüşüme de bu bağlamda Kanal İstanbul ile bütüncül bakılmalıdır. Diğer taraftan Kanal İstanbul civarında oluşacak yeni kentsel doku sadece üst ve en üst ekonomik tabakaya hitap edecek bir yöne evrilerek sosyal dokuyu ve sosyal adalet duygusunu zedelememelidir (SUMP 2015).
- Tarihte Osmanlı çağında Sokullu Mehmet Paşa döneminde Adapazarı-İzmit ve Kafkaslarda da Don-Volga kanal projeleri denenmiş ancak ülkenin gerileme dönemi nedeni ile ekonomik sıkıntılardan dolayı tamamlanamamıştır. Hâlbuki iki proje de tamamlansa idi bölgede Osmanlı çağı farklı bir hal alarak uzayabilirdi. Bugün kinin 3 katı büyüklükte bir nüfus ve yüz ölçüm ile ekonomik, kültürel, sosyal ve teknik yönden daha verimli ve güçlü durumda olabilirdik. Hazar denizi, Karadeniz ve Marmara birbirine su yolu, deniz ve ticaret yolu vasıtası ile sıkı sıkıya bağlanabilir. Bugün ise kalkınma dönemindeyiz, ekonomik veriler ve politik irade böyle bir atılma itici güç olabilir. Ayrıca bu durum küre ölçeğinde, denenmemiş bir maceraya da işaret etmemektedir. Zira Panama Kanalı ve Süveyş Kanalı bunun bilinen örneklerindedir. Daha farklı örnekler de bulunmaktadır. Hepsisi de amaca hizmet etmiş ve daha birçok faydayı da temin etmiştir. Bunların başlıcalarından birisi de bölgesel ticaret hacminin artışıdır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Türkiye'nin sınır ötesi ticaretinde sürekli değişim durum, imkân ve ihtimallerden söz etmek mümkündür. On yıl kadar öncesinde tahkim edilen düzende; Rusya, Almanya, Hollanda, Irak, Suriye, İran, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Libya, Kazakistan, Azerbaycan, Çin, Mısır, Pakistan önemli ekonomik partnerlerdi (Barla, C. vd. 2012). Son yıllarda bölgede oluşan ve 'Arap Baharı' olarak adlandırılan süreç önce uzayıp sonra da halkların aleyhine bir evreye evrilmeye başladığında milyonlarca insanın ölümü, on milyonlarca insanın yaralanması, yüz binlerce insanın hapse girmesi, dikta yönetimleri, darbeler, ekonomik buhranlar, siyasi hayatların akamete uğraması, ülkelerin bölünmesi, ülkelerin yıkılma eşğine gelmesi, rejim katliamları, tehcirler, toplumsal grup gerilimleri-uyuşmazlıkları-çatışmaları, on milyonlarca insanın yurtiçi ve yurtdışı mülteci durumuna düşmesi, suikastlar ve terör örgütleri sonucunu doğurdu. Bu durum da Türkiye'nin Suriye'deki yönetim kaynaklı olarak Suriye ile ticari ilişkileri ortadan kaldırdı, Irak ile ticari ilişkileri belli süre ortadan kaldırdıktan sonra onarım sürecine girdi, İsrail ve Rusya ile ticari ilişkileri belirli süre ciddi anlamda ortadan

kalktıktan sonra iyileşme sürecine girdi, Libya ve Yemen ile ticari ilişkileri ciddi kesintilere uğradı. Ülkemizin Hollanda ile ticari ilişkileri önce ortadan sonrasında ise nispi yetersiz iyileşmeler kaydedildi. Pakistan, Mısır ve Sudan gibi ülkelerin artan politik istikrarsızlıkları ve azalan ekonomik güçleri de bundan etken olmuştur. Gelinek noktada Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile de olan ekonomik ilişkilerde kayda değer düşüşler yaşanmıştır. Günümüzde ise Libya, Irak, Rusya, Almanya, Hollanda, İsrail ile olan ekonomik ilişkiler iyileşme evresindedir. Sudan, Somali, Japonya, Endonezya, Vietnam, Çin, Özbekistan, Azerbaycan, İran, Pakistan, Cezayir, Venezüella, Kolombiya, Meksika, Nijerya, Uganda gibi ülkelerle ticari ilişkiler artmaktadır. Özellikle Rusya, Almanya, Irak, İran, Katar, Suudi Arabistan, Kuveyt, Çin, Azerbaycan, Kazakistan, Sırbistan, Romanya, Gürcistan, Arnavutluk gibi ülkelerle ticari ilişkiler başat bir seviyededir. Özbekistan, Brezilya, Venezüella, Almanya, Azerbaycan, Irak, Meksika, Somali, Nijerya, Kolombiya, Vietnam gibi ülkelerle olan ticari ilişkiler ise büyük bir hızla artmaktadır (Rietveld, P. ve Daniel, V., 2004)

Ülkemiz; G20 (en gelişmiş 20 ekonomi) üyesi bir ülke olup Karadeniz, Akdeniz, Balkanlar, Ortadoğu ve Avrasya'daki pek çok coğrafi ekonomik işbirliği örgütünün bir parçası konumundadır. Diğer taraftan Latin Amerika ülkelerinin ekonomik iş birliği toplantılarına katılır iken bütün Afrika kıtası ile ticari ilişkileri en ivmeli bir şekilde arttıran ve azami ticari hacme ulaşan bir ülke konumundadır. Diğer taraftan Türkiye, İslam Konferansı Örgütü (İKÖ) ve D8 (Gelişmekte Olan 8 Müslüman Ülke) ekonomik ve politik örgütlerinin aktif ve yönetici bir üyesidir. Aynı zamanda Birleşmiş Milletler ve NATO (Kuzey Atlantik Askeri Paketi) üyesi de olan Türkiye, Avrupa Birliği ile üyelik müzakerelerini uzunca bir süredir sürdürmektedir.

On yıl önceki süreçte tahkim edilen politikaların temel sacayaklarından bir tanesi ise Avrupa Birliği (AB) ile sıkı işbirliği ve üyelik eksenidir. Gelinek noktada bu eksenin başka bir eksene geçilmiş olup söz konusu sıkı işbirliği sürecinden uzaklaşmıştır. Ancak son bir yıllık dönemde Avrupa Birliği (AB) üye ülkeleri ile farklı bir platformda olsa da iletişim ve ilişkilerin tekraren sıklaştığı görülmektedir. Türkiye; Afrika Birliği ile de yoğunlaşan ilişkilere sahip iken diğer taraftan da Şanghay İşbirliği Örgütü'nün (ŞİÖ) gözlemci üyesi statüsünü elde etmiş bir durumdadır. Ayrıca ülkemiz 2018 yılı içerisinde en üst düzey katılım ile Güney Afrika Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen BRICS birliğinin toplantılarına iştirak etmiştir. Bu söz konusu birlikte ekonomik, toplumsal, kültürel ve politik birçok veçheye sahip olmasına karşın odağında ise ekonomi bulunmaktadır. BRICS adlandırması; Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti ülkelerinin İngilizce baş harflerinden oluşmaktadır. Türkiye'nin de bu birliğe dahil gündemdeki konulardan birisidir. Arap Birliği toplantılarına da gözlemci statüsünde zaman zaman katılan Türkiye, Türk Konseyi Örgütü'nün de kurucu bir üyesidir. Bu birliğin son toplantısı; Türkiye, Kazakistan, Kırgızistan, Özbekistan, Tacikistan, Macaristan, Özbekistan, Azerbaycan, Türkmenistan ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin (KKTC) katılımı ile 2018 yılı içerisinde gerçekleştirilmiştir (Altan, M.F. vd. 2020).

Ülkemizin; sahip olduğu ekonomik ve toplumsal dinamikler, büyüklük ve büyüme hacmi itibari ile Brezilya, Meksika, Arjantin, Venezüella, Kolombiya, İtalya, İspanya, Polonya, Ukrayna, Romanya, Fransa, Almanya, İngiltere, Hollanda, Nijerya, Sudan, Somali, Cezayir, Fas, Libya, Mısır, Uganda,

Madagaskar, Kongo, Kenya, Mali, Etiyopya, Gana, Güney Afrika, Kamerun, Suudi Arabistan, Yemen, Irak, Ürdün, Tanzanya, Senegal, İran, Afganistan, Pakistan, Bangladeş, Kazakistan, Özbekistan, Azerbaycan, Rusya, Çin, Hindistan, Vietnam, Filipinler, Japonya, Güney Kore, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Macaristan, Sırbistan, Yunanistan, Endonezya, Tayland ve Malezya ile ilişkilerini geliştirmesi beklenmektedir. Türkiye bölgesinde ise Irak, İran, Azerbaycan, Gürcistan, Suriye, Ermenistan, Bulgaristan ve Yunanistan ile kara sınırı komşusudur. Rusya, Ukrayna, Gürcistan, Bulgaristan, Romanya, Moldova, Yunanistan, KKTC, Güney Kıbrıs, Suriye ile deniz sınırı komşusudur. Filistin, İsrail, Ürdün, Kuveyt, Mısır, Arnavutluk, Sırbistan, Kosova, Hırvatistan, Karadağ, Makedonya, Bosna Hersek, Macaristan, Avusturya, Suudi Arabistan, Türkmenistan, Libya, Kazakistan ve İtalya ile ise yakın bölge komşusudur (Tarasova D. vd. 2014). Ülkemiz, Azerbaycan ile ara sınırını teşkil eden Nahcivan bölgesinde başta ekonomik olmak üzere birçok anlamda etkindir. Yine Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) ile Türkiye'nin bütünlüğü bilinmektedir. Diğer taraftan Azerbaycan Cumhuriyeti ile ülkemizin yakınlık ölçüleri bilinen bir gerçektir. Bölgede Gürcistan, Bulgaristan, Makedonya ve Sırbistan ile Türkiye'nin çok sıkı ve yakın ilişkileri mevcuttur. Kosova başta olmak üzere söz konusu ülkelere Türkiye'nin çok ciddi bir ekonomik nüfuzu söz konusudur. Son dönemde Ukrayna, Macaristan ve Polonya ile kurulan ilişkilerin artan ekonomik boyutu da iyi bilinmektedir. Azerbaycan, Gürcistan ve Türkiye; artan ekonomik ve politik ortaklaşmalarını son kertede Bakü-Tiflis-Borçalı-Ahıska-Ahılale-Batum-Kars yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ile perçinlemişlerdir. Son 2 yıl içerisinde Özbekistan ile ilişkilerin üssel olarak artması ile bir Türkiye-Gürcistan-Azerbaycan-Kazakistan-Özbekistan ekonomik hattından bahsetmek mümkün olmaktadır. Bu hat güneydoğuda Pakistan ve güneyde de Katar ile tamamlanmaktadır. Libya, Cezayir, Bosna Hersek, Arnavutluk, Romanya, Moldova ve Sırbistan ile gelişen ekonomik ilişkiler de bu minvalde yorumlanmalıdır. Bunun devamında da Sudan, Somali, Cibuti, Uganda ve Tanzanya ile bir hattı teşkil eder bir şekilde ekonomik ilişkilerin arttırıldığı altı çizilmelidir (Kızıldaş, M.Ç. ve Altan, M.F., 2018). Suriye'deki operasyonlar çerçevesinde Türkiye'nin kontrol ettiği alanda 5-6 milyonluk bir Suriyeli nüfusu barınmakta olup bölgede kentleşme, asayiş, ulaştırma, yerel yönetim, sağlık, eğitim, tarım, petrol ve yan sanayi, akademi ve inşaat sektörlerinde önemli adımlar atılmaktadır. Suriye'nin kuzeybatısındaki bu bölge verimli araziler, yer altı kaynakları ve Suriye'nin her bölgesinden insan ve kültür zenginliğini içerisinde barındırmaktadır. Türkiye'nin kontrolünde bölgede hâlihazırda önemli otoyollar, demiryolları ve sivil-askeri havalimanları da bulunmaktadır. Irak'ta da yine Türkiye'nin kontrolünde kayda değer bir alan bulunmaktadır. Kırsal ağırlıklı olan alan seyrek nüfuslu olup sınır boyunca bir tampon bölge hüviyetindedir. Yine bu bölgede de yer altı kaynakları bulunmakta olup genellikle sert iklim ve sık orman ve dağlık alanlara sahip bir yapıdadır. Irak ile artan ticari ilişkilerin karşılıklı yansıması olarak Türkiye bu ülkeye elektrik ve su satmakta, bu ülkeden petrol satın almaktadır. Irak ile 2. bir sınır kapısı açılması kararı alınmış olup bu sınır kapısı üzerinden oluşturulacak ticari yolun üst standartlarda bir otoyol ile doğrudan Irak'ın başkenti Bağdat'a bağlanması planlanmaktadır.

Söz konusu otoyolun Türkiye tarafından yapılması düşünülmekte iken bu yolun Türkiye sınırında, açılması planlanan Ovaköy sınır kapısından başlayarak Telaar-Musul-Kerkük-Tuzhurmatu-Bağdat güzergâhını izlemesi beklenmektedir. Söz

konusu hattın takip eden yıllarda Irak'ın güneyinde, Basra körfezine kıyısı olan, ülkenin en büyü kentlerinden birisi olarak Basra'ya da uzatılabileceği konuşulmaktadır. Söz konusu hatta takip eden yıllarda bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) projesi de düşünülebilir. Ayrıca da işbirliği kapsamının genişletilmesine

#### 4. Sonuç

Görüldüğü üzere kentleşme ülkeler, toplumlar ve ekonomi üzerinde bu yüzyılda her zamankinin üzerinde bir etkiye sahip olabilir. Bu etkinin yönünde planlama ve de ulaştırma ile olan ilişkisi ve de bu bağlamda ulaştırmanın performansı belirleyici bir noktadadır. Kentleşme elbette ki sadece niceliksel bir büyümeyi değil ve fakat aynı zamanda da niteliğe dayalı bir gelişimi ifade etmektedir. Bu da çok daha kapsamlı bir çalışmayı gerektirdiği gibi doğru ekonomik kalkınma, teknik ilerleme ve toplumsal gelişimin de anahtarı ve itici gücü olacaktır. Özellikle de ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde söz konusu bu husus daha önemli ve belirleyicidir. Zira gelişmiş ülkeler zaten büyük ölçüde gelişimini tamamlayıp belirli bir yönde bir karakter ve sınıf elde eden denge ve istikrar içerisindeki bir yapıya kavuşmuş bir durumdadır (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç. 2020).

Bu anlamda yapılacak olan yatırımların kent üzerindeki etkilerinin kapsamlı ve de çok yönlü olarak tahlil, analiz ve tespitinin yapıp akabinde buna binaen eyleme dökülmesi oldukça önemlidir. Türkiye gibi ülkelerde ekonomi kalkınma kentlerdeki ve ulaştırma sistemindeki büyüme ve gelişmeyi doğrudan teşvik etmekte ve tetiklemekte ve de buna karşın söz konusu disiplinlerdeki olumlu ve olumsuz gelişmelerden de doğrudan etkilenmektedir (T.C. 10.Kalkınma Planı, 2012). Türkiye'nin stratejik konumu bilinmektedir. Ekonomi ve ticaret, Türkiye gibi coğrafi önem ve avantaja sahip olan ülkelerde ulaştırma ve kentleşme ile daha da iç içe girmektedir. Türkiye'nin bölgesel ölçekte attığı adımlar ve aldığı insiyatifler kabuğunu kırmaya yönelik adımlar olup önümüzdeki 50 yılı ve gelecek nesillerin yaşam koşullarını ciddi anlamda etkileyecektir. Bu çerçevede de Kanal İstanbul gibi yatırımların bölgesel ve küresel yük ve yolcu taşımacılığındaki yeri ve önemi ortadadır. Ancak bu noktada konunun sosyal, ekonomik, çevresel, insani, kente dair, ticari, politik, sismik ve güvenlik boyutlarının çok kapsamlı irdelenmesi ve titiz çalışılması hayati bir öneme sahiptir (Kızıldaş, M.Ç. 2016).

#### 5. Teşekkür

Yahyâ Âlparıslan Kızıldaş'a teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., Ayözen Y.E., (2020) Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2018) A Review In Term Of Service Parameters On The Modal Choice sand Mass Transport, İzmir.
- Angeloudis, P., Hu, J., Bell, M.G.H., (2012) A strategic repositioning algorithm for bicycle-sharing schemes. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- 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.

göre ortak havalimanları ve ticaret bölgeleri oluşturulması imkân ve ihtimali de mevcuttur. Aynı ihtimal Suriye'de Türkiye kontrolündeki bölgeler için de geçerlidir (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç. 2020).

- Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board 2314, 66e71.
- 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
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2017) Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- Ottosson, D.B., Lin, H., Chen, C., (2012) Price elasticity of on-street parking demand—a case study from Seattle. In: TRB 91st Annual Meeting, Washington, DC.
- 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)
- Louis, J., Brisswalter, J., Morio, C., Barla, C., Temprado, J.-J., (2012) The electrically assisted bicycle: an alternative way to promote physical activity. Am. J. Phys. Med. Rehab. 91, 931e940.
- Rietveld, P., Daniel, V., 2004. Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? Transport. Res. Part A: Policy Pract. 38, 531e550.
- Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., Ayözen Y.E., (2020) High Speed Railways, Current Status and Development Trends At International Scale and Turkey, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi
- Vatin N., Petrichenko M., Nemova D., Staritsyna A., Tarasova D. 2014. Renovation of educational buildings to increase energy efficiency Applied Mechanics and Materials. Vol. 633-634. Pp. 1023-1028.
- Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2018) A Review In Term Of Service Parameters On The Modal Choice sand Mass Transport, İzmir
- Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., (2020) Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM
- 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).





# Döner Kanatlı İHA'larda İçe Eğimli Yerleştirilmiş Pervanelerin Askıda Kalma Direngenliğine Etkisi

Erol Kayataş<sup>1</sup>, Murat Çelik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4626-9406), [erol.kayatas@boun.edu.tr](mailto:erol.kayatas@boun.edu.tr)

<sup>2</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3133-7656), [murat.celik@boun.edu.tr](mailto:murat.celik@boun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1093737)

**ATIF/REFERENCE:** Kayataş, E., Çelik, M. (2022). Döner Kanatlı İHA'larda İçe Eğimli Yerleştirilmiş Pervanelerin Askıda Kalma Direngenliğine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 122-129.

## Özet

Serbestlik derecesinden (3 açısal hareket, 3 çizgisel hareket; toplamda 6) daha az kontrol girdisine (itki, yunuslama torku, yatış torku ve dönme torku; toplamda 4) sahip döner kanatlı İHA'ların (DKİHA) X-Y düzleminde hareket edebilmeleri; itkilerinin, bir diğer deyişle gövdelerinin açısal pozisyonlanmasına bağlıdır. Rüzgâr gibi dış bozucuların da platformu sürüklemesi, tersi yönde iş yapacak kuvvetin oluşturulmasıyla, açısal pozisyon (yatış, yunuslama) kazanılarak giderilmektedir. Bununla beraber, uçuş düzlemine dik yerleştirilmiş itki vektörlerinin uzayda kesişmemesi, gövdenin dış dönme merkezini sonsuza taşımakta, doğrusal etki eden bozucuların sistemi öteleyerek saptırdıkları yön ile döndürerek saptırdıkları yönün aynı olmasına sebep vermektedir. Bu eşleşme, geometrik merkezin net sapmasının artmasına yol açmaktadır. Pervane yerleşim açılarının küçülmesiyle geometrik merkezin sapmasının azaldığı, sade öteleme eğrisine yakınsandığı görülmüştür. Burada sunulan çalışma ile, küçük açılarla (20 dereceden az) içe eğilen pervanelerin dış bozuculara karşı sistemin askıda kalma direngenliğini nasıl artırdığı analitik olarak modellenmiş ve gösterilmiştir. İleri çalışma konusu olarak da içe eğimli pervanelerin dış dönme merkezi oluşturması sayesinde sistem manevra atikliğini artırabileceği fikri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Döner Kanatlı İHA, Uçuş Dinamiği, Pervane Yerleşimi, Dış Bozuculara Karşı Platform Direngenliği

## The Effects Of Propellers Tilted Inward On Hover Rigidity In Rotary Wing UAVs

### Abstract

Rotary Wing UAVs (RWUAV) with control inputs (thrust, pitch torque, roll torque, yaw torque; 4 at total) less than the degree of freedom (3 angular motion, 3 linear motion; 6 at total) can move in the X-Y plane by rotating the thrust vectors, i.e. their bodies. Deflections caused by external disturbances like winds are also eliminated by angular positioning which creates tractions against disruptive drag forces. However, the fact that the thrust vectors (propeller axis) placed perpendicular to the flight plane do not intersect in space carries the outer center of rotation of the platform to infinity, causing linear acting forces to deflect the system in the same direction in both translation and rotation. This coupling leads to an increase in the net deflection of the geometric center. It is observed that the deflection of the geometric center decreased and converged to the pure translation curve as the propeller placement angles decreased. With the study reported here, it has been analytically modeled and demonstrated how inward-tilted propellers increase the hover stiffness of the platform against external disturbances. For future studies, the phenomenon suggesting inward tilted propellers may enhance the platform maneuverability by forming the outer rotation center (thrust vectors' intersection point) is developed.

**Keywords:** Rotary Wing UAV, Flight Dynamics, Propeller Replacement, Dihedral Angle, Platform Stiffness Against External Disturbances

\* Sorumlu Yazar: [erol.kayatas@boun.edu.tr](mailto:erol.kayatas@boun.edu.tr)

## 1. Giriş

Döner kanatlı insansız hava araçları veya multikopterler, savunma uygulamalarından tıbbi lojistiğe kadar birçok ihtiyaca hizmet eden uçan nesnelere. Çok çeşitli başarımlara sahip modüllerle donatılmış dokuçarlar hayatın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Boyutları milimetre ölçeğinden onlarca metreye kadar değişebilen bu cihazlar, birkaç dakikadan birkaç saate varan sürelerde havada kalabilmektedirler. Dronlar yüksek öteleme hızlarında hareket etmek yerine pervanelerini binlerce RPM'de döndürerek itki ürettiğinden, havada asılı kalabilme karakteristik özellikleridir [2]. Ayrıca birinci şahıs görüşlü yarış dokuçarları 100 km/s'lik hızlara iki saniyeden kısa sürelerde ulaşabilecek şekilde çok çevik çizgisel ve rotasyonel yeteneklere sahiptir [3].

Rotorları şasesine sabitlenmiş multikopterlerin 4 kontrol girdisi bulunmaktadır: itki, yunuslama torku, yuvarlanma torku ve dönme torku. X-Y düzlemindeki öteleme hareketi, itki ve tork girdileriyle sevk edilir, bu nedenle doğrusal hareket komutu verildiğinde açısal konumlandırma bir ön koşuldur [4][20]. Bir dronun gerekli açısal pozisyonu kazanması için ise şaseye uygun torklar uygulanmalıdır. Pervanelerin farklılaştırılmış RPM'leri, farklı şiddette itki vektörleri yaratır ve gerekli torku indükler [5][21]. Geleneksel multikopterler düşük girdi sayısı ile çalıştıklarından itki vektörlerinin montaj açısal pozisyonları, platformun uçuş kararlılığını ve atıklığını doğrudan etkiler. Pervaneleri bir eğim açısıyla (dihedral açısı) şaseye yerleştirmek, daha dirençli sapma ve daha agresif manevra olanakları sağlayarak platform stabilitesini ve çevikliğini artırabilir [6].



Şekil 1. Sabit kanatlı bir uçak üzerinde pozitif dihedral açısı (Figure 1. Positive dihedral angle on a fixed-wing aircraft) [6]

Dihedral açısı, kanat düzlemi ile yatay düzlem arasındaki pozitif açıdır. Havacılığın ilk günlerinden beri, sabit kanatlı uçaklar için dihedral açısı kullanımı değerlendirilmiştir. Yatış manevrasından sonra alt ve üst kanatlar arasında hücum açısı farklılığının oluşması ile yatış kararlılığının artmasına dihedral etki denir ve bu etki dihedral açısının artmasıyla artar. Güçlü yanal stabilitenin zayıf doğrultu kararlılığıyla eşleşmesinden ortaya çıkan, bir çeşit çok eksenli savrulma hareketi olan "Dutch Roll" tehlikesinin de dihedral etkiyle şiddetinin azaltılabilmesi sabit kanatlı uçaklarda dihedral açısının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir [6].

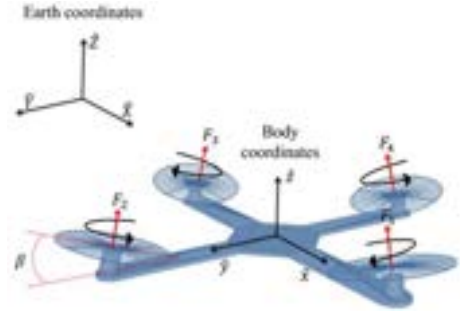
Literatürde, döner kanatlı İHA'lar da pervaneler içe doğru eğimli yerleştirildikten sonra uçuş stabilitesinin arttığını, uçuşun bu durumdan etkilenmediğini ve hatta stabilitenin azaldığını ifade eden çalışmalar bulunmaktadır [7][8][9]. Fark ise her çalışmanın 'stabilite' kavramını farklı tanımlamasıdır. Bu çalışmada ise uçuş stabilitesi yerine platformun dış bozulmalara karşı gösterdiği direnç anlamına gelen "Askıda Kalma Direngenliği" kavramı kullanılacaktır. Askıda kalma direngenliği, "dokuçar havada askıda kalırken darbe aldığı anda platformun geometrik merkezinin ne kadar az saptığı" olarak nicelenmiştir. Bu özgün yaklaşım literatürdeki 'stabilite' karmaşasını gidermiştir. Geliştirilen modele ait matematiksel denklemlerinin çözülmesi, yine,

pervanelerin içe doğru eğimli yerleştirilmesi ile ilgili özgün sonuçlar ortaya koymuştur [10][11].



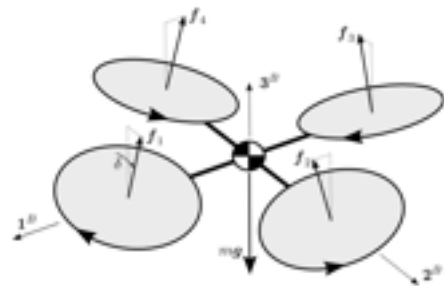
Şekil 2. Eğimli yerleştirilmiş pervaneler ve farklı açılarda eğimli motor yatakları (Figure 2. Tilted propellers and inclined motor bearings at different angles) [7]

Birçok araştırmacı pervaneleri eğimli yerleştirmek için şase kollarını bükmek yerine, Şekil 2'de olduğu gibi motor yataklarını açılı kesmiş ve motorları gösterildiği gibi yerleştirmiştir. İtki vektörlerinin merkeze doğru eğildiği bu açılar, dihedral açıdır. İtki kaybının yüksek olmaması için 10 dereceden büyük eğimler tercih edilmemektedir [7].



Şekil 3. İçe eğimli pervaneleri olan bir Quadcopter. Dokuçarın yer ve gövde merkezli koordinat sistemleri görselin üstünde ifade edilmiştir (Figure 3. A Quadcopter with tilted propellers. Drone's earth and body centered coordinate systems are expressed on the image.) [8].

İçe eğimli pervane yerleşiminin uçuş stabilitesini nasıl etkilediğinin yanında, platform güç ekonomisinin ve kontrol kanallarının otoritelerinin bu fenomen ile nasıl değiştiği de araştırmacılar tarafından irdelenmiştir. Uçuş kararlılığını artıran dihedral etkinin pervane devirlerindeki dalgalanmayı azaltmasıyla güç verimini yükselttiği, dönme kontrol kanalını itki yatay bileşenleriyle sevk edebilmesiyle de bu kanaldaki otoriteyi iyileştirdiği sonucuna varılmıştır [8].



Şekil 4. Farklı dihedral açılarıyla yerleştirilmiş pervane düzeni (Figure 4. Propeller arrangement with different dihedral angles) [9]

Holda ve çalışma arkadaşları [9]; 4 rotorlu dikuçar pervanelerini Şekil 4'teki gibi yerleştirmiş, yönelim kanalı otoritesinin ek yönelim torku (itki yatay bileşenlerinin oluşturduğu tork) oluşturulabilmesiyle iyileştirdiğini göstermiştir. Bu sayede pervane hızlarının daha düşük genliklerle değişmeye başlaması güç verimini de %4 kadar artırmıştır [12].



Şekil 5. Pervanelerinin eğimi birer servomotorla kontrol edilen 6 rotorlu dikuçar (Figure 5. A hexacopter whose propellers' tilt angles are controlled by a servo motor per arm) [13]

Xu ve Yang [13] pervanelerin kol eksenlerindeki eğimlerinin birer servomotorla Şekil 5'teki gibi kontrol edildiğinde, sapmayı toparlayacak kuvvetlerin gövde dönmesi gerekmeden çok daha hızlı üretileceğini, pervane dalgalanma genliğinin düşmesinden dolayı güç veriminin artacağını, sonuç olarak da sistem sürdürülebilirliğinin iyileştiğini göstermiştir [14].



Şekil 6. Pervane dönme eksenini dışındaki iki eksende pozisyonlanabilen motor yatağı (Figure 6. A motor bearing that can be positioned about two axes other than the propeller rotation line) [15]

Martini ve arkadaşları [15] raporlarında, motor yatakları 2 eksende açısal pozisyonlanabildiğinde duruş değişikliği yaşanmadan öteleme hareketinin gerçekleştirilebileceğini, açıklamıştır. Şekil 6'daki gibi 2 eksende pozisyonlanabilen motorlar, kontrol girdi sayısını artırıp X-Y düzlemindeki hareketi bağımsızlaştırmıştır [16].

Burada sunulan çalışmada; yüksek itki kaybı oluşmaması adına pervaneler; kosinüs değeri küçük olan 90, 89, 85, 80 ve 70 dihedral açılarıyla içe bakacak şekilde eğilmiştir. Quadcopter uçuş düzeni platform örnekleme için kullanılmışsa da iç rotor dinamiklerinin modellenmesine gerek duyulmamıştır, sistem rijit gövde olarak bütüncül modellenmiştir. Dikuçarın geometrik merkezinin dış kuvvet altında beş senaryo için sapma grafikleri de uygun matematiksel model kurulduktan sonra MATLAB

programında çizdirilmiştir. Kontrol yazılımı başarısından ve duyucu donanımlarının kalitesinden bağımsız olarak itki vektörlerinin içe eğilmesinin uçuş stabilitesini artıracak ve sistemi atikleştireceği gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Vektör Notasyonu

“A”, “A” büyüklüğünde ve “ê” birim vektörü doğrultusunda yönlü bir niceliktir [18]. Denklem I ve II'de vektörel gösterim ile vektörlerin skaler büyüklükleri ifade edilmiştir.

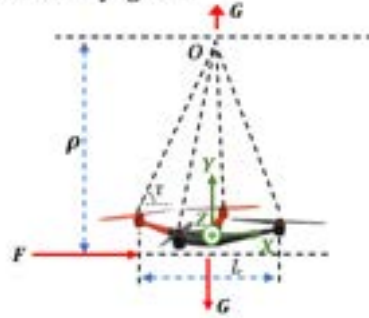
$$A = A\hat{e} \quad (\text{I})$$

$$|A| = A \quad (\text{II})$$

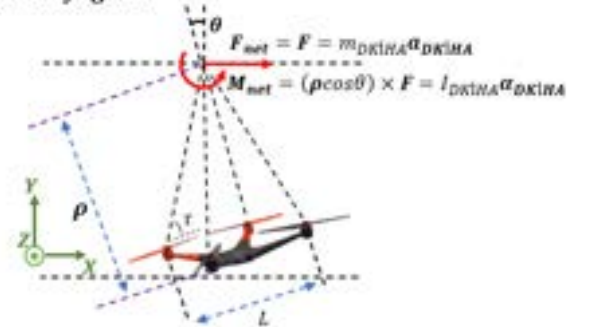
### 2.2. Dinamik Modelleme

Pervaneleri içe doğru, küçük açıyla eğilmiş bir dik uçarın serbest cisim diyagramı ile kinematik diyagramı Şekil 7'de sunulmuştur. İncelemenin daha anlamlı sürdürülebilmesi için kuvvet ve eşdeğer momenti itki kesişim noktasına taşınmıştır. Kesişme noktası geometrik merkezden uzakta olduğu için dikuçara noktasal obje gibi davranılmış, bu noktaya göre dönme ataleti de noktasal obje ataleti olarak tanımlanmıştır (Denklem 13) [19]. Dik rotor yerleşimli sistemlerden farklı olarak itki vektörleri dihedral açıyla yerleştirilmiş platformların dinamik modelinde; dış dönme merkezi sonsuzda olmaktan çıkmış, sistemin darbe etkisinde öteleme ve dönme süreçlerini etkileyecek yakınlığa gelmiştir. Platformun dış bir merkez etrafında sarkaç hareketi yapabilir hale gelmesi manevra kurgularını da etkilemiştir. Öyle ki, ileri yönlü öteleme hızıyla beraber bir yatış açısı alınırsa, sarkaç hareketi gereği, dikuçar çembersel harekete başlayacaktır. Bu fenomen bir başka makalenin konusu olarak detaylıca incelenecektir.

#### Serbest Cisim Diyagramı



#### Kinematik Diyagram



Şekil 7. Tau (τ) açısı kadar pervaneleri eğimli yerleştirilmiş quadcopterin şase uzunluğu (L) ve pervane itki yapılanması (Figure 7. Propeller thrust configuration of a quadcopter with chassis length (L) and tilted propellers as tau (τ) angle)

Dinamik modellemenin ve tezlerin temellendirilebilmesi için takip eden 3 varsayımda bulunulmuştur.

**Varsayım 1:** İtki vektörlerinin kesişim noktasının dik iz düşümü, şasein geometrik orta noktasından geçmektedir. Şase X ve Y eksenlerine göre simetriktr.

**Varsayım 2:** Uçuş kontrolcüsünün dış bozuculara karşı gösterdiği toparlayıcı cevap, itki vektörlerinin kesişim noktasının yatay sapması için sıfırdır, aynı noktanın dikey sapması için idealdir. İtki vektörlerinin kesişim noktası dikeyde sapmayacak ama yatayda engelsiz sapacak şekilde uçuş kontrolcüsü toparlayıcı cevaplar üretmektedir.

**Varsayım 3:** Bozucu dış kuvvetin zamana bağlı olmayan, sabit bir değeri vardır. Simülasyon için tayin edilen sürenin tamamında bu kuvvet sisteme etki etmektedir.

İtki vektörlerinin kesişim noktasının şase geometrik merkezine olan uzaklığı rho ( $\rho$ ) Denklem 1'deki gibi hesaplanmıştır. Pervane yerleşim açısı  $\tau$  (tau) 90 derece olduğunda bu uzaklık sonsuz olmaktadır.

$$\rho = \frac{L}{2} \tan \tau \hat{e}_y \quad (1)$$

Matematiksel modelleme için Lagranj dinamiği yaklaşımı kullanılmıştır (Denklem 2 ve 3) [18]. Geometrik merkezin itme karşısında nasıl sapacağıının, beş örnek senaryo için, detaylı sapma-zaman grafiği çıkarılacaktır.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_j \quad (2)$$

$$L = T - V \quad (3)$$

$T$  : Sistemdeki kinetik enerjilerin toplamı

$V$  : Sistemdeki potansiyel enerjilerin toplamı

Potansiyel enerjisi hızının fonksiyonu olan mekanik bir sistem yoktur. Bu sebeple Lagranj eşitliği Denklem 4'e evrilmiştir.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial V}{\partial q_j} = Q_j \quad (4)$$

Lagranj denkleminin koordinat parametreleri Tablo 1'de, aşağıdaki gibi açıklanmıştır [18].

Tablo 1. Denklem 4'te kullanılan Lagranj parametrelerinin açıklanması (Table 1. Explanation of the Lagrangian parameters used in Equation 4)

Notasyon	Açıklama
$q_j$	$j$ 'ninci genellenmiş koordinatın yer değiştirme
$\dot{q}_j$	$j$ 'ninci genellenmiş koordinatın yer değiştirme hızı
$Q_j$	$j$ 'ninci genellenmiş koordinatta mekanik enerji değiştiren kuvvet veya tork

Genellenmiş kuvvet ve eksenler Denklem 5 ve 6'daki gibi ifade edilebilir.

$$q_1 = x \rightarrow Q_1 = F \quad (5)$$

$$q_2 = \theta \rightarrow Q_2 = (\rho \cos \theta) \times F \quad (6)$$

Tanımlan yüklerin altında sistemin kinematik parametreleri Şekil 8'deki gibi olacaktır. Buna göre hareket parametreleri Tablo 2'de açıklanmıştır.

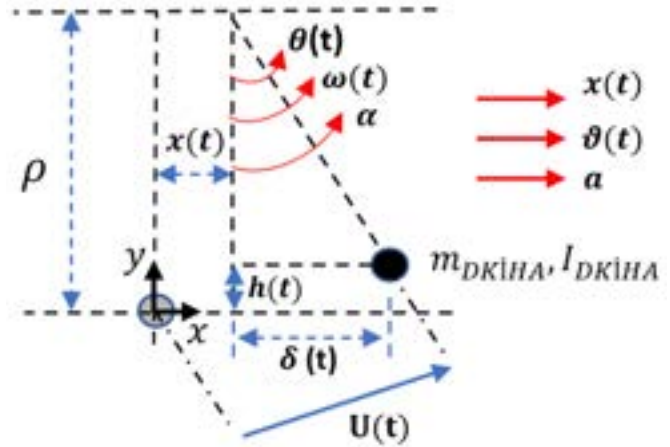
Tablo 2. Geometrik merkezin sapmasını niceleyen hareket parametreleri (Table 2. Motion parameters that quantify the deviation of the geometric center)

Notasyon	Açıklama
$x$	öteleme nedenli, geometrik merkezin yatay yer değiştirme vektörü
$\delta$	dönme nedenli, geometrik merkezin yatay yer değiştirme vektörü
$h$	dönme nedenli, geometrik merkezin dikey yer değiştirme vektörü
$U$	öteleme ve dönme nedenli, geometrik merkezin net sapma vektörü

Denklem 7 ve 8'de kinematik ilişkiler sunulmuştur.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d\theta}{dt} = a \quad (7)$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \alpha \quad (8)$$



Şekil 8. Geometrik merkezinin hareketini niceleyici kinematik parametreler ve vektörel yönleri (Figure 8. The kinematic parameters and vectorial directions quantifying the motion of the geometric center)

Çizgisel ve açısal kinetik enerji toplamları ile potansiyel enerji 9. ve 10. denklemlerdeki gibi olacaktır.

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 \quad (9)$$

$$V = G \cdot h = G \rho (1 - \cos \theta) \quad (10)$$

Birinci genellenmiş koordinat için hareket denklemleri, Lagranj eşitliği sadeleştirildiğinde Denklem 11'deki gibi yazılabilir.

$$\frac{d}{dt}(m\dot{x}) = F \rightarrow \ddot{x} = a = \frac{F}{m} \quad (11)$$

İkinci genellenmiş koordinat için de hareket denklemi, Denklem 12'de sunulmuştur.

$$I\ddot{\theta} + G\rho\sin\theta\hat{e}_z = \rho F\cos\theta\hat{e}_z \quad (12)$$

Noktasal obje ataleti yerine yazılıp gerekli basitleştirmeler yapılacak olursa, açısal ivme en sade haliyle Denklem 14'teki gibi olacaktır.

$$I = m\rho^2 \quad (13)$$

$$m\rho^2\ddot{\theta} + G\rho\sin\theta\hat{e}_z = F\rho\cos\theta\hat{e}_z$$

$$\ddot{\theta} = \frac{F\cos\theta - mg\sin\theta}{m\rho}\hat{e}_z \quad (14)$$

Birinci genellenmiş koordinat için zamana bağlı çizgisel pozisyon fonksiyonu başlangıç koşulları sıfır alınarak Denklem 15'teki gibi yazılabilir.

$$x(t) = \frac{F}{2m}t^2 \quad (15)$$

Denklem 14'ü çözmek için lineer olmayan terimler, Taylor dizi açılımındaki ilk terimler alınarak lineer hale getirilebilir [10]. Denklem 16-a-b'de ifade edilen küçük açı varsayımlarında bulunulmuştur. Bu kabul, beş farklı simülasyon kurgusu için "teta ( $\theta$ ) – Zaman" grafiği çizdirilerek, ilgili açının 20 dereceden fazla olmadığı yönünde teyit edilecektir.

$$\sin\theta \approx \theta \quad (16-a)$$

$$\cos\theta \approx 1 \quad (16-b)$$

Sıfır başlangıç koşulları alınmasıyla ikinci genellenmiş koordinat için açısal pozisyonun zamana bağlı fonksiyonu Denklem 17'de ifade edilmiştir.

$$\theta(t) = \frac{F}{mg} \left( 1 - \cos \left( \sqrt{\frac{2g}{L\tan\tau}} t \right) \right) \hat{e}_z \quad (17)$$

Buna göre, itki vektörleri şaseye küçük açılarla eğimli yerleştirildiğinde dönme hareketi ve ona bağlı oluşan sapmalar Denklem 18 ve 19'daki gibi sıfırdan farklı olacaktır. Ancak itki vektörlerinin yerleşim açıları 90 derece olduğunda teta ( $\theta$ ) açısı sıfır olarak hesaplanacak, sadece limitsel sonsuz ile sıfırın çarpımına dayanan  $\delta$  parametresi sıfırdan farklı olacaktır.

$$h(t) = \rho(1 - \cos\theta)\hat{e}_y \quad (18)$$

$$\delta(t) = \rho\sin\theta\hat{e}_x \quad (19)$$

Geometrik merkezin net sapması  $U(t)$ , Denklem 20'de olduğu gibi skaler hesaplanacaktır. Aşağıda verilen matematiksel ilişkiden çıkarılabileceği üzere, dönme kaynaklı sapma ne kadar düşseyde gerçekleşirse, üçgen eşitsizliğinden dolayı, geometrik merkez nihayetinde o kadar az sapacaktır.

$$U(t) = \sqrt{h_i(t)^2 + (x_i(t) + \delta_i(t))^2} \quad (20)$$

Tanımlanmış hareket parametreleri yerlerine koyulduğunda, pervane yerleşim açısının da bir değişkeni olduğu geometrik merkez sapma fonksiyonu Denklem 21'de çıkarılmıştır.

$$U(\tau, t) = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\tan\tau(1 - \cos\theta)\right)^2 + \left(\frac{F}{2m}t^2 + \frac{L}{2}\tan\tau\sin\theta\right)^2} \quad (21)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

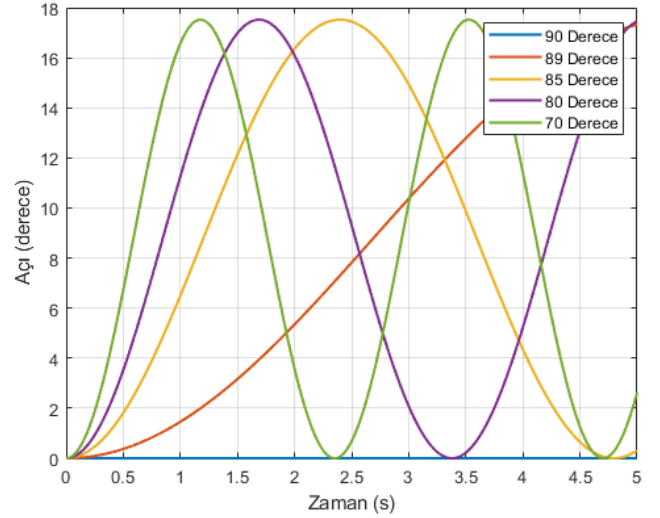
#### 3.1. Küçük Açı Varsayımının Teyit Edilmesi

Pervane yerleşim açısının geometrik merkezin sapması üzerine etkisinin gösterilebilmesi için 90, 89, 85, 80 ve 70 derecelik pervane yerleşim açıları ( $\tau$ ) işlenmiştir. Tanımlanması gereken diğer parametrelerle bu açılar, Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. MATLAB Simülasyon parametreleri (Table 3. MATLAB Simulation Parameters)

Parametre	Değer
F	5 N
$m_{DKIHA}$	2 kg
L	1 m
$\tau$	90-89-85-80-70 derece
Süre	5 s

Her beş pervane yerleşim açısı  $\tau$  (tau) için "teta ( $\theta$ ) – Zaman" grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Beş pervane yerleşim açısına denk gelen teta açılarının zaman grafikleri (Figure 9. Time plots of theta angles corresponding to five different propellers placement angles)

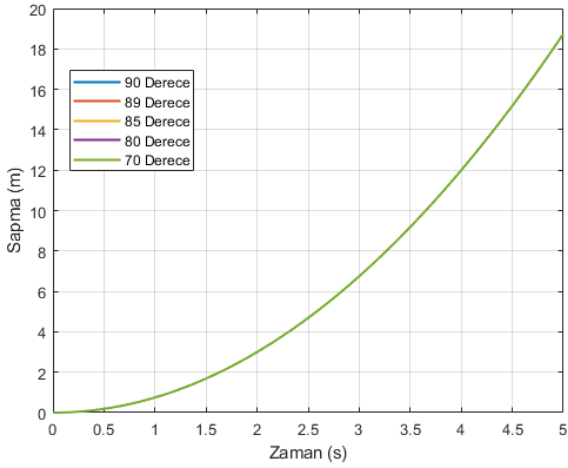
Teta açılarının pervane yerleşim açısı düştükçe daha yüksek frekanslarla salınım yaptığı ve hepsinin en çok, 20 dereceden küçük bir açiya ulaştığı görülmüştür.

$$\frac{\pi - \sin\frac{\pi}{9}}{\sin\frac{\pi}{9}} * 100 = \%2.06 \quad (22)$$

Denklem 22'de gösterildiği üzere, %2.06 hata üst limiti ile küçük açı varsayımı tutarlıdır. Öte taraftan, sonsuz yarıçaplı salınıma sahip 90 derecelik yerleşimde açı kazanılmadığı ancak 1 derecelik eğimde dahi sistemin salınıma başladığı anlaşılmıştır. Her ne kadar salınımların genlikleri aynı olsa da periyotlarının farklı olması, bu salınımların geometrik merkezin net sapmasına farklı etki etmesine sebebiyet vermiştir.

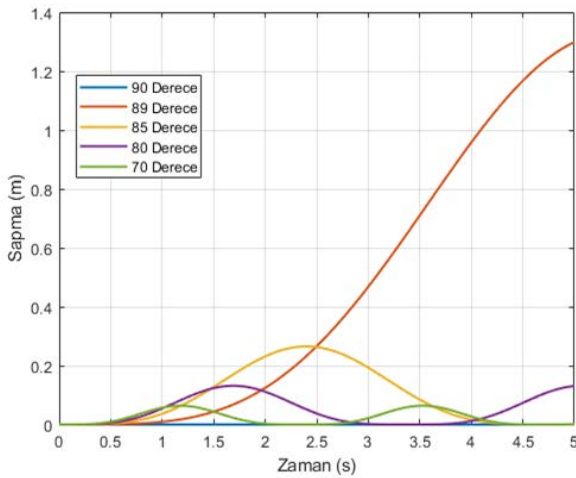
### 3.2. Sapma Grafikleri

Öteleme hareketinde, farklı eğim açıları için çakışık grafikler elde edilmiştir (Şekil 10). Bu hareket parametresinde, salınım açısının değişken olarak formüle girmemesi grafikte verilen sonucu doğurmuştur. Öyle ki çizilen grafik, harici kuvvetin eşit kütleli rijit gövdeleri zamana göre eşit ötelemesini yansıtmaktadır. Farklı dihedral açılarındaki sistemlerin geometrik merkezlerinin net sapmalarının farklı olması tamamen dış merkez etrafında gerçekleştirilen salınımların farklı tavırlarda olması sebebiyledir, öteleme kanalı bu bağlamda etkisizdir.



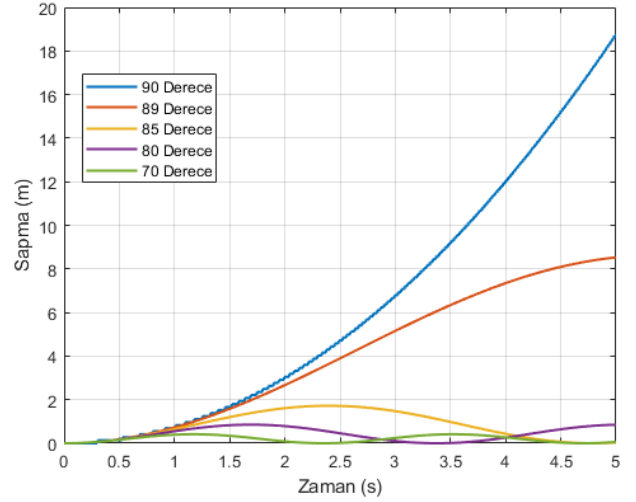
Şekil 10. Beş pervane yerleşim açısına denk gelen öteleme sapma zaman grafiği (Figure 10. Translational deviation time graph corresponding to five propeller placement angles)

Şekil 11’de dönme kaynaklı düşey sapma grafikleri gösterilmiştir. Buna göre 90 derecelik pervane yerleşiminde dönme hareketi açısal değişime sebep vermediği için yükselme de olmayacaktır. Bir diğer deyişle, bu pervane konfigürasyonunda öteleme ve dönme hareketlerinin sapma doğrultuları çakışıktır. Sonsuz yarıçaplı salınımda sonsuz yer değiştirme fiziksel olarak mümkün olmadığı için düşey pozisyon değiştirilememiştir. Pervane eğim açısı düştükçe de teta açısının salınım genliği aynı kalırken rho mesafesinin düşmesi, dönme ile alınan düşey mesafenin azalmasını sağlamıştır.



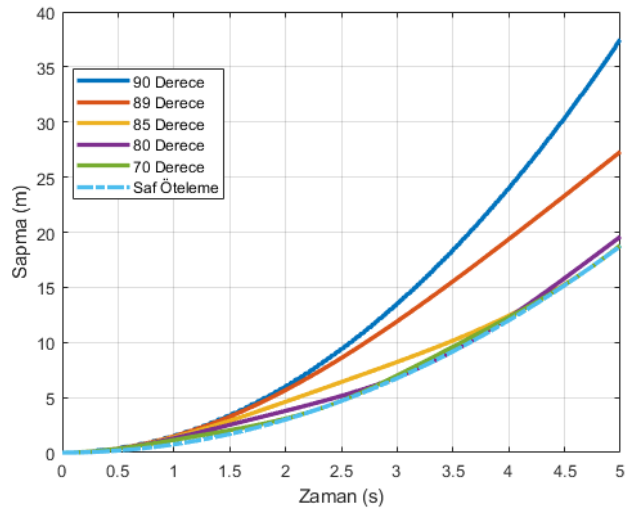
Şekil 11. Beş pervane yerleşim açısına denk gelen dönme kaynaklı düşey sapma zaman grafikleri (Figure 11. Vertical deviation time graphs due to rotation corresponding to five propeller placement angles)

90 derecelik pervane yerleşim senaryosunda, dönme sebebiyle hareketin sapması tamamen yatay doğrultuda olmuştur (Şekil 12). Öteleme hareketiyle eşleşecek bu sapmanın geometrik merkezi en çok saptıracak pervane yerleşimi olduğu Şekil 13’te de gösterilmiştir. Pervane yerleşim açısının düşmesiyle dış merkezin yarıçapı düşmüş ve sapmalar azalan açılarla orantılı olarak azalmıştır. 5 derecelik eğimden sonra sapmalardaki azalmaların şiddetini kaybettiği de görülmüştür.



Şekil 12. Beş pervane yerleşim açısına denk gelen dönme kaynaklı yatay sapma zaman grafikleri (Figure 12. Rotation induced horizontal deviation time graphs corresponding to five propeller placement angle)

90 derecelik pervane yerleşim senaryosunda, dönme sebebiyle hareketin sapması ile öteleme hareketi sapmasının tamamen aynı doğrultuda olması, geometrik merkezin en çok bu kurguda yer değiştirmesine sebep olmuştur (Şekil 13). 90 dereceden küçük pervane yerleşim açılarındaki dönme hareketi sonucu oluşan sapmaların bir kısmının öteleme hareketiyle oluşan sapmaya dik olması geometrik merkezin sapmasını orantılı olarak azaltmıştır. Yine, 5 dereceden sonra kazanılan pozisyon tutarlılığının önceki kazançlara göre çok azaldığı grafikte görülmüştür.



Şekil 13. Beş pervane yerleşim açısına denk gelen geometrik merkez net sapma zaman grafikleri (Figure 13. Geometric center net deviation time graphs corresponding to five propeller placement angles)

Tanımlı pervane yerleşim açıları ve platform parametreleriyle, geometrik merkezlerin sade ötelemeye göre kaç kat saptıklarının oranları Tablo 4'te, sunulmuştur. Bu oranlara göre, askıda kalma direngenliği, itki kaybını en aza indirmek şartıyla, 85 derecede optimum değerini bulmuştur. Simülasyon süresi düşüktüğüne pervane yerleşim açısının azalmasında fayda olduğu da bu müdahale ile itkide ciddi kayıplar yaşanacağı da bir gerçektir. O halde, dış bozucuların değişken şiddetine göre diedral açısı anlık belirlenebilen itki elemanlarına sahip platformlar ciddi avantajlara sahip olacaktır.

Tablo 4. Geometrik merkez sapmalarının saf öteleme sapmasına göre katları (Table 4. Multiples of geometric center deviations relative to pure translational deviation)

Geometrik Merkez	Görelî Sapma Katı
$U_{90}$	1.995
$U_{89}$	1.455
$U_{85}$	1.045
$U_{80}$	1.003
$U_{70}$	1.001

Espinoza ve çalışma arkadaşları [7]; 0, 5 ve 10 derecelik diedral açılarıyla deneysel stabilite testleri gerçekleştirmiştir. Dihedral açısı arttıkça geometrik merkezin, havada askıda kalma anında, saptasının azaldığı ancak bu azalma oranının en çok 5 derecede gerçekleştiği ölçülmüştür. Bu bulgu, Tablo 4 ile büyük uyum içerisindedir. Efraim ve çalışma arkadaşlarının [8] bir başarı yüzdesi belirtmeden pervanelerin eğimli yerleştirilmesini sistem kararlılığı yönünden başarılı bulması da burada ulaşılan sonuçlarla uzlaşır içerisindedir.

#### 4. Sonuç

Döner kanatlı İHA'lara etkiyen bozucu dış kuvvetlerin sistemi ötelemesi ile dış bir merkez etrafında döndürmesinin pervane yerleşim açısı ile ilişkisi incelenmiştir. Öteleme hareketi için pervane yerleşim açısının bir değişken olmadığı anlaşılmış ancak dönme hareketi için bu açının önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. 90 derecelik pervane yerleşimlerinde, diğer yerleşimlerin aksine, dönme sebepli geometrik merkez sapması ile öteleme sebepli geometrik merkez sapması aynı yönde olmuştur. Bu eşleşme, pervaneleri 90 dereceyle yerleştirilmiş dokuçukları dış bozuculara karşı en savunmasız sistemler haline getirmiştir. 89, 85, 80 ve 70 derecelik pervane yerleşimlerinde dış merkez etrafında yapılan salınım açılarının, hep aynı üst açı sınırı ile sıfır arasında farklı periyotlar da olduğu görülmüştür. Platformun dış merkez etrafında dönmesi esnasında ağırlıkların pozisyona bağlı ters moment üretmesi tarif edilen salınımın neden olmuştur. Tarif edilen üst açı sınırının sadece platform ağırlığı ve dış kuvvet oranına bağlı olmasından dolayı da aynı çıktığı açıktır. Dış merkez yarıçapının pervane yerleşim açısıyla değişmesinden dolayı da açı üst limitine farklı zamanlarda ulaşılması, salınımların periyotlarını da farklılaştırmıştır. Buna göre, azalan pervane yerleşim açılarıyla orantılı azalan dönme kaynaklı sapmalar, bu açı azalımı devam ettikçe, dönme merkezi ile dış kuvvet aynı düşeye geldiğinde, sıfırlanacak ve geometrik merkezin sapması sadece öteleme sebepli olacaktır. Tüm sapma eğrilerinin öteleme eğrisine yakınsaması da bu nedenledir. Ne var

ki, pervaneleri 75 derece gibi açı değerlerinin altında yerleştirmek ciddi itki kayıplarına sebebiyet verecektir. O halde itkinin ve sapmaya karşı direngenliğin birlikte en yüksek olduğu optimum yerleşim açısı seçilmelidir. Grafiklerin incelenmesi sonucunda bu kritik pervane yerleşim açısının 85 derece olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalara temel olması adına da içe eğimli pervanelerin, rijit cisim dönüşünü kolaylaştırdığının görülmesi, bu teknik kullanılarak manevra kabiliyetlerinin artırılıp kontrol yükünün düşürebileceği fikrini doğurmuştur.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışmadaki birinci yazar; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumunun "Uçan Robotlar İçin Radar Destekli Veri Toplama ve Haritalama" başlıklı, 119E203 numaralı projesinden ve Boğaziçi Üniversitesi araştırma fonu tarafından desteklenen "Radarlar ve Hassas Yükler İçin Ağır Yük İHA Tasarım ve Prototipleme" başlıklı, 19002 numaralı projesinden destek almıştır.

#### Kaynakça

- [1] Salazar, S., Romero, H., Lozano, R., Castillo, P. (2009). Modeling and Real-Time Stabilization of an Aircraft Having Eight Rotors. *J Intell Robot Syst*, (54), 455–470.
- [2] Rajappa, S., Ryll, M., Bülthoff H., Franchi, A. (2015). Modeling, Control and Design Optimization for a Fully-actuated Hexarotor Aerial Vehicle with Tilted Propellers. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 4006-4013.
- [3] (2022, May 13). Retrieved from <https://www.dji.com/dji-fpv/specs>
- [4] Holda, C., Ghalamchi, B., Mueller, M. (2018). Tilting Multicopter Rotors for Increased Power Efficiency and Yaw Authority. 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 143-148.
- [5] Kose, O., Oktay, T. (2021). Hexarotor Longitudinal Flight Control with Deep Neural Network, PID Algorithm, and Morphing. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 115-124.
- [6] Gudmundsson, S. (2013). *General Aviation Aircraft Design*. Butterworth-Heinemann, 1-32.
- [7] Albert, A., Katherine, V. (2020). The Effects of UAV Quadcopter Propeller Tilt Angle on Flight Stability. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering.
- [8] Efraim, H., Shapiro, A., Weiss, G. (2015). Quadrotor with a Dihedral Angle: on the Effects of Tilting the Rotors Inwards. *J Intell Robot Syst*, (80), 313–324.
- [9] Diogenes, B., Davi, S. (2016). Modeling, Design, and Simulation of a Quadrotor with Tilting Rotors Actuated by a Memory Shape Wire. *National Congress of Mechanical Engineering, (CONEM)*.
- [10] Taner, M., Chingiz, H. (2014). Flight Tests, Data Collection, System Identification, Performance Analysis of Multicopter Vehicle. 6<sup>th</sup> International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 19-26.
- [11] Dongjie, S., Xunhua, D., Quan, Q., Xiaowei, Z. (2017). A Practical Performance Evaluation Method for Electric Multicopters. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, (22/3), 1337-1348.
- [12] Franck, C., Kelly, C., Manish, K., (2020). Multi-rotor Platform Based UAV Systems. *ISTE*, 45-62.

- [13] Xu, H., Yang, Z., Lu, K., Zhang, Q. (2020). Control of a Tilting Hexacopter under Wind Disturbance. *Mathematical Problems in Engineering*, IF1.43.
- [14] Verbeke, J., Hulens, D., Ramon, H., Goedemé, T., De Schutter, J. (2014). The Design and Construction of a High Endurance Hexacopter Suited for Narrow Corridors. *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 543-551.
- [15] Martini, D., Gramazio, G., Bertini, A., Rottenbacher, C. (2017). Design and Modeling of a Quadcopter with Double Axis Tilting Rotors. *Unmanned Systems*, (5), 1-12.
- [16] Mostafa M., Adil S., Medromi, H. (2015). Dynamic Modeling and Control of a HexaRotor using Linear and Nonlinear Methods. *International Journal of Applied Information Systems*, (9), 9-17.
- [17] Kim, J., Kang, M., Park, S. (2010). Accurate Modeling and Robust Hovering Control for a Quad-Rotor VTOL Aircraft. *J Intell Robot Syst*, (57), 9.
- [18] Rached D., Ahmad H. (2013). Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots Using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework. *Advances in Robotics & Automation*, 2.
- [19] Ruihang, J., Ma, J., Shuzhi G. (2020). Modeling and Control of a Tilting Quadcopter. *IEEE Transactions and Aerospace and Electronic Systems*, (56/4), 2823-2834.
- [20] Kose O., Oktay T. (2021). Combined Quadrotor Autopilot System and Differential Morphing System Design. *Journal of Aviation*, (5/2), 64–71.
- [21] Kose O., Oktay T. (2020). Simultaneous Quadrotor Autopilot System and Collective Morphing System Design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, (92/7), 1093–1100.





# Durum Buğdayı Ununun Ekmek Üretiminde Kullanım İmkanlarının Araştırılması

Görkem Özülkü<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0495-5667), [ozulkug@yildiz.edu.tr](mailto:ozulkug@yildiz.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 27 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 25 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1093990)

**ATIF/REFERENCE:** Özülkü, G. (2022). Durum Buğdayı Ununun Ekmek Üretiminde Kullanım İmkanlarının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 130-136.

## Öz

Durum buğdayı unu (DBU), makarnalık irmik üretiminde açığa çıkan bir yan üründür. Bu çalışmada DBU, ekmek formülasyonuna belli oranlarda doğrudan (%7.5, %15 ve %22.5) ve aynı oranları sağlayacak şekilde ekşi hamur olarak ilave edilmiştir. Ekmeklik buğday unu ile %7.5, %15 ve %22.5 oranlarında ikame edilen DBU, farinograf su absorpsiyon değerini azaltmıştır ( $p < 0.05$ ). Artan DBU miktarı, ekmeklerin spesifik hacim değerini kontrol ekmeğine göre (%0 DBU) önemli derecede azaltmıştır ( $p < 0.05$ ). En yüksek ekmek içi sertlik değeri ( $5.25 \pm 0.37$  N), yüksek oranda DBU'yu (%22.5) ekşi hamur olarak içeren ekmekte gözlemlenmiştir. DBU'nun doğrudan ekmek formülasyonuna ilave edilmesi, ekşi hamur olarak ilave edilmesine göre, ekmeklerin kabuk rengi parlaklık ( $L^*$ ) değerini artırmıştır ( $p < 0.05$ ). Daha yüksek kabuk  $a^*$  (kırmızılık) değeri ise ekşi hamur olarak ilave edilmesinde gözlemlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Her iki ekmek çeşidinin (doğrudan ve ekşi hamurlu DBU ilavesi) sertlik (N) değeri, 0. gün ile kıyaslandığında depolamanın diğer günlerinde önemli derecede artmıştır ( $p < 0.05$ ). Düşük oranda durum buğdayı unlu ekşi hamur ilavesi (%7.5), doğrudan durum buğdayı unlu ilaveli ekmeklere, spesifik hacim ve sertlik değeri açısından yakın kalite özellikleri göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Durum buğdayı unu, ekmeklik kalite, farinograf, depolama

## Investigation of the Usage Possibilities of Durum Wheat Flour in Bread Production

### Abstract

Durum wheat flour (DWF) is a by-product obtained from the production of durum wheat semolina. In this study, DWF was added to the bread formulation in certain levels directly (7.5%, 15% and 22.5%) and as sourdough to provide the same proportions. DWF which is substituted with bread wheat flour in the levels of 7.5%, 15% and 22.5% decreased farinograph water absorption value ( $p < 0.05$ ). Increased amount of DWF decreased the specific volume of bread samples significantly when compared to control bread (0% DWF). The highest crumb hardness ( $5.25 \pm 0.37$  N) was observed for the bread containing high amount of DWF (22.5%) as sourdough. Direct addition of DWF into bread formulation increased the crust  $L^*$  (lightness) value ( $p < 0.05$ ) than the addition as sourdough. The higher crust  $a^*$  (redness) value was observed for DWF addition as sourdough ( $p < 0.05$ ). The hardness value (N) of both bread types (direct addition of DWF and sourdough with DWF) increased significantly ( $p < 0.05$ ) on other days of storage compared to day 0.

**Keywords:** Durum wheat flour, bread quality, farinograph, storage

\* Sorumlu Yazar: [ozulkug@yildiz.edu.tr](mailto:ozulkug@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde ticari anlamda önemli yere sahip buğday çeşitlerinden biri olan *Triticum durum* buğdayı genellikle makarna, spagetti, bulgur ve kuskus gibi gıdaların üretiminde kullanılmaktadır. 2020/2021 sezonunda dünya makarnalık buğday üretiminin %12'si Türkiye'de gerçekleştirilmiştir (TMO, 2020). Durum buğdayını diğer buğday çeşitlerinden (*Tr. aestivum* ve *Tr. compactum*) ayıran özelliği sert ve camsı bir endosperme sahip olması ve sarı renkli pigment içeriklerinin yüksek olmasıdır (Karaca, 2019). Durum buğdayının çok sert ve gevrek endosperm yapısı, makarnalık irmik üretiminin veriminin yüksek olmasını sağlar (Sarkar ve Dexter, 2016). Makarnalık irmik üretiminden %13 civarında durum buğdayı unu (irmik altı un) açığa çıkmaktadır. Durum buğdayı değirmencilik ürünleri kendilerine özgü, kimyasal, reolojik ve ekmeklik özellikleri ile karakterize edilirler (Liu vd.,1996).

İnsan beslenmesinin önemli gıdalarından biri olan ekmeğin, dünya genelinde milyonlarca insan tarafından tüketilmekte ve yetişkinlerin günlük kalori alımının %10'unu oluşturduğu bildirilmektedir. Temel hammaddesinin başta buğday olmak üzere çavdar, mısır, yulaf gibi tahıl unları olması birçok kültürde farklı ekmeğin çeşitlerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Genellikle makarna üretiminin hammaddesi olarak bilinen durum buğdayı, aynı zamanda Akdeniz'e kıyaslı olan ülkelerde çeşitli ekmeğin çeşitlerinin üretiminde de kullanılmaktadır (Giannone vd. 2016). Bunlar içerisinde en bilineni, üretimi İtalya'nın güneyinde yapılan Altamura ekmeğidir (Raffo vd.2003; Chiavaro vd.2008). Durum buğdayından yapılan ekmekler, genellikle uzun raf ömrü, sıkı ekmeğin içi yapısı ve tüm tane boyunca dağılan karotenoidlerden kaynaklı olarak sarı rengi ile karakterize edilmektedir (Acquistucci vd.2019).

Daha güçlü gluten özelliklerine sahip durum buğdayı çeşitlerinin üretimi, durum buğdayı unundan ekmeğin yapımında ekşi hamurun kullanımını yeniden gündeme getirmiştir (Rinaldi vd. 2015). Son yıllarda büyük bir önem kazanan ekşi hamur fermentasyonu, ekmeğin aroması, yapısı, raf ömrü ve besleyici özellikleri geliştirilmektedir. Ekşi hamur, tahıl unu ve suyun karıştırılıp doğal olarak fermentasyona bırakılması (Tip I ekşi hamuru) ile hazırlanabileceği gibi, Laktik asit bakterileri ve mayaların starter kültür olarak kullanılması (Tip II ekşi hamuru) ile de hazırlanmaktadır (Katina vd.2005; Arendt vd. 2007).

Ekmeğin formülasyonlarında %10-30 arasında durum buğdayı ununun kullanılmasının zayıf unların ekmeklik kalitesini iyileştirdiği ve yüksek su bağlama kapasitesinden dolayı uzun raf ömrü sağladığı daha önce yapılan araştırmalarda bildirilmiştir (Boyacıoğlu ve D'Appolonia 1994a, 1994b; Boggini vd. 1997; Hareland ve Pühr 1998). Sabanis ve Tzia (2009) ise ekmeğin yapımında durum buğdayı ununun, bazı bitkisel kaynaklı unlarla karıştırılmasının ekmeğin besleyici özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, durum buğdayı unundan (DBU) üretilen ekşi hamur, belli oranlarda (%7.5, %15 ve %22.5) ekmeğin üretiminde kullanılmış ve doğrudan belli oranlarda DBU'nun kullanıldığı ekmeğin formülasyonları ile çeşitli kalite özellikleri (spesifik hacim, renk, tekstür) açısından kıyaslanmıştır. Çalışmanın amacı, DBU'nun ekmeğin formülasyonuna dahil edilmesinde uygun yöntemin bulunmasıdır. Üretilen ekmeklerin tekstürel özellikleri (sertlik, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik) depolamanın 0., 1., 3. ve 5.inci günlerinde takip edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan ekmeklik buğday unu ticari olarak satın alınmış olup, nem miktarı %14, kül miktarı %0.65 (km), protein miktarı ise %11.6 (km) olarak belirlenmiştir. Durum buğdayı unu (irmik altı un) ise Selva Gıda San. A.Ş.'den (Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Ekmeğin formülasyonunda kullanılan, iyotsuz tuz (Billur tuz) ve instant kuru hamur mayası (Pakmaya) kullanılmıştır.

### 2.2 Metot

#### 2.2.1 Un Karışımlarının Farinograf Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada ekmeklik buğday unu, ağırlıkça %7.5, %15 ve %22.5 oranlarında durum buğdayı unu ile karıştırılmış ve hazırlanan bu karışımların su absorpsiyonları, gelişme süreleri, stabilite değerleri ve yumuşama dereceleri AACC Metot No:54-21'e göre Brabender farinografında (Brabender, Almanya) belirlenmiştir.

#### 2.2.2 Ekmeğin Üretimi

Durum buğdayı unu (DBU), ekmeğin formülasyonuna doğrudan ve yine aynı oranı sağlayacak şekilde ekşi hamur olarak ilave edilmiştir.

DBU'nun doğrudan ekmeğin formülasyonuna ilave edilmesinde, ekmeklik buğday unu, ağırlıkça belli oranlarda (%7.5, %15 ve %22.5) DBU ile karıştırılmıştır. Hazırlanan un karışımına (100 g), 2 g kuru maya, 1.5 g tuz ve miktarı farinografda tespit edilen su ilave edilerek 5 dakika yoğurulmuştur (Öztiryakiler OM10, Türkiye). Ekmeğin hamurları, 30° C 'de ve %80 nispi nemde 30 dakika 1. fermentasyona bırakılmış ve bu sürenin sonunda 1. havalandırma işlemi uygulanmıştır. İkinci fermentasyondan (30° C, %80 nispi nemde 30 dak) sonra havalandırılan hamurlar şekil verilerek tavalara alınmış ve 55 dakika son fermentasyon (30° C, %80 nispi nem) işlemine bırakılmıştır (AACC Metot No: 10-11, 1990). Bu süre sonunda 230° C 'de 25 dakika pişirilmiştir (Fimak, Türkiye).

#### 2.2.3 Ekşi Hamurlu Ekmeğin Üretimi

Ekşi hamurlu ekmeğin üretiminde ilk olarak durum buğdayı unu kullanılarak Tip II ekşi hamuru hazırlanmıştır. Tip II ekşi hamurunun hazırlanmasında, Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü kültür koleksiyonunda yer alan *Saccharomyces cerevisiae* TGM 55 (Arıcı vd., 2018), *Levilactobacillus brevis* LABE 32 ve *Lactiplantibacillus plantarum* LABE 29 suşları kullanılmıştır. Hamur verimi [(toplam un miktarı + su miktarı) / (un miktarı) x 100] 200 olacak şekilde hazırlanan hamur, 30 °C'de 18-20 sa fermentasyona bırakılmıştır. Hazırlanan bu ekşi hamurdan, ekmeğin formülasyonundaki DBU oranı %7.5, %15 ve %22.5 olacak şekilde ayarlanan miktarlarda alınarak diğer bileşenlerle (2 g kuru maya, 1.5 g tuz ve su) karıştırılmıştır. Elde edilen ekmeğin hamuruna fermentasyon ve pişirme işlemi direk hamur yönteminde anlatıldığı üzere gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.4 Ekmeklerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

##### Spesifik Hacim

Üretilen ekmeklerin hacim değerleri kolza tohumu yer değiştirme metoduna göre ölçülmüştür (AACC Metot 10-05.01,

1990). Elde edilen değer ekmek ağırlığına bölünerek spesifik hacim değeri hesaplanmıştır. Her bir ekmek çeşidi 3 paralel olacak şekilde üretilmiş olup, bu 3 değerın ortalaması spesifik hacim değeri olarak belirlenmiştir.

### Renk

Ekmeklerde renk değerleri CR-100 Konica Minolta (Japonya) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. L\* (parlaklık), a\* (kırmızılık) ve b\* (sarıklık) renk değerleri ekmek kabuğunda ve ekmek içinde ölçülmüştür. Her bir ekmek için 3 farklı noktadan alınan ölçümün ortalamaları alınmıştır.

### Tekstür

Ekmeklerin tekstürel özellikleri (sertlik, elastikiyet, koheziflik ve çignenebilirlik), Tekstür Profil Analiz cihazında (SMS TA.XT2 Plus, İngiltere) tespit edilmiştir. Ekmekler, oda sıcaklığında, polietilen poşetlerde bütün olarak depolanarak, 0., 1., 3., ve 5. günlerde tekstürel özellikleri takip edilmiştir.

Tekstür analizi için, 1.25 cm kalınlığında kesilen ekmeklerden, 3x3 cm'lik kareler hazırlanmış ve 2 dilim üst üste olacak şekilde cihaza yerleştirilmiştir. 36 mm çapında alüminyum disk prop kullanılmış ve 50 N'luk kuvvet, 55 mm/dak test hızıyla örnekler üzerine uygulanmıştır. Ölçümler her bir ekmek çeşidi için 3 kez gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.5 İstatistiksel Analiz

Araştırma sonuçlarının istatistiksel analizinde SPSS 16.0 programı kullanılmıştır. Ekmek çeşidi ve irmik miktarının ekmeklerin fiziksel özelliklerine etkisi çok faktörlü varyans analizi ile tespit edilmiştir. Depolamanın her bir ekmek çeşidi üzerine etkisi ise tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklar ise DUNCAN testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1 Un Karışımlarının Farinograf Özellikleri

Tablo 1 ekmeklik buğday ununa DBU ilavesinin karışım unların farinograf özelliklerine etkisini göstermektedir. DBU ilavesinin buğday ununun su absorpsiyonunu önemli derecede artırdığı görülmüştür (p<0,05). Boyacıoğlu ve D'Appolonia (1994a) durum buğdayı irmiği ve unu ile yaptıkları bir çalışmada, irmik ilavesinin ekmeklik buğday ununun su absorpsiyon değerini azalttığı sonucuna varmışlardır. Durum buğdayı irmiğinin su absorpsiyonu özelliklerinde, irmik partikül boyutu ve zedelenmiş nişasta miktarının önemli olduğu bildirilmiştir. Zedelenmiş nişasta miktarının durum irmiğinde, una göre az olması su absorpsiyonunu azaltıcı etki yapmıştır (Dexter ve Matsuo, 1978). Su absorpsiyonunu etkileyen diğer bir bileşen ise pentozanlardır. Pentozanlar, endosperm hücre duvarı polisakaritlerinden olup durum buğdayı unlarında irmiğinden daha fazla miktarda bulunmaktadır. Durum buğdayı irmiği ile ekmeklik buğday unları pentozan miktarı açısından birbirine yakın olduğu bildirilmiştir (Boyacıoğlu ve D'Appolonia, 1994a).

Ekmeklik buğday ununa, durum buğdayı irmiği ilavesinin diğer farinograf özelliklerinden stabilite ve yumuşama derecesi üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir (p>0,05).

### 3.2 Ekşi Hamurun Özellikleri

Laboratuvar ortamında durum buğdayı unundan hamur verimi 200 olacak şekilde üretilen Tip II ekşi hamurunun pH değeri 28 ° C'de 18-20 sa fermentasyonun ardından 6,24'den 3,28'e düşmüştür. Üretilen ekşi hamurun LAB sayısı 7,96 ± 0,08 Log kob/g ve maya sayısı ise 5,32 ± 0,25 Log kob/g olarak tespit edilmiştir. Minervi vd. (2016), durum buğdayı unundan hazırladıkları Tip I ekşi hamurunun, pH değerinin 4,00 olduğunu, LAB ve maya sayısının sırasıyla 9,00 Log kob/g ve 6,00 Log kob/g olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1 Un karışımlarının farinograf özellikleri\* (Table 1 Farinograph properties of flour mixture\*\*)

Durum buğdayı unu miktarı <i>Durum wheat flour content</i>	Su absorpsiyonu <i>Water absorption (%)</i>	Gelişme süresi(dak.) <i>Development time (min.)</i>	Stabilite (dak.) <i>Stability (min.)</i>	Yumuşama derecesi (BU) <i>Degree of Softening (BU)</i>
% 0	56,75 ± 0,07 <sup>c</sup>	1,44 ± 0,03 <sup>b</sup>	7,75 ± 3,20 <sup>a</sup>	45,0 ± 9,90 <sup>a</sup>
% 7.5	57,60 ± 0,14 <sup>b</sup>	1,55 ± 0,06 <sup>ab</sup>	9,95 ± 2,10 <sup>a</sup>	40,0 ± 8,49 <sup>a</sup>
% 15	57,15 ± 0,07 <sup>bc</sup>	2,14 ± 0,15 <sup>a</sup>	10,30 ± 0,21 <sup>a</sup>	42,0 ± 4,24 <sup>a</sup>
% 22.5	58,50 ± 0,28 <sup>a</sup>	1,90 ± 0,43 <sup>ab</sup>	10,37 ± 0,23 <sup>a</sup>	39,5 ± 2,12 <sup>a</sup>

\* Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

\*\* Mean values with same letter in the same column are not significantly different (p<0.05)

### 3.3 Ekmeklerin Kalite Özellikleri

Tablo 2, durum buğdayı ununun iki farklı yöntem (ekmek çeşidi) ile ekmeğe ilavesinin ekmeğin bazı kalite özelliklerine etkisini göstermektedir. DBU'nun doğrudan ve ekşi hamur olarak ilave edilmesi (ekmek çeşidi), ekmeğin spesifik hacim değerini ve sertlik değeri dışında diğer tekstürel özelliklerini önemli derecede etkilememiştir ( $p>0.05$ ). Ekmek formülasyonundaki DBU miktarı, tekstürel özelliklerden koheziflik değerini önemli derecede etkilemiştir ( $p<0.05$ ). Ekmek çeşidi ve DBU miktarı arasındaki interaksiyon etkisi ise koheziflik değeri ile, kabuk rengi özelliklerinden  $L^*$  ve  $a^*$  değerlerinde önemli derecede olduğu görülmüştür ( $p<0.05$ ). DBU'nun, ekşi hamur olarak ekmeğe ilavesi, doğrudan ilavesine göre ekmeklerin sertlik değerini artırmıştır. Rinaldi vd. (2015) yumuşak buğday unu ve durum buğdayı unu ile yaptıkları bir çalışmada da, ekşi hamur yöntemi ile üretilen ekmeklerde ekmeğin içi sıklık değerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Armero ve Collar (1998) bu durumun, ekşi hamur yönteminde heterofermentatif laktik asit bakterileri tarafından yüksek miktarda asetik asit üretilmesinden kaynaklı olabileceğini ileri sürmüşlerdir. *Levilactobacillus brevis* ve *Lactiplantibacillus plantarum* ekşi hamurdan sıklıkla izole edilen laktik asit bakterileridir ve sırasıyla obligat heterofermentatif ve obligat homofermentatif oldukları bilinmektedir (Yörük ve Güner, 2011). Bu çalışmada da Tip II ekşi hamurunun hazırlanmasında *Levilactobacillus brevis* ve *Lactiplantibacillus plantarum* kullanılmıştır. DBU'dan hazırlanan ekşi hamurun yüksek oranda ilavesinin (%15 ve %22.5) ekmeğin sertlik değerini Kontrol-1 (ticari mayalı) ekmeğe göre artırmış olması, bu bakterilerin ürettiği organik asitlerden kaynaklı olabilir. Diğer ekşi hamur ilave oranında (%7.5) ve doğrudan hamur yöntemiyle üretilen ekmeklerde ise böyle bir sonuca varılamamıştır (Tablo 2).

DBU'nun ekmeğin formülasyonuna doğrudan ve ekşi hamur olarak ilave edilmesi (ekmek çeşidi), ekmeklerin hem kabuk hem

Tablo 2 Ekmeklerin bazı kalite özellikleri (Table 2 Some quality properties of breads)

	Kontrol -1 Control -1	Doğrudan DBU İlaveli Direct DWF Addition			Kontrol -2 Control -2	DBU'lu Ekşi Hamur İlaveli DWF Sourdough Addition			ANOVA (p değeri) (p value)		
		%7.5	%15	%22.5		%7.5	%15	%22.5	EÇ	DBUM	EÇ x DBUM
Spesifik Hacim (mL/g) <i>Specific volume</i>	2,88 ±0,11	2,86 ±0,13	2,84 ±0,04	2,77 ±0,06	2,92 ±0,25	2,88 ±0,01	2,74 ±0,10	2,63 ±0,04	0,411	0,067	0,496
Sertlik (N) <i>Hardness</i>	3,69 ±0,59	4,00 ±0,55	4,43 ±0,46	4,06 ±0,49	3,06 ±0,40	4,11 ±0,42	4,68 ±0,84	5,25 ±0,37	0,028	0,076	0,107
Elastikiyet <i>Springiness</i>	1,17 ±0,20	1,21 ±0,46	1,00 ±0,06	0,98 ±0,02	1,62 ±0,49	1,11 ±0,24	1,29 ±0,33	0,97 ±0,02	0,094	0,376	0,397
Koheziflik <i>Cohesiveness</i>	0,83 ±0,00	0,81 ±0,01	0,82 ±0,01	0,81 ±0,02	0,82 ±0,01	0,84 ±0,01	0,82 ±0,01	0,80 ±0,01	0,155	0,005	0,002
Çiğnenabilirlik(N) ) <i>Chewiness</i>	3,86 ±0,76	4,72 ±2,50	3,33 ±0,23	3,51 ±0,28	4,00 ±1,02	3,76 ±0,45	3,84 ±0,97	4,09 ±0,25	0,979	0,467	0,285
<b>Kabuk Rengi Crust Color</b>											
$L^*$	64,48 ±0,88	63,81 ±1,57	62,36 ±1,46	57,53 ±1,79	57,35 ±1,87	58,60 ±0,86	57,36 ±2,02	59,17 ±2,62	0,000	0,001	0,000

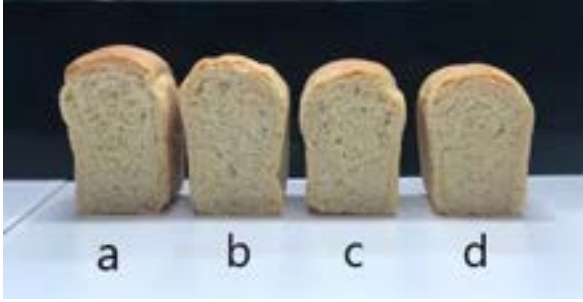
de ekmeğin içi renk özelliklerini ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) önemli derecede etkilemiştir ( $p<0.05$ ) (Tablo 2). Doğrudan DBU ilaveli ekmeklerin kabuk rengi  $L^*$  (parlaklık) değerlerinin, DBU'nun ekşi hamur olarak ilave edildiği ekmeklere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ekmeklerin kabuk rengi  $a^*$  (kırmızılık) değerleri de ekşi hamur olarak ilave edilen ekmeklerde daha yüksektir ( $p<0.05$ ). Rinaldi vd. (2015) yaptıkları bir çalışmada da, ekşi hamur yöntemiyle üretilen durum buğdayı ekmeğinin, doğrudan hamur yöntemiyle üretilen ekmeğe göre daha koyu kabuk rengine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Torrieri vd. (2014) ekzopolisakkarit üreten ve üretmeyen LAB suşlarını starter kültür olarak kullandıkları bir ekşi hamur çalışmasında, %30 oranında ekşi hamur ilavesinin ekmeğin rengini koyulaştırdığı sonucuna varmışlardır. Benzer sonuçlar, Chiavaro vd. (2008) ve Crowley vd. (2002) tarafından da tespit edilmiş olup bu durum Maillard (enzimatik olmayan esmerleşme) reaksiyonunu etkileyen faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Ekşi hamur fermentasyonu, doğrudan veya dolaylı olarak Maillard reaksiyonunda rol oynayan şeker ve amino asit kompozisyonunu etkilemektedir. Bu durum ekmeklerin renk özelliklerine yansımaktadır. Ekşi hamur fermentasyonu sonucunda asitliğin artmasına istinaden pH'nın azalması, Maillard reaksiyonunun en reaktif amino asidi olan pronil-L-lisin (pronyl-l-lysine) miktarının artmasının bir kanıtı olarak gösterilmektedir (Lindenmeier ve Hofmann, 2004; Torrieri, 2014).

Ekşi hamurlu ekmeğin üretimi, ekmeğin içi  $L^*$  değerinin de doğrudan DBU ilaveli ekmeğin örneklerine göre ekmeğin kabuğunda da gözlemlendiği gibi azaltmıştır (Tablo 2). Fadda vd. (2010) ve Rinaldi vd. (2015) yaptıkları çalışmada ekşi hamurlu durum buğdayı ekmeklerinde benzer sonuçları elde etmişlerdir. Ekmeğin içi  $b^*$  (sarılık) değeri ise doğrudan DBU ilaveli ekmeğin örneklerinde daha yüksektir (Tablo 2, Şekil 1 ve 2). Sabanis ve Tzia (2009) bu durumu, durum buğdayı ununun yüksek miktarda ksantofil içermesi ile ilişkilendirmiştir.

a*	3,12 ±0,58	3,70 ±1,38	5,39 ±1,03	7,61 ±1,33	6,36 ±1,63	8,49 ±0,79	9,19 ±1,98	8,57 ±0,77	0,000	0,002	0,000
b*	33,62 ±1,11	32,74 ±2,36	34,86 ±1,46	32,27 ±0,70	33,98 ±1,09	34,07 ±1,00	35,49 ±1,17	35,43 ±1,27	0,002	0,008	0,073
<b>İç Rengi Crumb Color</b>											
L*	68,15 ±2,51	72,45 ±1,19	71,22 ±0,72	72,24 ±0,63	70,84 ±0,43	70,73 ±1,21	71,41 ±0,48	70,70 ±1,40	0,021	0,930	0,368
b*	19,37 ±1,35	21,99 ±0,81	22,26 ±0,58	22,85 ±0,40	21,08 ±0,40	19,96 ±0,37	20,42 ±0,22	20,15 ±0,44	0,000	0,394	0,505

EÇ: Ekmek çeşidi

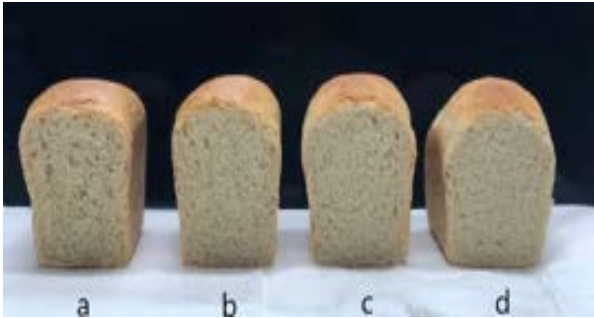
DBUM: Durum buğdayı unu miktarı



Şekil 1 Doğrudan Durum buğdayı unu (DBU) ilaveli ekmek örnekleri

Figure 1 The bread samples of direct Durum wheat flour (DWF) addition

a) Kontrol-1, b) %7,5 DBU c) %15 DBU, d) %22,5 DBU  
DBİ: Durum buğdayı irmiği



Şekil 2 DBU ile üretilen ekşi hamurlu ekmek örnekleri

Figure 2 The bread samples of DWF sourdough addition

a) Kontrol-2, b) %7,5 DBU'lu ekşi hamur, c) %15 DBU'lu ekşi hamur, d) %22,5 DBU'lu ekşi hamur  
DBU: Durum buğdayı unu

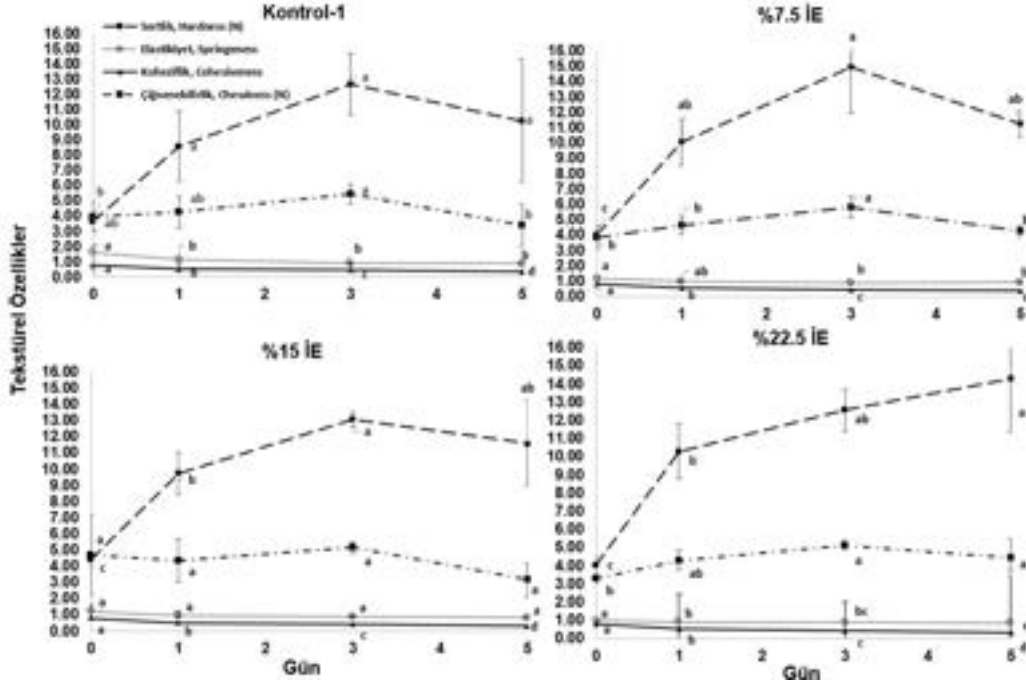
### 3.4. Depolamanın Ekmeklerin Tekstürel Özelliklerine Etkisi

Durum buğdayı unu ile üretilen ekmeklere depolamanın etkisi, Şekil 3 ve Şekil 4 gösterilmektedir. Ekmekler, oda sıcaklığında depolanmış ve 0., 1., 3., ve 5. günlerde tekstürel özellikleri ölçülmüştür. Gıdaların tekstürel özellikleri tüketici albenisini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Ekmek gözenekli bir yapıya sahip olduğundan dolayı, tekstürel özellikleri bu gözeneklerin etrafını saran ve nişasta, protein ve sudan oluşan

yapıya bağlıdır. Hamur bileşimindeki ve ekmek yapım prosesindeki değişiklikler, gaz (CO<sub>2</sub>) oluşumunu ve hamurun gaz tutma kapasitesini etkilemektedir (Jekle vd., 2018). Ekmekğin raf ömrü bayatlama ve küf gelişimi ile karakterize edilmektedir. Depolama ile ekmekteki suyun, ekmek içinden kabuğuna doğru hareket etmesi ile ekmek içi sertleşmektedir. Ekmekteki bayatlama, suyun hareketinin dışında, nişasta retrogradasyonu, nişasta-protein interaksiyonunun değişmesi ve glutenin viskoelastik özelliğini kaybetmesi ile de açıklanmaktadır. Ekmekğin tekstürel özellikleri açıklanan tüm bu olaylarla ilişkilidir ve ekmek içi sertlik değeri ekmekğin bayatlamasında indikatör olarak kullanılmaktadır. Sertliğin artması, elastikiyet ve koheziflik değerlerinin azalması, bayatlamanın ekmekğin tekstürel özelliklerine etkisini gösterir (Armero ve Collar, 1998).

Her iki ekmek çeşidinin (doğrudan ve ekşi hamurlu DBU ilavesi) sertlik (N) değeri, 0. gün ile kıyaslandığında depolamanın diğer günlerinde önemli derecede artmıştır (p<0.05) (Şekil 3 ve 4). DBU'nun doğrudan ilave edildiği ekmek çeşidinde, kontrol 1 ve % 7,5 DBU ilaveli ekmeklerde depolamanın 1., 3. ve 5. günleri arasında sertlik (N) değerinde önemli fark görülmezken (p>0.05), % 15 ve %22,5 DBU'lu ekmeklerde depolama ile sertlik (N) değerinde artış eğilimi gözlemlenmiştir (Şekil 1). Kontrol ekmekğinin elastikiyet değeri 0. günden sonra önemli derecede azalmış (p<0.05) fakat depolamanın diğer günlerinde önemli bir farklılık görülmemiştir (p>0.05). Direk hamur yöntemi ile DBU ilave edilen ekmeklerde depolamanın elastikiyet ve çignenebilirlik üzerine önemli etkisi %22,5 irmik ilaveli ekmekte görülmüştür. Koheziflik değeri, depolama ile tüm ekmekler için önemli derecede azalmıştır (p<0.05) (Şekil 3).

DBU'nun ekşi hamur olarak katıldığı ekmeklerde (İEH) depolama ile sertlik (N) değerinde artış görülmüştür (p<0.05). %15 İEH örneği dışındaki ekmekler en yüksek sertlik değerine 3. günde ulaşırken, %15 İEH 5.günde ulaşmıştır. Benzer şekilde %15 İEH'nin çignenebilirlik değeri de 5. gün en yüksek değerine ulaşmıştır. Ekmeklerin koheziflik değerleri depolama ile önemli derecede azalmıştır (p<0.05). %22,5 ekşi hamurlu DBİ içeren ekmekğin elastikiyet değeri depolama ile azalırken (p<0.05) diğer ekşi hamurlu ekmek çeşitlerinde belirgin bir fark görülmemiştir (p>0.05) (Şekil 4).

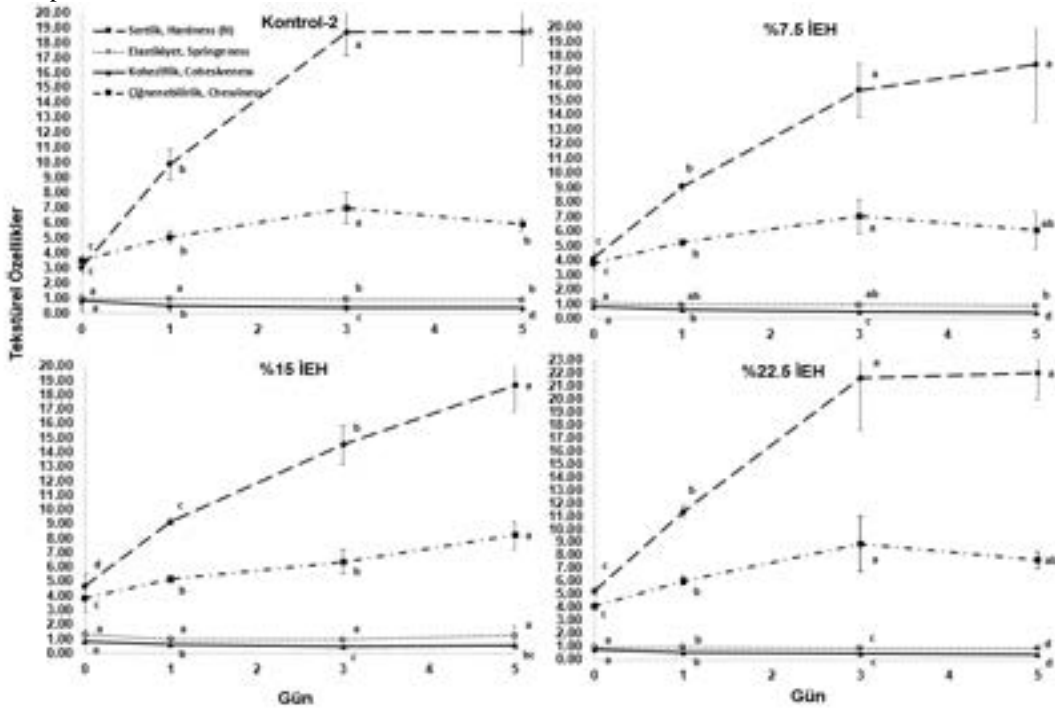


Şekil 3. Doğrudan DBU ilaveli ekmeklerin (İE) gün bazında tekstürel özelliklerinin değişimi  
Figure 3. The change of the textural properties of breads with direct Durum wheat flour addition on daily basis

#### 4. Sonuç

Durum buğdayı ununun ekmekte kullanım imkanın araştırıldığı bu çalışmada, durum buğdayı unu ile hazırlanan ekşi hamurun ekmeğe ilavesi ekmeklerin sertlik değerini doğrudan durum buğdayı unu ilaveli ekmeklere göre artırdığı gözlemlenmiştir. Depolama sırasında da tekstürel özelliklerde

gerileme tespit edilmiştir. Düşük oranda durum buğdayı unlu ekşi hamur ilavesi (%7,5), doğrudan durum buğdayı unlu ilaveli ekmeklere, spesifik hacim ve sertlik değeri açısından yakın kalite özellikleri göstermiştir. Çalışmanın sonucunda, durum buğdayı ununun ekmekte doğrudan kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 4. DBU ilaveli ekşi hamurlu ekmeklerin (İEH) gün bazında tekstürel özelliklerinin değişimi  
Figure 4. The change of textural properties of sourdough bread with durum wheat flour on daily basis

## Kaynaklar

- AACC (2010). American Association of Cereal Chemists International. Approved Methods of the AACC, 11th Ed. Method: 10-10.03, Method: 10-05.01, The Association: St. Paul, MN, USA
- AACC International, 2000, Method No: 55-10, Method No: 54-21, The Association, St. Paul, MN, USA.
- AACC International, 1990, Method No: 08-01, Method No: 10-11, Method No: 10-54, Method No: 10-90, Method No: 38-11, Method No: 44-01, Method No: 46-12, Method No: 55-10, Method No: 54-21, Method No: 56-60, Method No: 56-81B, The Association, St. Paul, MN, USA.
- Acquistucci, R., Melini, V., Tusa, S., & Mecozzi, M. (2019). Effect of different leavening agents on the nutritional characteristics of two durum wheat breads. *European Food Research and Technology*, 245(10), 2173-2181.
- Arendt, E. K., Ryan, L. A., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology*, 24(2), 165-174.
- Armero, E., & Collar, C. (1998). Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Journal of Cereal Science*, 28(2), 165-174.
- Arici, M., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Sagdic, O., & Durak, M. Z. (2018). Biodiversity and technological properties of yeasts from Turkish sourdough. *Food science and biotechnology*, 27(2), 499-508.
- Boggini C, Pagani MA, Lucisano M (1997) Bread-making quality of common and durum wheat flour blends. *Tec Molit* 7:781-791.
- Boyacıoğlu MH, D'Appolonia BL (1994a) Characterization and utilization of durum wheat for bread-making. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chem* 71:21-27
- Boyacıoğlu MH, D'Appolonia BL (1994b) Characterization and utilization of durum wheat for bread-making. III. Staling properties of bread baked from bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chem* 71:34-41
- Dexter, J. E., JE, D., & RR, M. (1978). Effect of semolina extraction rate on semolina characteristics and spaghetti quality.
- Fadda, C., Santos, E. M., Piga, A., & Collar, C. (2010). Innovative traditional Italian durum wheat breads: Influence of yeast and gluten on performance of sourdough Moddizzosu breads. *Cereal chemistry*, 87(3), 204-213.
- Giannone, V., Lauro, M. R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I., & Puglisi, G. (2016). A novel  $\alpha$ -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 381-389.
- Hareland GA, Pühr DP (1998) Baking performance of durum and soft wheat flour in a sponge-dough bread-making procedure. *Cereal Chem* 75:830-835
- Jekle, M., Fuchs, A., & Becker, T. (2018). A normalized texture profile analysis approach to evaluate firming kinetics of bread crumbs independent from its initial texture. *Journal of Cereal Science*, 81, 147-152.
- Karaca, Ö. (2019). Türkiye'de yetiştirilen bazı tescilli durum buğdayı çeşitlerinin makarnalık kalite özelliklerinin belirlenmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005). Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 104-112.
- Lindenmeier, M., & Hofmann, T. (2004). Influence of baking conditions and precursor supplementation on the amounts of the antioxidant pronyl-L-lysine in bakery products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(2), 350-354.
- Liu, C.Y.; Shepherd, K.W.; Rathjen, A.J. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. *Cereal Chem*. 1996, 73, 155-166.
- Minervini, F., Celano, G., Lattanzi, A., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2016). Added ingredients affect the microbiota and biochemical characteristics of durum wheat type-I sourdough. *Food microbiology*, 60, 112-123.
- Rinaldi, M., Paciulli, M., Caligiani, A., Sgarbi, E., Cirlini, M., Dall'Asta, C., & Chiavaro, E. (2015). Durum and soft wheat flours in sourdough and straight-dough bread-making. *Journal of food science and technology*, 52(10), 6254-6265.
- Sabanis, D., & Tzia, C. (2009). Effect of rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 2(1), 68-79.
- Sarkar, A. K., and J. E. B. T.-R. M. in F. S. Dexter. 2016. *Wheat, Dry Milling*. CHAP, Elsevier.
- TMO (2020). 2020 Yılı Hububat Sektör Raporu, <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/sektorraporlari/hububat2020.pdf>, erişim tarihi : 05.07.2022
- Torrieri, E., Pepe, O., Ventrino, V., Masi, P., & Cavella, S. (2014). Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 508-516.
- Yörük, G., & Güner, A. (2011). Laktik asit bakterilerinin sınıflandırılması ve Weissella türlerinin gıda mikrobiyolojisinde önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 6(2), 163-176.



# Madencilik İşlemlerinde Robotların Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Gökhan Külekçi<sup>1\*</sup>, Faruk Ünker<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2971-4045), [gkulekci@gumushane.edu.tr](mailto:gkulekci@gumushane.edu.tr)

<sup>2</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9709-321X), [farukunker@gumushane.edu.tr](mailto:farukunker@gumushane.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1098949)

**ATIF/REFERENCE:** Külekçi, G. & Ünker, F. (2022). Madencilik İşlemlerinde Robotların Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 137-142.

## Öz

Gelişen teknoloji ile birlikte mobil robotlar, çeşitli alanlarda etkileyici ilerlemeler sağlamıştır. İnsanlık açısından en yorucu ve potansiyel olarak tehlikeli çalışma ortamlarından olan madenlerde mobil robotların bu ilerlemesinden etkilenenecektir. Şöyle ki, madencilik sektöründe madencilere yardımcı olarak hareket eden veya yeraltında konuşlandırılan tüm insan personelini değiştiren robotlarla daha yüksek bir otomasyon derecesi, madencilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olabilir. Afet durumlarında, kurtarma robotları kayıp personelin bulunmasına yardımcı olabilir. Yalnızca robotlar tarafından işletilen insan dışı makineler, insan hayatını hiçbir şekilde tehlikeye atmaz. Yapılan bu çalışmada yeraltı madenlerinde kurtarma, haritalama veya aktif çalışma amacı ile üretilebilecek robotlarda denge probleminin çözülmesi amaçlanmıştır. Yeni nesil jiroskop kullanılarak üretilen robotların her koşulda dengede kalması ve verilen görevi sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Açık işletme, Denge, İki tekerlekli robot, Yeni nesil jiroskop, Yeraltı madenciliği.

## Investigation of The Usability of Robots in Mining Operations

### Abstract

With the developing technology, mobile robots have made impressive progress in various fields. Mines, one of the most tiring and potentially dangerous working environments for humanity, will be affected by this advance of mobile robots. Namely, with the robots that can replace the underground personnel in the mining sector, occupational accidents and costs can be significantly reduced. In disaster situations, rescue robots can help locate missing personnel. Unmanned machines operated only by robots do not endanger human life in any way. In this study, it is aimed to solve the balance problem in robots that can be produced for rescue, mapping or active working in underground mines. It is aimed that the robots to be produced using the new generation gyroscope will remain in balance under all conditions and be able to perform the given task in a healthy way.

**Keywords:** Surface mine, Balance, Two wheeled robot, Next generation gyroscope, Underground mining.

\* Sorumlu Yazar: [gkulekci@gumushane.edu.tr](mailto:gkulekci@gumushane.edu.tr)



## 1. Giriş

Hızla gelişen teknoloji ve ham madde ihtiyacı Dünya üzerindeki madenlerin hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Zengin maden yataklarının hızla azalması, maden arayışının daha derin madenlere yönelmesine sebep olmuştur (Külekcı 2021a-b, Külekcı ve Yılmaz, 2017; Külekcı ve Vural 2021; Külekcı ve Yılmaz 2018a-b, Külekcı 2019). Bu durum çok daha zor madencilik ve jeolojik koşullarda gerçekleştirilmektedir. Zor koşulların artması iş yoğunluğunu ve geliştirme maliyetlerindeki artışa yansımaktadır. Bunun yanında derin madencilik, oluşabilecek tehlikeli durumları artırmakta ve acil eylem planlarını yetersiz hale getirmektedir (Külekcı ve Çullu 2021, Külekcı, vd., 2018; Külekcı ve Yılmaz, 2019, Külekcı ve Çullu 2019). Bu ve benzer problemlerin giderilmesi açısından birçok araştırmacı madenlerde robot kullanılabilirliğini araştırmaktadır (Greh ve diğ. 2015, Nikitenko ve diğ. 2017 Mamurekl ve diğ.1996, Zhigang ve Lu 2011). Gelişen teknoloji ile birlikte mobil robotlar, çeşitli alanlarda etkileyici ilerlemeler sağlamıştır. Yeraltı madenleri insanlar için yorucu ve potansiyel olarak tehlikeli çalışma ortamları olduğundan, yeraltı madencilikindeki mobil robotların potansiyel faydaları çok fazladır. Ya madencilere yardımcı olarak hareket eden ya da yeraltında konuşlandırılan tüm insan personelini değiştiren robotlarla daha yüksek bir otomasyon derecesi, madencilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olabilir. Afet durumlarında, kurtarma robotları kayıp personelin bulunmasına yardımcı olabilir. Yalnızca robotlar tarafından işletilen insansız makineler, insan hayatını hiçbir şekilde tehlikeye atmaz. Madenlerde robotlar destek ve kurtarma amaçlı olarak iki gruba ayrılır. Maden haritalamayı hızlandırmak, sanal modeller oluşturmak, işçilere yardımcı olmak, veri toplamak ve güvenliği artırmak için kullanılan robotlara destek robotları denir (Green, 2013). Yer hareketi (göçük), su baskını, hava patlaması, gaz patlamaları ve toz patlamaları gibi durumlarda, tüm galeri veya yolların, oksijen eksikliğinden ayrı olarak karbondioksit ve karbon monoksit gibi yüksek seviyelerde zararlı gazlar ve metan gibi patlayıcı gazlar ile dolması ve kurtarma personelinin görüşünü engelleyecek şekilde toz ve duman veya su ile dolu olduğu durumlarda kurtarma ekibinin giremeyeceği ortamlara girerek insan yeri tespit kurtarma ve analiz eden robotlara da kurtarma robotları denir (Rong ve diğ. 2011, Li ve diğ. 2019).

Küresel zengin maden yatakları tükenirken, Madencilik işlemleri yeraltında oldukça derinde ve çok daha zor madencilik ve jeolojik koşullarda gerçekleştirilmektedir. Bu durum, hem emek yoğunluğundaki ve geliştirme maliyetlerindeki artışı hem de artan acil durum olasılığını belirler (Fryanov ve diğ. 2017). Son yıllarda, maden işletmelerinde iş kazaları daha sık hale gelmiş ve bu iş kazaları sonucunda can kayıpları da artmıştır. Yeraltında çalışan insan faktörünün ortadan kaldırılması, oluşabilecek kazalarda can kaybını önlemek için ciddi bir çare olarak görülmelidir. Bu, yalnızca otomatik kontrol sistemleri kullanılarak insansız madencilik için makine ve teknoloji kullanımıyla sağlanabilir. Mekatronik sistem, ekipman türlerine göre ayrı alt sistemlere ayrılmıştır. En son veri toplama, dönüştürme ve iletme araçlarını kullanan telemetri ilkelerine dayalı otomatikleştirilmiş karmaşık uzaktan kumanda sistemine geliştirilmiştir. Otonom Sistem arayüzü, tüm vardiya boyunca operatörün en verimli ve hatasız performansını sağlar. Madencilik endüstrisindeki uzaktan kumandalı robotik kompleksin konsept uygulaması, yalnızca madenlerdeki acil durumların trajik sonuçlarından kaçınmaya değil, aynı zamanda

ulusal madencilik ekipmanı ve teknolojisini en yüksek dünya standartlarına yükseltmeye de olanak tanıyacaktır (Plotnikov ve diğ. 2020).

Madencilik sektöründe bu denli faydalı robot kullanılan alanların sınırlı olmasının en belirgin nedenleri; kullanılan robotların yavaş ve hantal olması, ayrıca yeraltı ve yer üstünde oluşabilecek coğrafi ve fiziki zorluklar karşısında denge problemi yaşamalarıdır. Kullanılan robotlar genel olarak palet hareket sistemi ile hareket etmektedirler, bu da hızlarının oldukça yavaş olmasına ve acil müdahale yapmalarına engel olmaktadır. Ayrıca denge sistemlerindeki aksaklıklar en küçük engebe veya tehlikede devrilmelerine neden olmaktadır (Ünker ve Çuvalcı 2019, Rong ve diğ. 2011, Green, 2013).

Bu çalışmada, yer üstü ve özellikle yeraltı madencilikinde destek ve kurtarma robotları gelişimi ve tasarımı incelenmiştir. Çalışmada madenlerde çalışabilecek iki tekerlekli yüksek hızlı robotlar tasarlanmıştır. Yapılan çalışma ile yeni nesil jiroskop kullanılarak madencilik sektöründe kullanılan robotlarda denge problemi ortadan kaldırılmış ve ilgili formül ve grafikler ile bu ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. İki Tekerlekli Kazıcı Robotun Basitleştirilmiş Modeli

Madencilik sektöründe genel olarak 4 tekerlekli ya da palet sistemli hareketli robotlar tasarlanmıştır. Bunların en büyük dezavantajı, düşük hızları, büyük ağır olmaları ve yetersiz denge sistemlerinin olmasıdır.

Bu çalışmada, iki tekerlekli kendi kendini dengeleyen robot, gövdeyi dikey konumunda tutmak ve istenmeyen reaksiyon torklarını ortadan kaldırmak için birbirine zıt yönlerde hareket eden iki jiroskopik volan içeren iki gimbaldan oluşur.

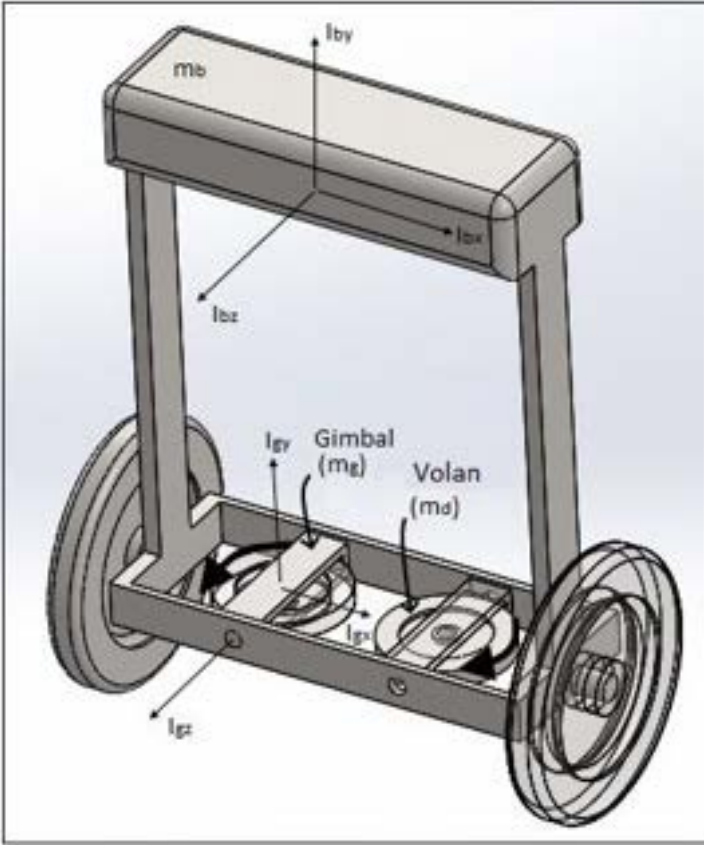
Robotun ağırlık merkezinden geçen eksene simetrik sol ve sağ tarafta, Şekil 1'de gösterildiği gibi robot gövdesine gimballar ile bağlı iki volan mevcuttur. Şekil 2'de gösterildiği gibi, tüm volanlar ve gimballar, tekerleklerin ortasındaki bir düzlemde ve kendi pivot eksenleri etrafında zıt yönlerde dönmektedir. Gimbalların açısız yer değiştirmeleri sırasıyla  $-\theta$  ve  $\theta$  olacaktır ve volanlar aynı açısız hızlarda dönerken gimbalların tek serbestlik derecesine sahip olduğu kabul edilebilir. Bu nedenle, robot ve jiroskopların hareketi sırasıyla  $z$ ,  $\theta$  ve  $\phi$  bilinmeyenli (üç serbestlik dereceli) üç diferansiyel hareket denklemiyle (1-3) temsil edilebilir. Sistem elemanlarının tanımları ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

#### 2.1.1. Robotun Hareket Denklemleri

Robotun dinamik matematiksel modelinden Lagrangian formülasyonu kullanılarak, hareket denklemleri türetilmiştir. İki jiroskopa sahip iki tekerlekli kendi kendini dengeleyen bir robotun basitleştirilmiş bir modeli Şekil 2'de gösterilmektedir. Jiroskopların kütle merkezi, sıfır potansiyel enerji olarak tekerleklerin dönme eksenini ve aynı zamanda robot gövdesinin (ters çevrilmiş sarkaç) dönme ekseninde bulunur. Lagrange denklemlerini uygulayarak, diferansiyel hareket denklemleri aşağıdaki gibi elde edilebilir (Ünker, 2020; Ünker, 2021):

Tablo 1. İki tekerlekli robotun fiziksel değerleri

Sembol	Sayısal değerler	Tanım
g	9.81 m/s <sup>2</sup>	Yerçekimi ivmesi
r	0.15 m	Tekerlek yarıçapı
L	0.5 m	Gövde kütlesinin ağırlık merkezi uzaklığı
m <sub>b</sub>	80 kg	Gövde kütlesi
m <sub>g</sub>	2 kg	Herbir gimbalın kütlesi
m <sub>w</sub>	15 kg	Herbir tekerleğin kütlesi
m <sub>d</sub>	2.5 kg	Herbir jiroskopun volan kütlesi
I <sub>p</sub>	0.007 kg.m <sup>2</sup>	Herbir volanın dönme atalet momenti
I <sub>o</sub>	0.004 kg.m <sup>2</sup>	Herbir volanın kütle atalet momenti
I <sub>gx</sub>	0.006 kg.m <sup>2</sup>	Herbir gimbalın kütle atalet momenti
I <sub>gy</sub>	0.006 kg.m <sup>2</sup>	Herbir gimbalın kütle atalet momenti
I <sub>gz</sub>	0.0007 kg.m <sup>2</sup>	Herbir gimbalın kütle atalet momenti
I <sub>bx</sub>	3.5 kg.m <sup>2</sup>	Gövdenin kütle atalet momenti
I <sub>w</sub>	0.25 kg.m <sup>2</sup>	Tekerleğin dönme atalet momenti
Ω	0-3000 rad/s	Herbir volanın dönme hızı
τ	20cos(10t) N.m	Herbir tekerleğin torku
P	0	Gimbalın oransal kazanç katsayısı



Şekil 1. İki tekerlekli robotun fiziksel modeli (Ünker, 2021)

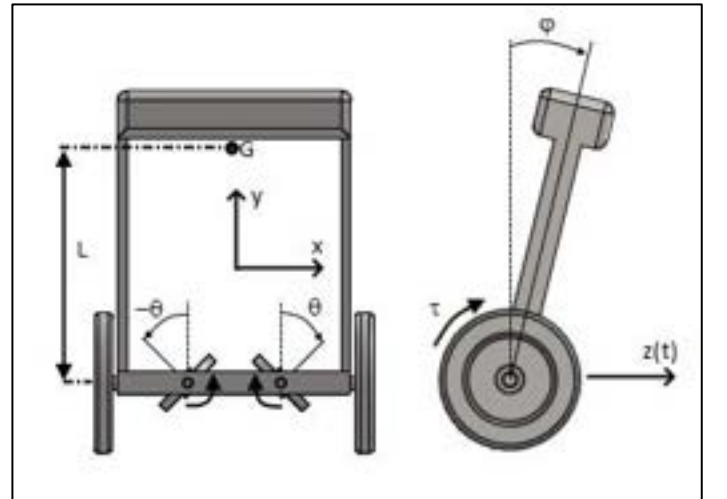
$$\left(M_t + \frac{2I_w}{r^2}\right) \ddot{z} + m_b L \ddot{\varphi} \cos \varphi - m_b L \dot{\varphi}^2 \sin \varphi = \frac{2\tau}{r} ; \quad (1)$$

$$(I_o + I_{gz})\ddot{\theta} + (I_o - I_p + I_{gx} - I_{gy})\dot{\varphi}^2 \cos \theta \sin \theta - I_p \Omega \dot{\varphi} \cos \theta = P\theta ; \quad (2)$$

$$(2I_o \cos^2 \theta + 2I_p \sin^2 \theta + 2I_{gx} \cos^2 \theta + 2I_{gy} \sin^2 \theta + I_{bx} + m_b L^2)\ddot{\varphi} + 4(I_p - I_o + I_{gy} - I_{gx})\dot{\varphi}\dot{\theta} \sin \theta \cos \theta + 2I_p \Omega \dot{\theta} \cos \theta + \ddot{z} m_b L \cos \varphi - m_b g L \sin \varphi = -2\tau ; \quad (3)$$

burada

$$M_t = 2m_d + 2m_g + 2m_w + m_b \quad . \quad (4)$$



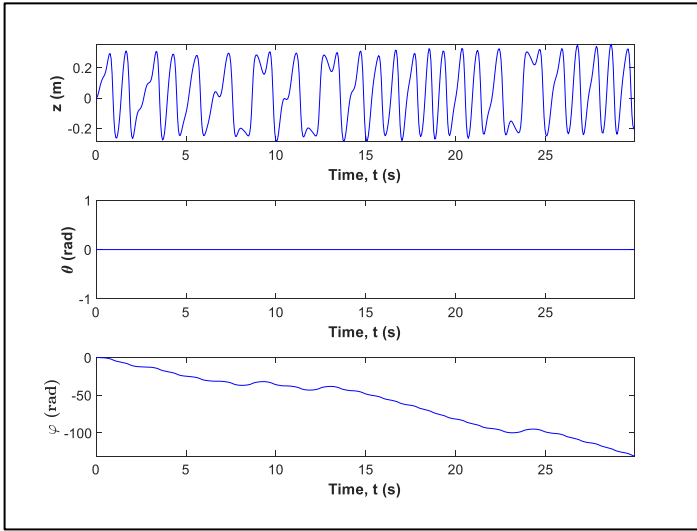
Şekil 2. İki tekerlekli robotun ağırlık merkezine (G) devrilme ekseninden uzaklık (L) (Ünker, 2021).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

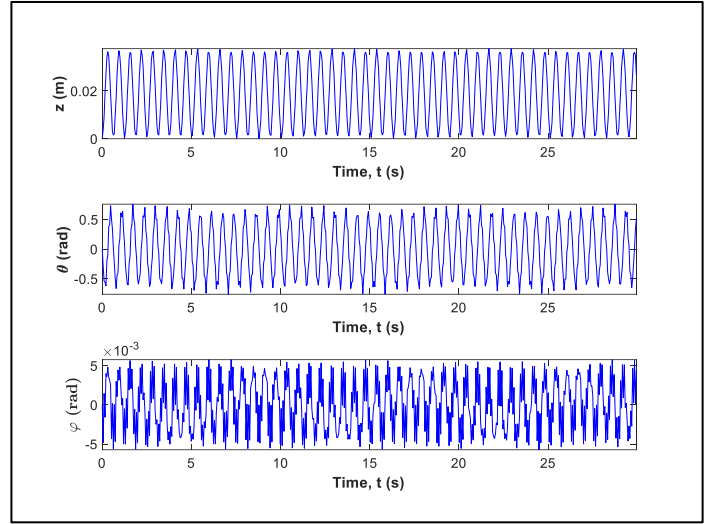
Gelecek yıllarda birçok sektörde olduğu gibi madencilik sektöründe de çok yaygın olarak kullanılacak iki tekerlekli robotların gelişimi çok önemlidir. Bu çalışma bu gelişime büyük katkı sağlayacaktır. Tablo 1'de verilen fiziksel parametrelere sahip hareket denklemlerinin (Denklem (1-3)) sayısal çözümü dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılarak MATLAB yardımıyla çözülebilir. Robotun dinamik davranışını belirlemek için zamana bağlı sonuçlar 0,001 sn'lik zaman adımı ve sıfır başlangıç koşulları ile simüle edilmiştir.

#### 3.1. Zaman Taraması

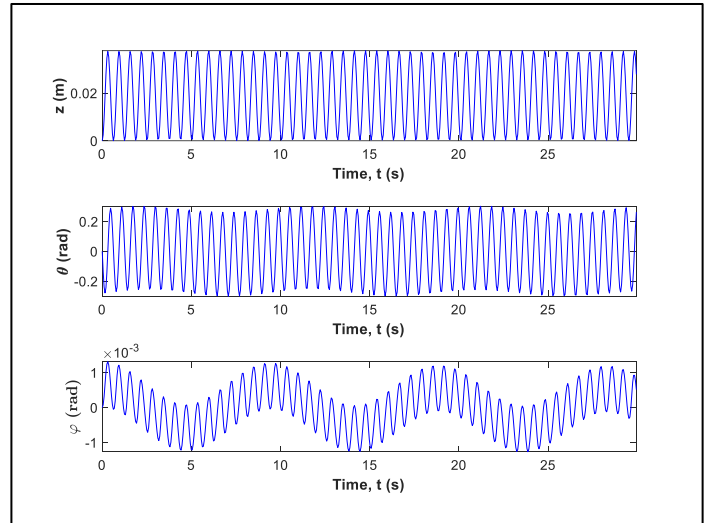
KontROLSÜZ ( $\Omega=0$ ) ve kontrollü ( $\Omega=1500$  ve  $3000$  rad/s) durumlar için  $\omega=10$  rad/s frekansta ve  $T_0 = 40$  Nm genlikli harmonik yük altında ( $Tork=2\tau=40\cos(10t)$  Nm) yer değiştirme sonuçları sırasıyla Şekil 3-5'de gösterilmektedir. CMG'nin kontrol edilmesi ( $\Omega=1500$  ve  $3000$  rad/s) robotun gövdesini sabit durum salınımında tutmasını sağlamıştır. Robotun ve gimbalın yer değiştirmelerinden,  $\Omega=1500$  rad/s düşük hızla dönen volanın gimbalma ait presesyon genliği ( $\theta_0$ ) daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, kararlı bir hareket için gimbalın presesyon genliği ( $\theta_0$ ) mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun için volanın açısal momentumları mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.



Şekil 3.  $\Omega=0$  rad/s için zamana bağlı yer değiştirme sonuçları ( $Tork=2\tau=40\cos(10t)$  Nm).



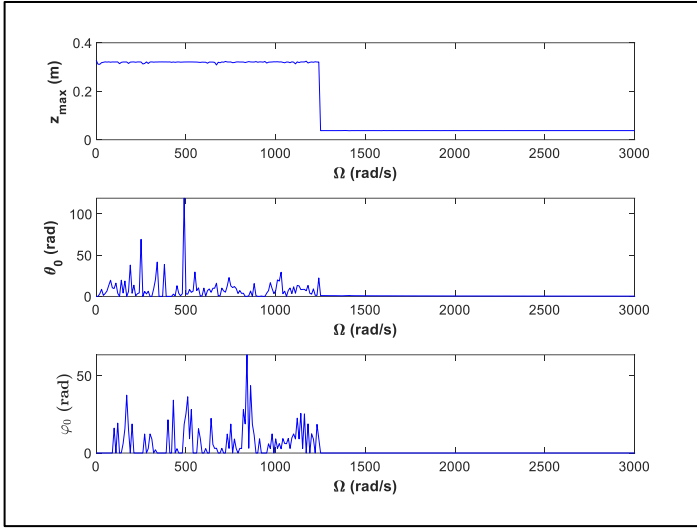
Şekil 4.  $\Omega=1500$  rad/s için zamana bağlı yer değiştirme sonuçları ( $Tork=2\tau=40\cos(10t)$  Nm).



Şekil 5.  $\Omega=3000$  rad/s için zamana bağlı yer değiştirme sonuçları ( $Tork=2\tau=40\cos(10t)$  Nm).

#### 3.2. Volan Hızı Taraması

Şekil 6, diferansiyel hareket denklemlerinin,  $Tork=40\cos(10t)$  N.m değeri için jiroskopun değişken volan hızlarındaki yer değiştirme genliklerini göstermektedir. Volan açısal hızına ait her bir tarama adımı 10 rad/s değerinde sabit tutularak her tarama sırasında 20 saniyelik yer değiştirme için maksimum genlik belirlenmiştir. Şekil 5'ten anlaşılacağı üzere volan hızının yüksek değerlerinde jiroskopun daha fazla kontrol momentumuna sahip olacağından, gimbalın presesyon genliği  $\theta_0$  ve gövdenin devrilme açısı genliği  $\varphi_0$  azalır ve robot gövdesinin ( $z_{max}$ ,  $\varphi_0$ ) hareketi daha kararlı duruma geçer.



Şekil 6. Volan hızının yer değiştirmeler üzerindeki etkisi.  
( $T_{ork}=2\tau=40\cos(10t)$  N.m)

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, hız, denge ve güvenlik bakımından özellikle yeraltı madenciliğinde insan faktörünün yerini alması öngörülen iki tekerlekli maden robotu tasarlanmıştır. Tasarlanan robota yeni nesil jiroskop yerleştirilerek yeraltı koşullarına uygunluğu ortaya konmuştur. Oransal kontrollü CMG sayesinde, iki tekerlekli robotun devrilmesine neden olan atalet kuvvetleri ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, oransal kontrolcü sayesinde, geleneksel jiroskopun eksikliği olan volanın sabit açısız hızında devrilmeye karşı sürekli sabit bir moment üretmesi sağlanmıştır. Burada oransal kontrol sayesinde jiroskop, ana gövdeyi dikey konumunda tutmak için gimbalın hareketini dengeler.

Hareket denklemlerinin simülasyon sonuçları, robotun kontrollü CMG kullanarak dengesini kaybetmeden hızlanabileceğini göstermektedir. Performans önemli ölçüde volan hızına ve dolayısıyla açısız momentuma bağlıdır.

Bu çalışma ile, madencilik sektörü düzensiz bir yapıdır özellikle yeraltında engebeli arazide sürekli değişen koşullar ve coğrafya mevcuttur. Bu zor koşullarında insan üstü denge yeteneklerine sahip robotlar insanların yaptığı bütün işleri (kazi, kontrol, ölçüm, taşıma vb.) yapabilecek ve insanların görebileceği zararları min. seviyeye düşüreceği ortaya konmuştur.

Fiziki bir robot yapımının maliyeti karşılanamadığı için, yapılan çalışma simülasyon programı ile desteklenmiş teorik bir çalışmadır. Bu konuda yapılacak çalışmalarda bu robotun fiziki olarak yapılarak denge ve kullanılabilirlik açısından, uygulama ve teorikte uyuşup uyuşmadığı incelenebilir.

#### Kaynakça

Chen J, Ye P, Sun H, et al. (2016). Design and motion control of a spherical robot with control moment gyroscope, IEEE International Conference on Systems and Informatics, Shanghai, China, 19 – 21 November 2016, 144–120.  
Defendini A, Fauchaux P, Guay P, et al. (2003). Control Moment GYRO CMG 15-45 S: a compact CMG product for agile satellites in the one ton class”, 10th European space mechanisms and tribology symposium, San Sebastián, Spain, 25 September 2003, 524; pp.27–31. ESA.

Mamurekl, D., Aydın, C., Deveci, H., & Sönmez, A.T. (1996). Robotics Control in Mining, Madencilik,3-18, 35, 2.  
Grasser, F., Arrigo, A.D. & Colombi, S. (2002). JOE: A mobile, inverted pendulum, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 49(1), 107–114.  
Hosoda, Y, Egawa, S, Tamamoto, J., et al. (2006). Basic design of human-symbiotic robot EMIEW, International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, 9-15 October 2006, pp. 5079–5084.  
Imtiaz, M.A., Naveed, M., Bibi, N., et al. (2018). Control System Design, Analysis & Implementation of Two Wheeled Self Balancing Robot, 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, Vancouver, Canada, 1-3 November, pp.1-6.  
Irdayanti, Y, Kusumanto, R.D., Anisah, M., et al. (2020). Ultrasonic Sensor Application As A Performance Enhancement of Robot Two Wheels, J. Phys.: Conf. Ser. 1500 (012007).  
Green, J. (2013). Mine Rescue Robots Requirements Outcomes from an industry workshop, 2013 6th Robotics and Mechatronics Conference (RobMech) Durban, South Africa, October 30-31, 2013  
Korayem, M.H. & Gariblu, H. (2003). Maximum Allowable Load on Wheeled Mobile Manipulators Imposing Redundancy Constrains. Robotics and Autonomous Systems, 44, 151-159.  
Korayem, M.H. & Gariblu, H. (2004). Analysis of Wheeled Mobile Flexible Manipulator Dynamic Motions with Maximum Load Carrying Capacities. Robotics and Autonomous Systems, 48(2-3): 63-76.  
Korayem, M.H., Azimi, V., Vatanjou, H., & Korayem, A.H. (2012). Maximum load determination of nonholonomic mobile manipulator using hierarchical optimal control. Robotica, 30 (1), 53-65.  
Korayem, M.H., Azimirad, V., Nikoobin, A., & Boroujeni, Z. (2010). Maximum Allowable Load of autonomous mobile manipulator in environment with obstacle considering tip over stability. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46(5-8), 811-829.  
Küleççi, G. (2021a). Comparison of Field and Laboratory Result of Fiber Reinforced Shotcrete Application. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(2), 463–73.  
Küleççi, G. (2021b). Investigation of fly ash added light concretes with respect to gamma radiation transmission properties of 133 Ba and 137 Cs. Radiation Effects and Defects in Solids, 176(9–10), 833–44.  
Küleççi, G. & Çullu, M. (2021). The Investigation of Mechanical Properties of Polypropylene Fiber-Reinforced Composites Produced With the Use of Alternative Wastes. Journal of Polytechnic.  
Küleççi, G. & Yılmaz A. O. (2018a). Roadway Tunnel Construction With Drilling-Blasting Method; Gümüşhane Environment Road Example. International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences 4, 34–39.  
Küleççi, G. & Çullu, M. (2019). The Effect of Polypropylene Fibers, Used in Different Proportions, on Paste Filling. İçinde 3. International Conference on Advanced Engineering Technologies, 313–20.  
Küleççi, G., Çullu, M., & Yılmaz, A.O. (2018). Environmental problems to be created in mining procedures and measures to be taken example of a quarry dust emission, 4th EurAsia Waste Management Symposium, EurAsia2018, 319-327.

- Külekcı, G. & Yılmaz A.O. (2017). Investigation of Trabzon Volcanities Usable as External Covering, *MSU Journal of Science*, 5 (2), 459-464.
- Külekcı, G. & Yılmaz A.O. (2019). Investigation of the effect of activities in a copper mine on historical works, an example of Gümüşhane Süleymaniye. *Journal of underground resources* 16(8), 1–14.
- Külekcı, G. (2019). The Distribution Of Water In Artvin Region Volcanites. *ICOCEM 2019, Giresun, Turkey*.
- Külekcı, G. & Yılmaz A. O. (2018b). A Case Study On The Effects Of Stone Quarries On Environment And Agricultural Land. *BAHÇE* 47(2), 148–62.
- Külekcı, G. & Vural A. (2021). Determining Excavability In A Quarry And Comparison With The Applied Method. *International Halich Congress On Multidisciplinary Scientific Research*, 299–307.
- Larimi, S.R., Zarafshan, P., & Moosavian, S.A.A. (2015). A new stabilization algorithm for a two-wheeled mobile robot aided by reaction wheel. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 137(1), 011009 (8 pages)
- Li, Z. & Li, S. (2021). Saturated PI Control for Nonlinear System With Provable Convergence: An Optimization Perspective. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 68(2), 742-746.
- Li, Z., Li, C., Li, S., & Cao, X. (2020). A Fault-Tolerant Method for Motion Planning of Industrial Redundant Manipulator. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(12), 7469–7478.
- Lin, S.C., Tsai, C.C., & Huang, H.C. (2011). Adaptive robust self-balancing and steering of a two-wheeled human transportation vehicle. *J Intell Robot Syst*, 62(1), 103–123.
- Nikitenko, M.S., Malakhov, Y.V., Neogi, B., Chakraborty, P., & Banerjee, D. (2017). Robotic complex for the development of thick steeply-inclined coal seams and ore deposits *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 84 (2017), 012002. doi :10.1088/1755-1315/84/1/012002
- Mahvan, A. & Akbarzadeh, A. (2015). Gyro stabilized two-wheeled inverted pendulum robot. *Proceedings of the 3rd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics, Tehran, Iran, 7-9 October 2015*, pp. 669–674. IEEE.
- Li, M., Zhu, H., You, S., Wang, L., & Tang C. (2019). Efficient Laser-Based 3D SLAM for Coal Mine Rescue Robots, *IEEE Access*. doi : 10.1109/ACCESS.2018.2889304
- Plotnikov, N.S., Kolokoltseva, E.U., & Volkova. Y.V. (2020). Technical Review of Robotic Complexes for Underground Mining, *Earth and Environmental Science*. 459 (2020), 042025. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/459/4/042025
- Zhigang, N. & Lu, W. (2011). Hazardous Gas Detecting Method Applied in Coal Mine Detection Robot *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*.
- Park, J.H. & Cho, B.K. (2018). Development of a self-balancing robot with a control moment gyroscope. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 15, 1–11.
- Ruan, X. & Chen, J. (2010). H1 robust control of self-balancing two wheeled robot. *8th World congress on intelligent control and automation, Jinan, China, 7-9 July 2010*, pp. 6524–6527.
- Greh, S., Donner, M., Ferber, M., Dietze, A., Mischo, H., & Jung, B. (2015). Mining-RoX – Mobile Robots in Underground Mining, *Third international future mining conference / sydney, NSW, 4–6 NOVEMBER 2015*
- Takei, T., Imamura, R., & Yuta, S. (2009). Baggage transportation and navigation by a wheeled inverted pendulum mobile robot. *IEEE Transactions on Industrial Electronic*, 56(10): 3985-3994.
- Tanaka, K. & Nagasawa, S. (2020). Posture stability control of a small inverted pendulum robot in trajectory tracking using a control moment gyro, *Advanced Robotics*. 34(9), 610-620.
- Ünker, F. (2021). Proportional Control Moment Gyroscope for Two-Wheeled Self-Balancing Robot. *Journal of Vibration and Control*. 0(0): 1–9.
- Ünker, F. & Çuvalcı, O. (2019). Optimum Tuning of a Gyroscopic Vibration Absorber for Vibration Control of a Vertical Cantilever Beam with Tip Mass. *International Journal of Acoustics and Vibration*. 24(2): 210–216.
- Ünker, F. (2020). Tuned gyro pendulum stabilizer for control of vibrations in structures. *International Journal of Acoustics and Vibration*. 25(3): 355–362.
- Fryanov, V.N., Pavlova, L.D., & Temlyantsev, M.V. (2017). Theoretical approaches to creation of robotic coal mines based on the synthesis of simulation Technologies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 84 (2017), 012001 doi :10.1088/1755-1315/84/1/012001
- Wasiwitonu, U., Wahjudi, A., & Saputra, A.K., (2020). Stabilization and disturbance attenuation control of the gyroscopic inverted pendulum. *Journal of Vibration and Control*. 0(0): 1-11.
- Xu, J., Shang, S., Qi, H., et al. (2016), Simulative investigation on head injuries of electric self-balancing scooter riders subject to ground impact. *Accid Anal Prev*. 89, 128–141.
- Rong, X., Song, R., Song, X., & Li, Y. (2011). Mechanism and explosion-proof design for a coal mine detection robot. *Procedia Engineering*. 15 (2011) 100 – 104.
- Yetkin, H. & Özgüner, U. (2013). Stabilizing control of an autonomous bicycle. *9th Asian control conference (ASCC), Istanbul, Turkey, 23-26 June 2013*, pp.1–6.
- Yun, S.Y., Lee, W.S., & Gwak, K.W. (2020). CMG-based anthropomorphic test device for human rider behavior reproduction for two-wheeled self-balancing personal mobility. *Mechatronics*. 69, 102365.



# Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Özgür Cengiz<sup>1\*</sup>, Şükriye Aktepe<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8075-7470), ocengiz1@gmail.com

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3967-446X), sukriyeaktepe@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1105071)

**ATIF/REFERENCE:** Cengiz, Ö. & Aktepe, Ş. (2022). Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 143-150.

## Öz

Üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir. Yazıcılardaki teknolojinin ya da başka bir deyişle eklemeli üretim teknolojisinin son yıllarda hızlı büyümesi ile birlikte yazıcılarda kullanılan malzemeler için alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, farklı malzemeler ile 3 boyutlu yazıcılarda, farklı kullanım alanları için üretimler yapılabilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemeler, sürdürülebilirlik potansiyeli ve yüksek maliyetleri bakımından değerlendirildiklerinde, alternatif ve yardımcı malzeme kullanım olanaklarına dönük çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bu malzemelere alternatif olarak, atık malzemelerin kullanılabilirliği ve kullanılan bu malzemeler ile hem döngüsel ekonomiye hem de üretimdeki maliyetin düşmesine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcılarda katkı maddesi ya da filament olarak kullanılabilir; endüstriyel kullanımı yaygın olan bir malzeme olarak ahşap ve üretim atık malzemesi olarak talaş değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir bir malzeme olması bakımından avantajlı olan talaş, aynı zamanda yazıcılarda katkı maddesi olarak da kullanım potansiyeline sahiptir. İncelenen araştırmalarda görüldüğü üzere, talaş malzemesi ile farklı kullanım alanları için yaratıcı tasarımlar yapılmıştır ve denemeler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre kullanım alanları yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda, alternatif bir malzeme olarak ahşap ve talaş malzemelerinin üç boyutlu yazıcılarda tasarım denemeleri ve üretilen objelerin nihai kullanım olanakları tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Ahşap, Ahşap işleme, Ahşap tozu, Talaş, 3 Boyutlu (3D) Yazıcı, Filament.

## Evaluation of the Potentiality of Wood and Processing Dust as Sustainable Raw Materials for 3 Dimensional (3D) Printers

### Abstract

Three-Dimensional (3D) printing technology is constantly evolving. Recently, several alternative studies are being conducted for the materials used in 3D printers with the growth of technology in additive manufacturing. On the other hand, different materials for different applications could be produced by means of 3D printers. While focusing the materials that are widely used today are evaluated in terms of their potential of sustainability and high costs, several studies addressing the possibilities of alternative and additive material utilization possibilities are being carried out. As an alternative to the mentioned materials which are commonly used, it is thought that several waste materials can be used and that the utilization of these materials provides a contribution to the circular economy as well as the cost-effective production. In this study, two materials which have widespread industrial scale were evaluated for 3D printing applications; wood material that can be used as an additive or a filament in 3D printers and sawdust as a waste material obtained from production processes. Sawdust, which is advantageous in terms of being a sustainable material, also has the potential to be used as an additive in printers. It was observed that several creative designs for different areas of use have been made using sawdust material and the experiments have been evaluated. According to the results of the evaluated studies, the utilization areas of the materials were assessed. As a result of this study, design experiments of wood and sawdust as alternative materials in 3D printing applications and the utilization possibilities of the manufactured objects were discussed.

**Keywords:** Sustainability, Wood, Wood processing, Wood dust, Sawdust, 3D printer, Filament

\* Sorumlu Yazar: Ö.Cengiz, [ocengiz1@gmail.com](mailto:ocengiz1@gmail.com); [ocengiz@aku.edu.tr](mailto:ocengiz@aku.edu.tr)

## 1. Giriş

Üç boyutlu yazıcı (3D printer) teknolojileri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wimmer ve ark., 2015). Bilgisayar ortamında tasarlanan farklı ihtiyaçlara cevap veren objeler üç boyutlu yazıcılar ile basılabilmektedir. Baskı kolaylığı, özgün tasarım ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde üç boyutlu yazıcılara ilgi giderek artmaktadır (Conner ve ark. 2014). Üç boyutlu (3D) yazıcılarda basılacak objenin işlevine göre farklı malzeme alternatifleri bulunmaktadır. En yaygın kullanılan malzemeler ise Akrilonitril bütadien stiren (ABS, Acrylonitrile Butadiene Styrene) ve Polilaktik Asit (PLA, Polylactic Acid) malzemelerdir (Bulanda ve ark., 2020). Kullanılan malzemele rin üretilmesi sırasında doğaya zarar vermesi, yazıcıda baskı alınırken oluşan atıklar göz önüne alındığında farklı malzemeler veya farklı ek malzemeler kullanılması gündeme gelmektedir. Yenilenebilir malzemeler üzerinde çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda ahşap; doğada bulunan ve yenilenebilir bir malzemedir. 3D yazıcılarda ahşap ve talaş kullanılarak çeşitli özgün tasarımlar ve bazı deneyler yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. 3D yazıcılarda ahşap ve talaşın kullanımıyla çevre dostu tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Plastik ve biyopolimer malzemelerin kombinasyonları üç boyutlu yazıcılarda üretilen objelerin maliyeti yüksekti ve daha malzeme üretimi aşamasında doğaya zarar vermeye başlamaktadır (Kariz ve ark., 2015). Ahşap ve talaşı üç boyutlu yazıcıda malzeme olarak kullanmak için öğütme işlemi yapılmakta ve ahşap veya talaş ince bir toz haline gelmektedir. Ardından bir toz haline getirilen malzeme bir bağlayıcı malzeme ile karıştırılmaktadır. Kullanılan bağlayıcı malzemeler yapıştırıcılar, plastikler, alçı, selüloz, çimento ve sodyum silikat olarak belirlenmiştir. Farklı filament malzemelerin kullanımı ile de yine farklı formlarda objeler tasarlanıp yazıcılarla basılabilmektedir. Ahşap ve talaşın üç boyutlu yazıcılarda malzeme olarak kullanılması Şekil 1 de gösterilmektedir (Das ve ark., 2021). 3D yazıcı teknolojisi son çeyrek asırda hızla ilerleme göstermektedir. Farklı kullanım alanlarına olanak tanınması nedeni ile malzeme seçimi aşamasında ahşap bazı malzemelerin ve üretim atıklarının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Küresel iklim ve çevre kirliliği sorunları değerlendirildiğinde, hammadde temini ile başlayan üretim sürecinde ilk aşama olarak malzeme seçiminde, sürdürülebilir ve temiz üretim hedeflenmelidir. Bu amaç doğrultusunda için çevresel faktörler de göz önünde bulundurulularak malzeme seçimi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, üç boyutlu (3D) yazıcılarda katkı maddesi olarak veya filament olarak kullanılabilir; endüstriyel kullanımı yaygın olan bir malzeme olarak ahşap ve üretim atık malzemesi olarak talaş değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir bir malzeme olması bakımından avantajlı olan talaş, aynı zamanda yazıcılarda katkı maddesi olarak da kullanım potansiyeline sahiptir. İncelenen araştırmalarda görüldüğü üzere, talaş malzemesi ile farklı kullanım alanları için yaratıcı tasarımlar yapılmıştır ve denemeler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre kullanım alanları yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda, alternatif bir malzeme olarak ahşap ve talaş malzemelerinin üç boyutlu (3D) yazıcılarda tasarım denemeleri ve üretilen objelerin nihai kullanım olanakları tartışılmıştır.

## 2. Sürdürülebilir Malzemeler

### 2.1. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik kavramı; beşeri, sosyal ve küresel düzeyde 21. yüzyılın en önemli fikirlerinden birini oluşturmaktadır. Demokrasi ve küreselleşme gibi yaygın, tartışmaya açık ve vazgeçilmez bir kavram olan sürdürülebilirliğin, sürekli genişleyen bir alana sahip olması tanımlamasını güçleştirmektedir. Türkçede 'sürdürmek, devam ettirmek, desteklemek, çekmek' anlamlarına gelen 'sustain' kelimesinin kökeni, Latince 'sub-şağıdan, alttan' ve 'tenere-sahip olmak, tutmak' kelimelerinin birleşiminden meydana gelen 'sustinere-şağıdan desteklemek' kelimesine dayanmaktadır. Oxford sözlüğünde; 'belirli bir oranın veya düzeyin devam ettirilebilme becerisi' ve 'ekolojik dengenin sürdürülmesi için doğal kaynak tüketiminden kaçınılması' şeklinde sürdürülebilirliğin kelime anlamına yer verilmiştir (Akpulat, 2019). Tam olarak kabul edilmiş ve kesin olarak ifade edilmiş bir tanım olmamakla birlikte 'sürdürülebilirlik'; "Ekonomik refah, sosyal gelişim ve çevresel koruma faktörlerinin entegrasyonu yolu ile günümüz ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanması anlamına gelir" (GoVA'dan aktaran Van-Berkel, 2006).

Malzeme bilimleri ve teknolojilerine uygulandığında iki kapsayıcı sürdürülebilir malzeme hedefi değerlendirilmektedir;

- I. Detoksifikasyon: Terim, toksikolojiden türemekte ve ürünlerde ve süreçlerde kullanılan malzemelerin toksik özelliklerin azaltılmasını açıklamaktadır. Bu, bir proseste veya üretimde kullanılan toksik maddelerin hacminin azaltılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bunun için toksik yerine daha az sağlığa zararlı malzemeler kullanmak, kimyasallar veya malzemelerin toksisitesini değiştirmek, toksik özelliklerin kimyasal değişiklikler yolu ile azaltılması veya ortadan kaldırılması gerekmektedir.
- II. Kaydileştirme (Dematerialisation): Bu kavram, yakın geçmişten günümüze toplumdaki kaynak akışını inceleyen endüstriyel ekolojide meydana gelen gelişmelerden türemiştir. Kullanılan malzemenin her bir üniteden elde edilen hizmet yoğunluğunun artırılması anlamına gelmektedir. Malzemelerin geri dönüşümü (recycling), yeniden kullanılması (reusing) veya kullanılan ürünlerin yeniden tasarlanması ile elde edilebilir. Bu şekilde yeniden tasarımda daha az malzeme kullanımı mümkün olabilir veya malzeme yoğun ürünlerde malzeme dışı ikameler ile hizmet sağlanabilmektedir (Van-Berkel, 2006).

#### 2.1.1. Sürdürülebilir Malzeme olarak Ahşap ve Kullanım Alanları

Malzeme ve ham madde seçimi en önemli kriterlerdir. Zaten sınırlı olan doğal kaynakların varlığının krize girmesi malzemelerin yeniden kullanımı sayesinde engellenebilecektir. Bu daha fazla bir maddi külfet getirebilir ama önemli olan gelecekte bu rezervlere ihtiyacımız olduğu ve ayrıca değerlendirilmeyen bu malzemenin atık durumuna düşeceği ve bunun da çevre kirliliğine yol açacağıdır. Malzeme belirlerken önemli olan malzeme hakkında gerekli bilgiyi edinip tasarım yapılması ve maliyet kaygısı ile çevre ve insan sağlığına olan etkilerini göz ardı etmeksizin seçim yapılabilmesidir. Sağlık ve kirlilik açısından yapı endüstrisinde oluşan riskler şu şekilde

belirtilebilir (Pearson'dan aktaran Çakmaklı ve Demirbilek, 1999:3);

- i. İnşa sırasında özellikle zehirli ve tehlikeli malzemelerin kullanımı,
- ii. Yok edilme sırasında atık malzemelerin yakılması ve tehlikeli gazların açığa çıkması,
- iii. Bina yaşayanları için kötü iç mekan kalitesi,
- iv. Yer altı ve yer üstü suları kirlenmesi

Ahşap malzemeler, çelik ve çimento bazlı yapı malzemelerine göre daha az enerji tüketimi sağlamaktadır (Çankal ve Şakar, 2021). Ayrıca ahşap; doğal ve yenilebilir bir kaynaktan elde edilebilen, üretim sürecinde düşük karbon emisyonu olan ve az enerji gerektiren sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Sürdürülebilirliğinin devam ettirilebilmesi için, alternatif odun kaynaklarının kullanılması, kompozit ahşap üretiminde atıkların değerlendirilmesi, bilinçli ağaç kesimi ve doğru ağaçlandırma çalışmaları önemlidir (Bingeli'den aktaran Çankal ve Şakar, 2021). Bu kapsamda, çevresel etki değerleri dikkate alındığında, ahşap malzemelerin, tasarımda yaygın olarak kullanılabilirliği söz konusudur. Ancak, ahşap proses atıklarının veya üretim atıkları olan ahşap tozu veya ahşap talaşının da doğru orantılı olarak artmakta olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir bir tasarım sürecini yönetebilmek, malzeme kullanımının azaltılması yanında, atıklarının da yeniden kullanılabilir olarak üretime dahil edilmesi gerekliliği güncelliğini korumaktadır.

### 2.1.1. Ahşap Proses Atıklarının Kullanımı

Tehlikeli atık sınıflandırmasına göre ağaç işlemeden ve sunta ve mobilya imalatından kaynaklı atıklar, muhtemel tehlikeli atık sınıfında değerlendirilmektedir (ÇŞB, 2012). Bu kapsamda, ahşap atıkların toksik özelliklerinin bertarafı amacı ile dönüştürülerek farklı tasarımlar için hammadde olarak kullanım olanaklarının çalışılması ve yorumlanması gerekmektedir.

Ahşap atık malzemelerin katı içerik dönüştürme katsayısı 0,4-0,65 aralığındadır (ÇŞB, 2012). Buna göre, ahşap üretim atığı malzemelerin dönüştürülebilirliği; diğer yapı malzemelerinin üretim atıklarına kıyasla görece yüksektir. Bu doğrultuda, yeni tasarımların ve üretim denemelerinin gerçekleştirilmesi; dördüncü endüstri devrimini ile birlikte günümüz dijital üretim teknolojilerinin kullanımı ile geliştirilmesi gerekmektedir.

Farklı kullanım alanı olan malzemelerden olan ahşap ve türevleri, kaynağından itibaren değerlendirilmektedir. Elde edilen ahşap ürün öncesi kullanılan odun ve proses atıkları olan odun unu, dolgu maddesi ve güçlendirici malzeme olarak görev yapmaktadır. Plastiklerin çeşitli odun unu ya da lignoselülozik liflerle farklı oranlarda karıştırılarak şekillendirilmesiyle elde edilen ürünler Ahşap Plastik Kompozit (APK) olarak adlandırılmaktadır. APK üretiminde uygulama yerine bağlı olarak odun unu, bıçkı tozu, küçük yonga, lif ya da özel işlem görmüş atık kâğıt %10 ile %70 oranları arasında kullanılabilir. APK üretimi ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıp, sıcaklıkla şekillendirme ve sıcak pres gibi plastik işleme endüstrisinde kullanılan plastik teknolojisiyle yapılabilmektedir. APK, plastik ve ahşap atıkların değerlendirilmesi açısından çevresel problemlerin çözümüne katkı sağlamakla beraber birçok endüstriyel alanda kullanılması sebebiyle önemli bir malzemedir. Özellikle *deck* ve dış cephe kaplaması başta olmak üzere teraslar, çitler, bahçe mobilyaları, peyzaj aksesuarları, kapı ve pencere

doğramaları, otomotiv, iç mekân parçaları, güverte yapımı, müzik ve spor aletleri yapımı ve çeşitli kişisel kullanım malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Avcı, 2015).

Bir diğer atık türü otomotiv, gıda, ilaç ve matbaa sektörlerinde kullanılan bir ambalaj atığı olan ahşap paletlerdir. Kesilen her üç ağaçtan biri ahşap palet imalatı için kullanılmaktadır. Bu atığın yüzde yüz doğal olması nedeniyle kaynak tüketimini azaltmak açısından geri dönüşümü önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Paletler geri dönüşüm tesislerinde çeşitli işlemlerden sonra hammadde haline getirilerek yeniden üretime dâhil edilebildiği gibi, işlemlerden geçmeden tekrar kullanım bağlamında park, çocuk oyun alanı gibi kamusal mekânlarda kent mobilyası olarak değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalarda atık malzemelerin tekrar kullanımı ile gerçekleştirilen örnekler incelendiğinde modüler, düşük maliyetli, sürdürülebilir malzemeler kullanıldığından sürdürülebilir, çevreye dost yapı ve kamusal mekânların yaratıldığı, atık miktarının azaltılmasına da katkıda bulunduğu görülmektedir (Tandoğan, 2018).

Dolgu malzemesi olarak kullanılan bir başka ahşap üretim atığı, odun talaşı olarak adlandırılır. Odun endüstrisi atıkları, tane boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu malzemeler, ahşap esaslı kompozit üretiminde değerlendirilmektedir.

Katkı malzemesi veya dolgu malzemesi olarak kullanılan ahşap kökenli malzemelerinin türü ve miktarı, uygulanan basınç ve sıcaklık gibi üretim koşulları ve yapıştırma amaçlı kullanılan tutkal türü gibi faktörler, üretilen ahşap kompozit levhaların özelliklerini, mekanik dayanımını, nerede ve hangi amaçla kullanılacağı etkileyen temel parametrelerdir. Bu levhaların geri dönüşümlü ve ekolojik malzemelerden üretilmesi; işleme ve taşıma kolaylığı, üretim maliyetlerinin düşük olması; yeterli direnç özelliklerine sahip olmaları ve çevreye zararlı olmamaları gibi nedenler, atık potansiyeli yüksek olan bu malzemelerin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Kaya, 2017).

## 3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı İle Üretim

### 3.1. Katmanlı Üretim Teknolojisi

Dördüncü Endüstri Devrimi, önceki sanayi devrimlerinden farklı olarak teknoloji sanayinin önüne geçerek; endüstrileşmeye ve yeni iş modelleri, ürün hizmet modelleri, örgütsel yapılar kazandırmaya başlamıştır. Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri de katmanlı üretimin gerçekleştirilmesine imkân tanıyan 3 boyutlu yazıcı teknolojisidir. Bu teknoloji, geleneksel yöntemle yapılan üretime kıyasla maliyet ve üretim hızı açısından daha avantajlıdır. Uluslararası Eklemeli İmalat Komitesi, eklemeli imalatı; 'talaşlı imalat yöntemlerinin aksine, genellikle 3 boyutlu (3B) model verilerden nesnelere yapmak için malzemeleri katman katman birleştirme' olarak belirtmişlerdir. Katmanlı imalat da bu kelime ile aynı anlamda kullanılmaktadır (Wohlers'den alıntılan Çelebi ve Seziş, 2019). Günümüzde üç boyutlu yazıcılar (3D) evlerimizde dahi kullanılabilir, kendi tasarımlarımızı, ihtiyaç duyduğumuz parçaları ve birçok ürünü üretmemize imkân sağlamaktadır (Akbaba ve Akbulut, 2021). Katmanlı imalat yöntemi, ürün için geleneksel yöntemin sağlamadığı tasarım optimizasyon özgürlüğünü sağlamaktadır (Çelebi ve Seziş, 2019). Ayrıca, katmanlı üretim; maliyeti düşük, ulaşılabilir ve sürdürülebilir bir üretim yöntemi olarak yaygınlaşmaktadır.



Ekllemeli imalat teknolojileri, masa üstü yazıcılardan, robotik teknolojilere ve vinç benzeri ağır makinelere kadar birçok sistem ile uygulanmaktadır. Farklı amaçlar için geliştirilen 3D yazıcılar, ilgili alanlarda geliştirilen malzemeler ile kısa sürelerde üretim yapabilmektedir (Çalışkan ve Arpacioğlu, 2020). Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamında ihtiyaca uygun olarak tasarlanan objelerin veya ürünlerin basılması prensibiyle çalışmaktadır (Gibson ve ark., 2015). Tasarlanan objeler veya üç boyutlu tarayıcılar ile taranan asıl objenin veya ürünün birebir aynısı baskı alınabilir. Yahut bilgisayar ortamında değişiklikler yapılarak yazıcıda basılacak objenin veya ürünün tasarımı gerçekleştirilir. Hazırlanan objede kullanılacak malzeme seçimi objenin kullanım alanına ve kullanılacak ortamın koşullarına göre belirlenir. Tasarlanan obje veya ürünün, sayısal veri düzeni içeren kodlamaları, dosya olarak bilgisayara gönderilmesi gerekmektedir. Bilgisayar ortamında işlemler tamamlandıktan sonra stereolitografi (STL) veya ekllemeli üretim dosyası (AMF) yazıcıya gönderilir ve üç boyutlu yazıcı ile baskı hazırlanır.

Malzeme ekstrüzyonuna dayanan üç boyutlu baskı teknolojisi; filament olarak termoplastik malzemelerin kullanılması ile başlamıştır. Filamentler; bir ekstrüder kafasında ısıtılarak, bir bobinden yazıcıya beslenmektedir. Ekstrüder kafasında eritilen malzeme, nozul (*nozzle*) olarak adlandırılan başlıktan dışarı itilerek yazdırma işlemi başlamaktadır. Ekstrüder kafası bilgisayar ortamında hazırlanan kod ile ilerlemekte ve obje, katman katman basılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim biçimlerinden en çok tercih edilen yöntemlerden biri katmanlı üretim yöntemi olan FDM (*Fused Deposition Modelling*) eriyik biriktirme modelidir. Farklı malzemelerle de baskı alınabilmektedir. En yaygın kullanılan malzemeler; Akrimonitril Bütadien Stiren (*ABS*) ve Polilaktik Asit (*PLA*) olarak kullanımının yanı sıra seramik, beton gibi malzemelerle de baskı alınabilmektedir (PM 2018).



**Şekil 1.** Ahşap ve talaşın 3D yazıcılarda kullanım süreci akışı temsili görüntüsü; Ahşap bazlı malzemelerden 3D yazıcıda üretilen objeler (URL 1).

### 3.2. 3D Yazıcı Teknolojisi ve Ahşap Kullanımı

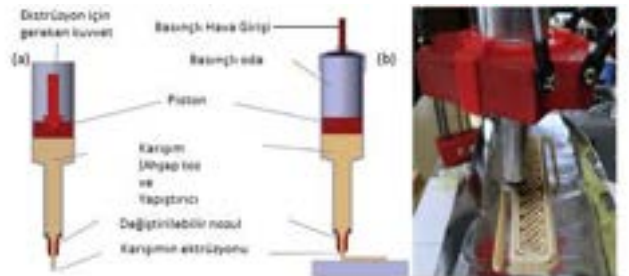
Ahşap ve talaş malzemeler öğütülerek ahşap tozu haline getirildikten sonra bağlayıcı ek malzemeler 3D yazıcılarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda 850 mm altı boyutta ahşap toz parçacıkları kullanılmıştır (Clemons ve ark. 2018). Yapılan farklı çalışmalar ile farklı bağlayıcı maddeleri ile ahşap ve talaşın 3D yazıcılarda kullanım olanakları incelenmiştir.

Kariz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bileşen olarak farklı ahşap tozları ve farklı oranlarda bağlayıcıları kullanmışlardır. Basit olarak modellenen blok 3D yazıcıda yazdırma denemelerini gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2). Burada

kullanılan modellerin her biri 2 mm kalınlığında olan 4 katmana dilimlenmiştir. Bu şekilde 3D yazıcıda basılan bloklar; sıcak plaka üzerinde iki saat kürlenmeye bırakılmıştır. Standart bir ortamda bir hafta süre ile bekletildikten sonra eğilme testi uygulanan bloklarda, arzu edilen nihai özelliklere ulaşılabilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda ahşap tozu kullanımının 3D yazıcılarda kullanım denemeleri için uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak, yapıştırıcı karışımları üzerine çalışılması gerektiği bazı yetersizlikleri olduğu gözlenmiştir. 3D yazıcı ile basılan basit objeler üzerine yapılan deneyler sonucunda, yapısal olmayan uygulamalar için ahşap tozunun kullanımı uygun bulunmuştur. Ancak, daha geniş bir alanda kullanım için ise uygun teknoloji ile birlikte, 3D yazıcılarda kullanılan hammaddenin optimizasyonu üzerine gerçekleştirilen çalışmaların artırılması gerektiği yönünde değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bağlayıcı malzemelerin daha hızlı karışması, sıcaklık ile birlikte eriyen yapıştırıcıların kullanımı ve havadaki nem ile reaksiyona giren yapıştırıcılar veya ikinci bir bileşen ile üretim konularında gelişmelere gereksinim duyulmaktadır (Kariz ve ark. 2015).

PLA malzemesine ağırlık olarak %5 oranında ahşap tozu karıştırılarak filament üretilen bir çalışmada Üretilen malzeme FDM prensibi ile çalışan 3D yazıcıda başarıyla kullanılmıştır (Şekil 3). Araştırmada ham PLA malzemesiyle ahşap tozun karıştırılması ile üretilen filament, baskı ile üretilen objelerde karşılaştırılmıştır. Ahşap tozu katılarak üretilen filament ile üretilen objede, malzeme kırılmasının mikro yapısal karakteristiği değişmiştir ve kompozitin ilk deformasyon direnci artmıştır. Ayrıca, bozulma sıcaklığı ise bir miktar azalmıştır ve erime davranışı üzerinde hiçbir değişiklik saptanmamıştır. PLA malzemesine ahşap tozun karıştırılarak elde edilen kompozit filament; FDM yöntemi için 3D yazıcılarda kullanıma uygun bulunmuştur (Tao ve ark. 2017).

Baskı malzemesi olarak ahşap ve talaş kullanılan bir diğer çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak alçı, metil selüloz, sodyum silikat ve farklı çimento türlerini kullanarak çeşitli testler yapılmıştır (Şekil 4). Çalışmanın sonucunda, yapısal olmayan uygulamalar için mekanik dayanım, standartlara uygun olarak elde edilmiştir. Yapılan karışımlar ile en iyi sonuç, çimento bağlayıcı malzemesiyle elde edilmiştir. Teknolojik gelişmeler takip edilerek farklı boyutlarda ahşap tozları ve sürdürülebilir bağlayıcı malzemelerle deneylerin yapılması önerilmiştir (Henke ve Tremel, 2012).



**Şekil 2.** Test kurulumu; (a) ekstrüzyon kuvvetinin ölçülmesi için hazırlanan ekipman; (b) test kurulumu ile 3D baskı için basınçlı oda; (c) 3D baskı malzemesi olarak ahşap tozu ve yapıştırıcı ile üretim (Kariz ve ark. 2015).



**Şekil 3.** (a) Ahşap bazlı filament; (b) 3D yazıcı ile üretilen WF/PLA kompozit numuneler; (c) FDM 3 boyutlu yazıcı ile yapılmış bir fiç (Tao ve ark. 2017).

Sıvı Biriktirme Modellemesi (*LDM, Liquid Deposition Modeling*) ile yapılan bir çalışmada, 3D yazıcılarda ahşap malzeme kullanımıyla ilgili çalışmaların umut verici olduğu öne sürülmüştür. Çalışmadaki deney objeleri, öğütülmüş kayın talaşından ve suda çözülmüş metilselülozdan yapılmış farklı macun ve benzeri süspansiyonlar içermektedir. Yazıcıda kullanılan malzeme karışımı, yenilenebilir malzemelerden oluşmaktadır. Burada, yazıcıda kullanılmak için üretilen malzemenin üretimini kolay ve ekonomiktir. Bağlayıcı ve karışımlarının çeşitli türleri, çeşitli fiziksel özellikler, su oranı ve farklı ahşap parçacık partikül boyutları incelenmiştir. Mukavemet özellikleri ve boyutsal kararlılık tatmin edici olmasa da araştırma bulguları farklı türde ahşap ile yapılacak çalışmalar için iyi bir temel araştırma ve uygulamadır (Rosenthal ve ark. 2017).

Farklı oranlarda çam talaşı ve polilaktik asitin (PLA) karıştırılmasıyla elde edilen filament, 3D yazıcı kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Ham PLA ve ham PLA içine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ahşap talaşı karıştırılarak kompozit filamentler üretilmiştir. Üretilen deneme objelerinin termal, morfolojik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Mekanik deney objeleri 3D yazıcıda bir sorunla karşılaşmadan basılabilmektedir. Ahşap-PLA karışımından üretilen deney objeleri mekanik deney sonuçlarına göre, ham filamentlerde mekanik dayanım düşük iken; PLA filamentine ahşap talaşı eklendiğinde elde edilen filamentlerde ise mekanik dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir. Atık çam talaşının kompozit üretiminde kullanılabilirliği bir malzeme olması ve 3D yazıcıda sorun yaşamadan basılması, olumlu bir sonuçtur. Atık ahşap malzemenin kullanımıyla atık malzemelerin değerlendirilerek yeniden kullanım döngüsüne dahil edilmesi önemlidir (Narlıoğlu ve ark.2021). Ayrıca, ürün kalitesinden ödün verilmeksizin 3D yazıcıdan elde edilen ürünler, yeni nesil üretim tekniklerinin yaygın kullanımına olanak sağlayabilme potansiyeline sahiptir.



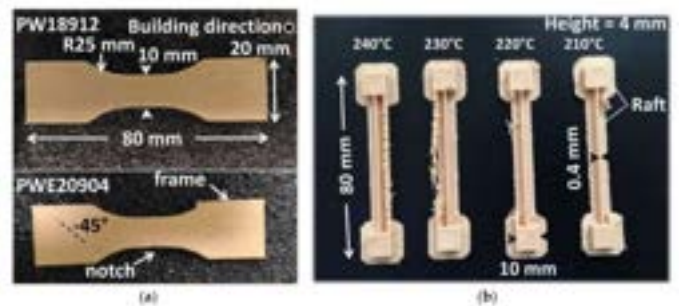
**Şekil 4.** Ladin ve alçıtaşı parçalarından 3D baskı ile oluşturulan kesik koni örneği (Henke ve Treml, 2012).



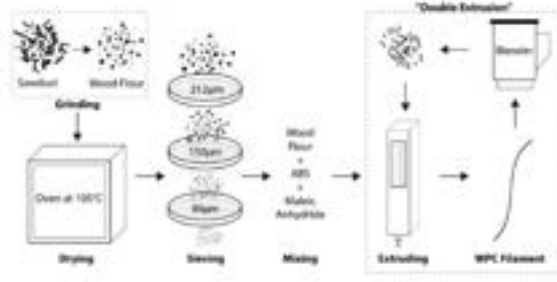
**Şekil 5.** (a) Eğilme numunelerinin basılması; (b) kule şeklindeki 'tower' olarak adlandırılan numunelerin yazdırılarak boyutsal kararlılığı ölçmek için hazırlanan ve kurumaya bırakılan numuneler (Rosenthal ve ark. 2017).

Üç boyutlu yazıcılarda nihai ürünün mekanik performansı, üretim yöntemini belirlemede ve aynı zamanda proses parametrelerinin optimizasyonunda önem taşımaktadır. Bu kapsamda yürütülen bir çalışmada, ahşap bazlı filamentin mikroyapı özellikleri ve mekanik performansı ilişkisi üzerinde durulmuştur. Ahşap bazlı bazı filamentlerin 3D baskı sıcaklıkları 210 °C ile 250 °C aralığındadır. 230 °C'nin üzerindeki baskı sıcaklıklarının, üretilen objenin çekme özelliklerini etkileyebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim; 210 °C ve 370 °C arasında üretimde, ahşap parçacıkların termal dayanım özellikleri bozulmaya başlamaktadır. Bu çalışmada, 3D baskı için belirlenen üretim sıcaklığının 220 °C olması gerektiği ortaya konulmuştur. Ayrıca, çalışmanın sonucunda ahşap-PLA/PHA'nın kopma davranışının oldukça benzer sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir (Guessasma ve ark. 2019). Ahşap bazlı filamentler için özelleştirilmiş üretim biçimleri olması gerekmektedir. (

Mimari uygulamalarda kullanılacak ahşap-plastik kompozitlerde (*WPC, Wood-plastic Composite*), 3D yazıcılara uygun filament üretimi için; talaşın nasıl geliştirilmesi gerektiği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Avustralya'da sert ağaç olarak bilinen ve yaygın iki türü olan *Red Gum* ve *Gray Box* isimli ham ahşap malzemelerin kullanımı ile farklı içeriklere sahip malzemeler üretilmiştir. Yuvarlak şekillere ve daha pürüzsüz yüzeylere sahip ahşap parçacıklarının daha iyi yapışma özelliğinin olduğu ve 3D yazıcılarla yazdırılan objelerin nihai mukavemetini, sertliğini ve yoğunluğunu arttırdığı öne sürülmüştür. Bu çalışmada, "çift ekstrüzyon" süreci ile üretilen filamentin homojenizasyonu ve 3D yazıcıda kullanımının sağlanabilmesi mümkündür. Ayrıca, WPC filamentlerinin kalite özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu ifade edilmiştir. Ahşap bazlı malzemelerin sürdürülebilir kullanımı mümkündür. 3D yazıcılarda yazdırılan objelerin sertlik özelliklerini olumlu etkilediği de tespit edilmiştir. Bu çalışma ile tasarım için yeni bir yol önerilmiş ve benzer çalışmalar ile birlikte doğruluk değerinin artması için daha fazla deney objeleri üretilmesi gerektiği ortaya konulmuştur (Huang ve ark. 2021).



**Şekil 6.** (a) Ahşap-PLA/PHA filament kullanılarak yazdırılmış çentiksiz ve çentikli çekme numuneler, baskıdan sonra çentikler açılmış hali; (b) Termal analiz için 3D yazdırılan numuneler ve yazdırma sıcaklıkları (Guessasma ve ark. 2019).



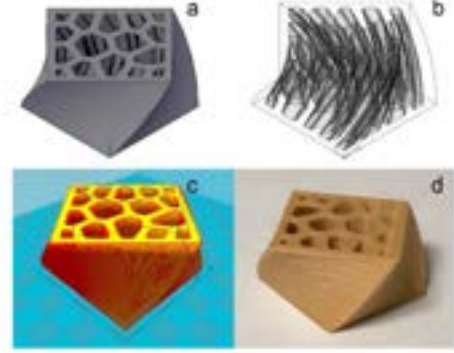
**Şekil 7.** Ahşap-Plastik kompozit (WPC) filament üretim süreci şematik gösterimi (Huang ve ark. 2021).

Kayın ağacından elde edilen kayın ununun kimyasal değişikliğe tabi tutulması ve nişasta ile karıştırılarak çevreye zararlı etkisi olmayan yeniden yapılandırılmış ahşap bir kompozit ürün üretiminin amaçlandığı bir çalışmada; eklemeli imalat yani 3D yazıcılar ile üretilen ahşap kompozitin yapısı makro ve mikro düzeyde ele alınmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen kompozit ürün; içeriğindeki hemiselüloz ve nişastanın hidrofilik (suyu seven) özelliklerinden dolayı nem tutma özelliğinin çevresel koşullarla doğru orantılı olarak değişkenlik göstermiştir. Soğuk ekstrüzyon ile üretilen kompozit malzemenin; “Hamur Biriktirme Modellemesi (DDM, Dough deposition Modeling)” ile üç boyutlu yazdırıldığında zayıf çekme mukavemeti değerine sahip olduğu gözlenmiştir (Gardan ve ark. 2016).

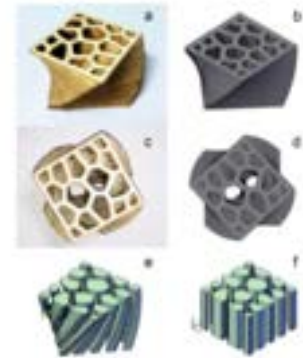
Kavak ağacı esaslı ham malzemeler, 3D yazıcılarda yazdırmaya uygun biyo-bazlı kompozitler üretmek için kullanılmıştır. PLA malzemenin güçlendirilmesi amacıyla birlikte değerlendirilmiştir. Kavak lif boyutunun azalması ile, üretilen kompozitlerin çekme mukavemeti 34 MPa değerinden 54 MPa değerine ulaşmıştır. Lif boyutu düşük (<180 µm) olan lif kullanımı ile üretilen kompozitlerin kırılma yüzeyleri; lif boyutu yüksek kavak lifleriyle yapılan kompozitlere kıyasla daha az boşluğa sahip yani daha yoğundur. Dış yüzeylerinde ise PLA ile kıyaslandığında daha fazla gözenek bulunmaktadır. Kavak, büyük ölçekli 3D yazdırma için termoplastiklere bir takviye olarak kullanım potansiyeline sahip bir malzeme olarak değerlendirilmiştir (Zhao ve ark. 2019).

Eklemeli üretim (AM, Additive Manufacturing) alanında kullanılan ahşap bazlı malzemelerin tane boyutlarının, mikron ölçeğiyle sınırlı olduğu bilinmektedir. Kullanılan eklemeli üretim tekniğiyle birlikte; iri tane boyutuna sahip ahşap malzeme kullanılması günümüzde de geliştirilmesi gereken bir proses olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, gerçekleştirilen bir çalışmada ahşap bazlı objelerin üretimi için bir başka eklemeli üretim tekniği olan “Lazer Kesim Kaplama Laminasyon (LcVL, Laser-cut Veneer Lamination)” kullanılması önerilmiştir. Kontraplak teknolojisi ve “Lamine Nesne Üretimi (LOM, Laminated Object Manufacturing)” tekniği beraber kullanılarak lazer kesim kaplama laminasyonu (LcVL) ile büyük ölçekli, karmaşık geometride ve iç boşluğa sahip ahşap formlar üretilebilmektedir. Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemiyle daha büyük katman yüksekliklerine sahip üretimlerde, kullanılan ham malzemenin boyutuna bağlı olarak dolayı diğer eklemeli üretim (AM) teknikleri ile kıyaslandığında

daha sınırlı üretim hatalarıyla karşılaşmaktadır. Aynı zamanda Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemi, yeterli ahşap kalınlığına sahip büyük ölçekli ahşap formların üretimi için önerilen bir yöntemdir. Diğer eklemeli üretim (AM) teknikleri ile kıyaslandığında, üretim sırasında daha çok ahşap malzeme ve daha az yapıştırıcı kullanılmaktadır. Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemi denemeleri, eklemeli üretimde (AM) kaplama kullanımının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacı ile devam etmelidir (Tao ve ark. 2021).



**Şekil 8.** Eklemeli üretim sürecinden bir kesit; (a) tasarlanan objenin 3D-üç boyutlu modeli; (b) tasarlanan objenin ‘tel kafes’ gösterimi; (c) CURA yazılımı ile dilimlenmiş obje; (d) Eriyik yağma modellemesi (FDM, Fused Deposition Modeling) kullanılarak 3Dbasılan obje görseli (Tao ve ark. 2021).



**Şekil 9.** Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) ürünü ile üç boyutlu modelinin karşılaştırmalı görüntüsü; (a) LcVL ile üretilen objenin ortografik görünümü; (b) objenin üç boyutlu modelinin ortografik görünümü; (c) LcVL objenin üstten görünümü; (d) obje modelinin üstten görünümü (e) objede bulunan boru biçimindeki boşlukların görünümü; (f) objenin üç boyutlu modelinde boru biçimindeki boşlukların görünümü (Tao ve ark. 2021).

3D yazıcılarda kullanılacak alternatif bir hammadde olarak mobilya üretim ve kullanım atıklarının geri dönüştürülmesinin incelendiği bir çalışmada, PLA ve geri dönüştürülmüş ahşap atık malzeme karıştırılarak  $1,65 \pm 0,10$  mm çapında filament üretilmiştir. Üretilen bu filament ile 3D yazıcılarda deney objeleri yazdırılmıştır. Ağırlıkça %30 ahşap içerikli filamentlerin kullanılabilirlik açısından diğer çalışmalara kıyasla üstün özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Mobilya üretim tesis atıklarının miktarı göz önünde bulundurulduğunda; atık ahşap malzemenin dönüştürülerek; 3D yazıcılarda filament halinde kullanılabilmesinin, imalat sektörü açısından önemli bir fırsat olduğu üzerinde durulmuştur (Pringe ve ark. 2018).

Doğal liflerin termoplastiklere katkı maddesi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. 3D yazıcılarda kullanılan filamentlerin yapısının güçlendirilerek üretilen objelerin kendi kendilerine bükülebilmelerinin sağlanabilmesi amacıyla filamentlerde doğal lif kullanımı önerilmektedir. Optimize edilerek kullanıma sunulan bir biyokompozit formülasyonu henüz araştırma sonuçlarına göre elde edilememiştir ancak bu konuda denemelere devam edilmelidir (Le Duigou ve ark. 2016).

Ahşap parçalarının ahşap-plastik kompozit (WPC) bünyelerde kullanımı yaygın olarak bilinmekte ve kullanılmakta olduğundan; eriyik yığıma modelleme (FDM) tekniği ile 3D yazıcılarda da kullanılabilecek filamentlerin üretilebileceği öne sürülmektedir. 3D yazıcı filamentleri için ahşap atıklarının kullanımı, ekonomik bir dolgu malzemesi olma özelliği taşımaktadır ve aynı zamanda katma değerli bir takviye malzeme olarak kullanımının artacağı düşünülmektedir.

Ahşap malzemenin su adsorpsiyon ve desorpsiyon özelliklerinden kaynaklanan nihai ürün boyutsal değişiklikleri; şekil değiştiren ve 4D (dört boyutlu) basılan malzemelerde olduğu gibi boyut değişikliği özelliği istenilen alanlarda tercih edilebilir. Bir çalışmada, PLA ile karıştırılarak elde edilen deney numunelerinde, ahşap içeriğindeki artışa bağlı olarak; değişen iklimsel koşullarda boyutsal değişikliklerde de artış olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, PLA ile atık ahşap malzeme karışımından elde edilen filamentin, 3D yazıcılarda kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir. Ancak, yaygın olarak kullanılabilirlik için; farklı iklim koşullarında tekrarlı denemeler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek yorumlanmalıdır (Krapež Tomec, 2021).



**Şekil 10.** (a) Geri dönüştürülmüş ahşap mobilya atığı bazlı (WPC) filament; (b) 3D yazıcıda art arda yazdırılmış masa kablosu geçiş parçası (ağırlıkça %30 ahşap bazlı filament) (Pringe ve ark. 2018).

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Sürdürülebilir bir malzeme olarak ahşap hammaddeler, kaynağı olarak erişimi kolay ve maliyeti görece düşüktür. Ahşap atıklarının da bu çalışmalarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir. 3D (üç boyutlu) yazıcılar, gelişen teknolojiyle birlikte evlerimizde dahi kullanılabileceğimiz, görece düşük maliyette ve ulaşılabilir bir teknolojik ekipman haline gelmiştir. 3D yazıcılarda düşük maliyet, üretim ve talebin artmasına sebep olmaktadır. Ahşap tozlarının 3D yazıcılarda kullanımı ile sürdürülebilir ve yenilenebilir üretim yöntemlerine yönelim başlamıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler kapsamında; 3D yazıcılarda üretimin gerçekleştirilmesinde kullanılan yardımcı bağlayıcı malzemelerin de sürdürülebilir malzemelerden seçilmesiyle birlikte; çevresel etki de kontrol edilebilir olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, değerlendirilen çalışmalarda 3D yazıcılarda ahşap tozlarının kullanımı ile yazdırılan objelerde

fiziksel ve mekanik özelliklerde dezavantajlar tespit edilmiştir. 3D yazıcılarda baskı sırasında da teknik zorlukları olsa da 3D yazıcılarda ahşap malzemenin kullanılması yenilenebilir ve sürdürülebilir bir malzeme olarak umut vericidir. Düşük maliyetli ve çevre dostu bir malzeme olması ise büyük önem taşımaktadır. Fakat ahşap malzemenin 3D yazıcılarda kullanılması üzerinde yapılan çalışmalar zaman içinde geliştirilmesi ve farklı bağlayıcı malzemeler ve hatta sürdürülebilir bağlayıcı malzemelerle yapılacak deneyler sonucunda belli standartlara ulaşılması hedeflenmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın özeti; *USBK-Uluslararası Uygulamalı Sosyal Bilimler Sempozyumu, İstanbul (10-11.03.2022)* kapsamında sunulmuş ve elektronik özet bildiri kitapçığında yer almıştır. Yazılar, çalışmaları kapsamında, altyapı olanaklarını kullandıkları Afyon Kocatepe Üniversitesi GSF Seramik Bölümüne teşekkür etmektedir.

## Kaynakça

- Akbaba, A.İ., Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları. *ETÜ Sentez iktisadi ve idari bilimler dergisi*, 3, 19-46.
- Akputat, F. (2019). *Sürdürülebilirlik kavramına farklı yaklaşımlar: Üniversite öğrencileri üzerine bir araştırma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Avcı, E. (2015). Orman tali atıkları kullanılarak elde edilen ahşap plastik kompozitlerin dış mekân mobilyalarında kullanımı. *Selçuk-Teknik dergisi*, 382-394.
- Bulanda, K., Oleksy, M., Oliwa, R., Budzik, G., Gontarz, M. (2020). Biodegradable polymer composites based on polylactide used in selected 3D technologies. *Polimery*, 65(7-8), 557-562.
- Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., Limperos, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive manufacturing*, 1, 64-76.
- Clemons, C. M., Caufield, D. F. (2005). Wood Flour. *Functional fillers for plastics*. (249-270) Weinheim: Wiley-VCH.
- Çakmaklı, A. B., Demirbilek, N. (1999). *Sürdürülebilir ve ekolojik yüzey malzemeleri*. Yüzey Sempozyumu Bildiri Kitapçığı, Ankara, Türkiye, 7-9 Ekim 1999.
- Çalışkan, C.İ., Arpacıoğlu, Ü. (2020). Yapı üretiminde eklemeli imalat teknolojilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi mühendislik fakültesi dergisi*, 25(2), 1117-1136.
- Çankal, D., Şakar, G. (2021). Sürdürülebilir yapılar için ahşap ve lamine ahşabın lifli polimer (FRP) malzemeler ile güçlendirilmesinin değerlendirilmesi. *Şehir sağlığı dergisi*, 2(2), 99-10.
- Çelebi, A., Seziş, Ü. (2019). Katmanlı imalatta destek yapısının ve konumlandırmanın çarpılma üzerine etkisinin simülasyonlu additive yazılımı ile simülasyonu. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(2), 182-188.
- ÇŞB (2012). Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu, Cilt II. Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontraplak ve kaplamalar. (15-16) Ankara: ÇŞB Yayınları.

- Das, A. K., Agar, D. A., Rudolfsson, M., Larsson, S. H. (2021). A review on wood powders in 3D printing: Processes, properties and potential applications. *Journal of materials research and technology*, 15, 241-255.
- Gardan, J., Nguyen, D. C., Roucoules, L., Montay, G. (2016). Characterization of wood filament in additive deposition to study the mechanical behavior of reconstituted wood products. *Journal of engineered fibers and fabrics*, 11(4), 56-63.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker B. (2015). *Additive manufacturing technologies- 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*, (147-173). New York: Springer.
- Guessasma, S., Belhabib, S., Nouri, H. (2019). Microstructure and mechanical performance of 3D printed wood-PLA/PHA using fused deposition modelling: Effect of printing temperature. *Polymers*, 11(11), 1778.
- Henke, K., Treml, S. (2013). Wood based bulk material in 3D printing processes for applications in construction. *European journal of wood and wood products*, 71(1), 139-141.
- Huang, Y., Löschke, S., Proust, G. (2021). In the mix: The effect of wood composition on the 3D printability and mechanical performance of wood-plastic composites. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100140.
- Kariz, M., Sernek, M., Kuzman, M. K. (2016). Use of wood powder and adhesive as a mixture for 3D printing. *European journal of wood and wood products*, 74(1), 123-126.
- Kaya, N. (2017). Fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri dergisi*, 17, 035701, 1076-1087.
- Krapež Tomec, D., Straže, A., Haider, A., Kariž, M. (2021). Hygromorphic Response Dynamics of 3D-Printed Wood-PLA Composite Bilayer Actuators. *Polymers*, 13(19), 3209.
- Le Duigou, A., Castro, M., Bevan, R., Martin, N. (2016). 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality. *Materials & Design*, 96, 106-114.
- Narlıoğlu, N., Salan, T., Alma, M. H. (2021). Properties of 3d-printed wood sawdust-reinforced PLA composites. *BioResources*, 16(3), 5467-5480.
- PM (2018). Process-Make: Introduction to 3D printing – Additive processes, Erişim Tarihi: 04 Ocak 2022, <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/binder-jetting>.
- Pringle, A. M., Rudnicki, M., Pearce, J. M. (2018). Wood furniture waste-based recycled 3-D printing filament. *Forest Products Journal*, 68(1), 86-95.
- Rosenthal, M., Henneberger, C., Gutkes, A., Bues, C. T. (2018). Liquid Deposition Modeling: a promising approach for 3D printing of wood. *European journal of wood and wood products*, 76, 797-799.
- Tandoğan, O. (2018). Atık malzemelerin mimaride kullanımı. *Ulusal çevre bilimleri araştırma dergisi*, 1(4), 189-202.
- Tao, Y., Wang, H., Li, Z., Li, P., Shi, S. Q. (2017). Development and application of wood flour-filled polylactic acid composite filament for 3D printing. *Materials*, 10(4), 339-344.
- Tao, Y., Yin, Q., Li, P. (2020). An Additive Manufacturing Method Using Large-Scale Wood Inspired by Laminated Object Manufacturing and Plywood Technology. *Polymers*, 13(1), 144.
- URL 1. Ahşap bazlı malzemeden 3 Boyutlu yazıcıda üretilen objeler, Erişim Tarihi: 04 Ocak 2022, <https://3dprint.com/70787/selective-laser-sintered-wood/>.
- Van-Berkel, R. (2006). Innovation and technology for sustainable materials future. *Materials forum*, 30, 196-211.
- Zhao, X., Tekinalp, H., Meng, X., Ker, D., Benson, B., Pu, Y., Ragauskas, A. J., Wang, Y., Li, K., Webb, E., Gardner, J., Anderson, J., Ozcan, S. (2019). Poplar as biofiber reinforcement in composites for large-scale 3D printing. *ACS Applied Bio Materials*, 2(10), 4557-4570.
- Wimmer, R., Steyrer, B., Woess, J., Koddenberg, T., Mundigler, N. (2015). 3D printing and wood. *Pro Ligno*, 11(4), 144-149.



# Hava Süspansiyon Sistemlerinde Kullanılan Polyamid 6.6 Kord Bezi İle Güçlendirilmiş Kauçuk Kompozit Yapıların Isı Transfer Özelliklerinin Araştırılması

Hasan Kasım<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Pega Otomotiv San. Ve Tic. A.Ş., R&D Center, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3024-5207), [hasan@pegaaairsprings.com](mailto:hasan@pegaaairsprings.com)

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 16 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1104039)

**ATIF/REFERENCE:** Kasım, H. (2022). Hava Süspansiyon Sistemlerinde Kullanılan Polyamid 6.6 Kord Bezi ile Güçlendirilmiş Kauçuk Kompozit Yapıların Isı Transfer Özelliklerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 151-157.

## Öz

Bu çalışmada hava süspansiyon körüklerinde kullanılan üç farklı tipteki PA 66 ile imal edilmiş kord ipleri ile güçlendirilmiş kauçuk karışımlarının ısı yayılım, ısı iletkenlik ve özgül ısı ölçümlerine ait deneysel çalışmalara ait sonuçlar sunulmuştur. Çalışmalar 20-160 °C arasında gerçekleştirilmiştir. Kauçuk matrisi içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanılan kord ipinin tipi ve düzeni termal özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kauçuk kompozit karışımlarında kullanılan elastomer miktarının da termal özellikleri etkilediği ve matris malzemesinin özelliklerine yaklaştığı görülmüştür. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerleri sıcaklığa bağlı azalma yönünde eğilim göstermektedir. Kord iplerinin eksenine dik olan ısı akışı, ısı iletim hızı ve matrisin özellikleri ile sınırlı olup kompozitlerin termal özellikleri bu bileşenin özelliklerine yaklaşmaktadır. Kord bezlerinin ısı termal direncinin iplik yönüne dik ilerlemesine bağlı ısı özelliklerinden dolayı, birim uzunluktaki kord ipi için büküm sayısına bağlı olarak ısı yayılım ve ısı iletkenliğinin arttığı görülmüştür. Elyaf yönüne paralel olan termal yayılım, elyaf yönüne dik olan termal yayılım ve matrisin termal yayılım özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, büküm sayısının kompozit numunelerdeki basınçlı hava miktarını etkileyerek ısı temas direncini arttırdığı ve fiber dizim yönüne dik olan etkin ısı iletkenliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termal İletkenlik, Isıl Yayılım, Kord Bezi, Kauçuk Kompozit, Hava Yayı.

## Investigation of Heat Transfer Properties of Rubber Composite Structures Reinforced With Polyamide 6.6 Cord Fabric Used In Air Suspension Systems

### Abstract

This study presents experimental studies on thermal dissipation, thermal conductivity, and specific heat measurements of rubber mixtures reinforced with cord fabrics manufactured with three different PA 66 used in air suspension bellows. The studies were carried out between 20-160 °C. The cord fiber type and features used as reinforcement material within the rubber matrix significantly influence thermal properties. It has been observed that the amount of elastomer used in rubber composite mixtures also affects the thermal properties and approaches the properties of the matrix material. The thermal dissipation values of cord fabric reinforced rubber composites tend to decrease depending on the temperature. The heat flow perpendicular to the axis of the cord threads, the heat conduction rate is limited by the properties of the matrix, and the thermal properties of the composites approach the properties of this component. Because of the thermal properties of the progress perpendicular to the cord fiber of thermal resistance of cord fabrics, Increasing thermal conductivity and dissipation have been seen depending on the number of twists in a unit length for cord fiber. The thermal dissipation parallel to the fiber direction, the thermal dissipation perpendicular to the fiber direction and the thermal dissipation properties of the matrix were compared. As a result, it has been observed that the number of twists increases the thermal contact resistance by affecting the amount of compressed air in the composite samples and decreases the effective thermal conductivity perpendicular to the fiber array direction.

**Keywords:** Thermal Conductivity, Thermal Dissipation, Cord Fabric, Rubber Composite, Air Springs.

\* Corresponding Author: [hskasim@gmail.com](mailto:hskasim@gmail.com)

## 1. Giriş

Kauçuk esaslı kompozit malzemelerin ısı iletiminin matematiksel modellenmesi, optimum koşullarda vulkanizasyon için gerekli proses şartlarını sağlayan teknolojik koşulların daha düşük maliyet ve uygun şartlarda belirlenmesi ile yeni ürün tasarımı gerekliliği olan sürenin kısaltılmasını sağlar. Ancak matematiksel modelleme ile elde edilen analiz ve simülasyon sonuçları, malzemelerin ısı transfer özelliklerinin doğru ve güvenilir yöntemler ile elde edilmesi durumunda uygun olabilir. Sıcaklık; elektriksel özellikler, mekanik mukavemet, sertlik, viskozite, elastikiyet, çözünürlük, çözücü yeteneği gibi malzemelerin çoğu özelliğini önemli ölçüde etkiler.

Kauçuk kompozitlerin ısı iletiminin matematiksel modellenmesi için, kompozit malzemeyi oluşturan matris ve dolgu malzemelerinin ısı yayılımı, ısı iletkenliği ve özgül ısı gibi termal özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Matris malzemesinin içeriğindeki malzemeler ve proses şartları malzemenin mekanik ve termal özelliklerini etkilemektedir. Naylon, polyester ve suni ipek gibi kumaş kordlar, hava süspansiyon körüklerinin, lastiklerin, taşıma bantlarının, kaplamalı kumaşların, V-kayıplarının, hortumların, membran kumaşların ve büyük torbaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır (Choi et al., 2013; Mani et al., 2009). Bu malzemelerin ısı transfer özellikleri çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörlerin temelinde, kauçuk matris bileşiminde farklı olarak kauçuk kompozit içerisinde kord bezi takviyesinin açısı, boyutu, yapısı ve modeli, kord iplerinin kendi aralarındaki termal temas direnci ve termal özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle kauçuk kompozitlerinin ısı transfer süreçlerinin analizi ve simülasyonu ile elde sonuçlar yukarıda belirtilen faktörlerden etkilenebilir.

Literatürde kauçuk bileşiklerinin termal özellikleri bilim insanları tarafından detaylıca araştırılmaya başlanmıştır. Nasr vd. (Nasr et al., 1995), bütül kauçuğun içerisinde, 100 phr oranında farklı tiplerde karbon siyahı ekleyerek karışımlar elde etmişlerdir. 25-175 °C arasında yapılan testlerde termal özelliklerin karbon siyahı ve dolgu malzemesi tiplerinden etkilendiğini göstermişlerdir. Alzamil vd. (Alzamil et al., 2018), genel amaçlı fırın (GPF) karbon siyahı ile hazırlanmış bütül kauçuğun elektriksel özelliklerini 30-120 °C sıcaklık aralığında incelemişler ve sıcaklık aralığına bağlı olarak düşük sıcaklık aralıklarında atlamalı iletim mekanizması, yüksek sıcaklık aralığında ise taşıyıcı termal aktivasyon mekanizmaları olduğunu göstermişlerdir. Radhakrishnan vd. (Radhakrishnan et al., 2007), Stiren bütadien kauçuk (SBR)/poli (etilen-ko-vinil asetat) (EVA) karışımlarının karışım oranı, çapraz bağlanma sistemleri ve uyumluluğun termal davranış ve faz geçişi üzerindeki etkilerini TermoGravimetri (TG) ve Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi (DSC) ile analiz etmişler, herhangi bir sıcaklıkta karışımların kütle kaybının, bileşenlerinkinden daha düşük olduğunu ve uyumlaştırıcı ilavesinin de termal kararlılığı iyileştirdiği bulmuşlardır. Literatürde nanoboyutlu dolgu tipleri ile hazırlanan polimer esaslı karışımların termal özellikleri ile ilgili dolgu malzemesinin özelliklerine bağlı olarak yapılmış çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak kordon takviyeli kauçuk kompozitlerin ısı transfer özelliklerine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yang vd. (Yang et al., 2019), Silikon Kauçuk (SR)/ dikey hizalanmış Bor Nitrür (BN) kompozitleri hazırlamış ve kompozitlerin ısı iletkenlikleri sistematik olarak incelenmişlerdir. Termal iletken ve elektriksel

yalıtım alanında, yüksek düzlemsel termal iletkenliğe sahip malzemelerin potansiyel olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Karbon nanotüp gibi karbon allotroplarında sahip oldukları iletkenliği ve ısı depolama kapasitesi ile sayesinde kauçuk kompozit karışımlarında kullanılmaktadır (Poikelispää et al., 2021).

Kauçuk kompozitlerinin yanında polimer esaslı nanokompozitlerinde termal iletkenlik özellikleri hedeflenen yoğunluğa ve özgül ısı kapasitelerine ulaşmak için nanokompozit bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır (Ghoreishy et al., 2016).

Katı malzemelerin ısı transfer özelliklerinin belirlenmesi için en sık kullanılan yöntemler, Flaş Yayılma Yöntemi ile termal yayılımın ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile özgül ısı kapasitesinin ölçülmesi ve son olarak bu ölçülen miktarlar kullanılarak termal iletkenliğin hesaplanması olarak görülmektedir (Kerschbaumer et al., 2019).

Çalışmamız kapsamında hazırlanan kord bezi takviyeli kauçuk karışımların termal özelliklerinin tespit edilmesi nanodolgu kauçuk karışımlardaki gibi mümkün olmamaktadır. Kord takviyeli kauçuk karışımlarının sahip olduğu malzeme karakteristikleri sebebiyle özel ölçüm sistemleri hazırlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Numune Hazırlama

Genel olarak, kord bezi ile güçlendirilmiş kauçuk kompozitlerin katlar arasındaki dizilimleri heterojen ve anizotropiktir.

Hava süspansiyon körüklerinin lastik kısmını oluşturan kauçuk reçetesi; matris olarak doğal ve sentetik kauçuk (SMR20, CBR1203), dolgu maddesi olarak karbon siyahı (FEF N550), kimyasal grubu olarak çinko oksit, stearik asit, ozon vaks, TMO ve IPPD, pişirici grubu olarak S80 ve CBS ile birlikte parafinik yağdan oluşan ve yüz birim kauçuğa (phr) denk gelecek şekilde gerçek çalışma koşullarında kapalı bir karıştırıcıda birleştirilerek hazırlanmıştır.

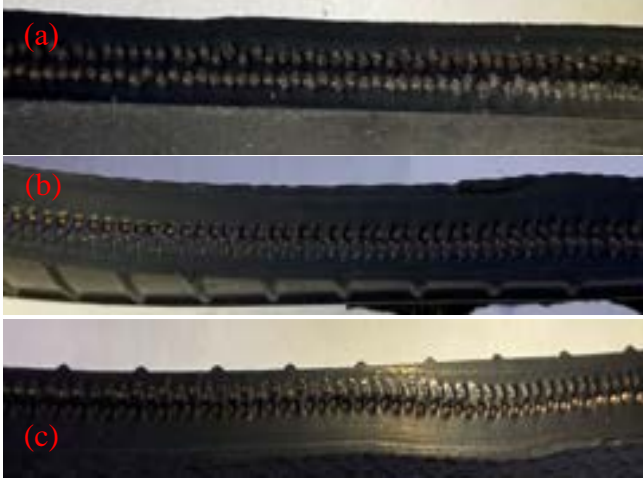
Takviye malzemesi olarak kullanılan kord ipleri üç farklı tipte seçilmiş olup PA 6.6 malzemenin imal edilmiştir ve Kordsa'dan (Kocaeli, Türkiye) temin edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan KT-1 (940x1-140), KT-2 (940x2-150) ve KT-3 (1400x2-120) olarak isimlendirilen üç farklı kord ipeine ait teknik özellikler tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Takviye malzemesi olarak kullanılan kord iplerinin teknik özellikleri (Table 1. Technical properties of cord fabrics used as reinforcement material)

Parametre	Birim	Kord Tipi		
		KT-1	KT-2	KT-3
Büküm sayısı	tpm	190	350	300
Çözgü sayısı	1/dm	140	150	120
Atkı sayısı	1/dm	8	6	6
Metrekare ağırlığı	g/m <sup>2</sup>	135	315	400
Kord kalınlığı	mm	0.37	0.58	0.68
Kısalma yüzdesi	%	3.7	3.3	3.5
Atkı malzemesi		PA 20/1	PA 20/1	PA 20/1

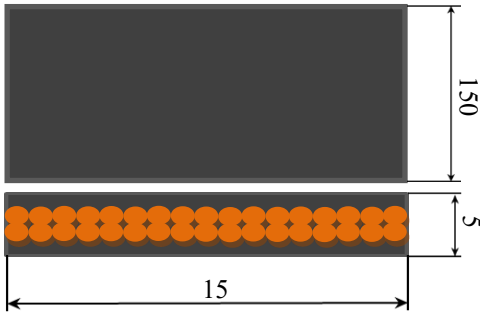
Kord bezleri ve kauçuk karışımı, üç toplu kauçuk kaplama kalenderinde kaplanarak üretime hazır hale getirilmiştir. Kauçuk karışımlarının güçlendirilmesinde kullanılan kord ipleri, klasik olarak üretilen fiber takviyeli kompozit malzemelerin takviyesine kıyasla nispeten daha büyük boyutlara sahip oldukları için deneysel yöntemlerin (kalorimetrik ölçüm, ısı yayılım ölçümü vs.) çoğunun uygulanma olasılığı sınırlıdır (Juma et al., 2000). Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan kord iplerinin kauçuk ile vulkanize edilmiş haline ait görüntüler şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hava süspansiyon körükleri kauçuk kompozit kesit görüntüleri, (a) KT-3, (b) KT-2, (c) KT-1 (Figure 1. Rubber composite section images of air bellows, (a) KT-3, (b) KT-2, (c) KT-1)

KT-3 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN01) toplam ağırlığının %37±2'si kord ipi, %63±2'si kauçuk hamuru, KT-2 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN02) toplam ağırlığının %29±2'si kord ipi, %71±2'si kauçuk hamuru ve KT-1 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN03) toplam ağırlığının %18±2'si kord ipi, %82±2'si kauçuk hamurundan oluşmaktadır. Ayrıca sadece kauçuk hamurundan bir numune (KN00) hazırlanarak matris malzemenin termal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada uyguladığımız yöntemler ile ısı yayılımı ve ısı iletkenliği belirlerken, numuneden geçen ısı transferi tek boyutlu olup bu durum ancak numunenin yeterli büyüklükte iki boyuta sahip olması durumunda kabul edilebilmektedir. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılımını ve termal iletkenliğini belirlemek için kullanılan numunelere ait boyutsal özellikler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Test numuneleri boyutsal gösterimi (Figure 2. Dimensional representation of test specimens)

Testlerde kullanılan numune plakaları vulkanize edilmiş hava süspansiyon körüklerine ait lastik kısımdan kesit alınarak çıkarılmıştır. Bu durum hem ürün parça imalat planı hem de kord ipi düzeni açısından gerçek ürün özelliklerini yansıtmaktadır.

## 2.2. Termal Yayılım Ölçümleri

Takviye malzemesi olarak nispeten büyük boyutlara sahip kord ipi takviyeli kauçuk kompozitlerinin termal yayılımını belirlemek için özel bir test düzeneği hazırlanmıştır. Numunelerin termal yayılımının belirlenebilmesi için yüzey sıcaklıkları doğrusal bir şekilde artırılmıştır. Numune malzemelerin ısı transfer özellikleri, deneysel düzeneğinin başlangıç ve sınır koşullarını da göz önüne alan bir diferansiyel denklem takımının çözümü ile elde edilmiştir.

Termal yayılım için uygulanan test prosedürü ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Hazırlanan numune plakalarının her biri 40 ton kapasiteli bir laboratuvar presinde özel olarak tasarlanan sıcaklık ölçüm problemlerinin yerleştirildiği tablolar arasında sıkıştırılmıştır. Plakaların sıkıştırma basıncı tüm numuneler için sabit 150 bar olarak ayarlanmıştır. Plakalar arasında bulunan numuneler öncelikle belirli bir başlangıç sıcaklığına ısıtılmıştır. Alt ve üst plakanın sıcaklığı, numunelerin merkezindeki sıcaklık ve numune yüzey sıcaklık ölçümleri tüm test boyunca ölçülebilmekte ve plakaların sıcaklık artış hızı ayarlanabilmektedir. Test başladığı andan itibaren numuneler ve test düzeneğindeki tüm sıcaklıklar data logger vasıtasıyla kayıt altına alınarak farklı sıcaklıklardaki termal yayılım değerleri, zamana göre değişen sınır koşulları için tek boyutlu geçici ısı iletimi denkleminin bilgisayar ortamında Labview ile hazırlanan program çözümü ile hesaplanmıştır.

Doğrusal bir şekilde yüzey sıcaklıklarının artışını ifade eden ısı iletimi denklem 1 ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = a_x \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

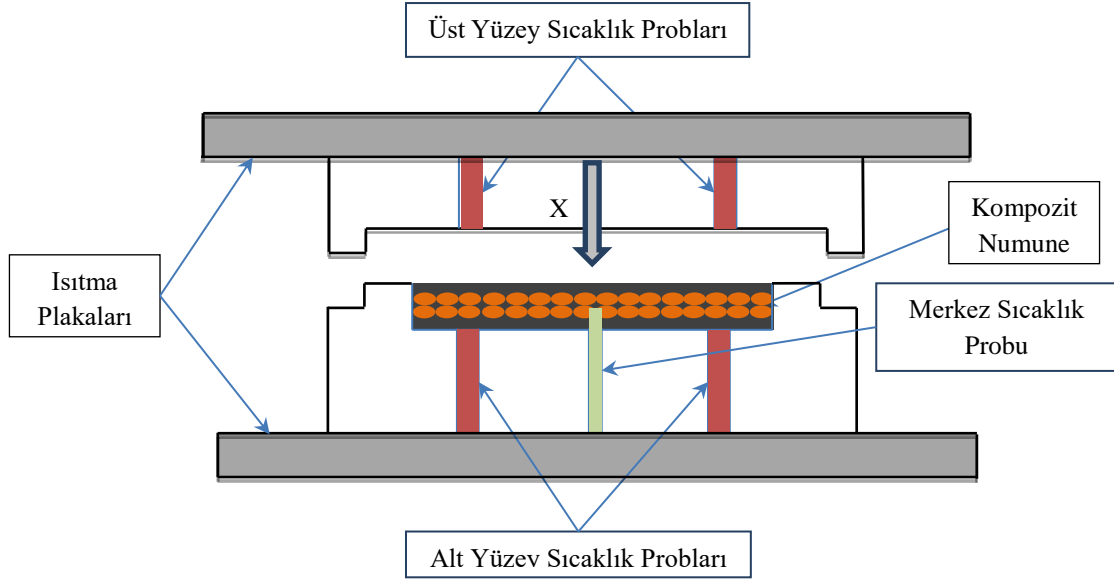
Denklem 2 de gösterilen  $a_x$  ısıtma yüzeyine ve numune yüzeyine dik doğrultudaki termal yayılım olarak tariflenir.

$$a_x = \frac{\lambda_x}{\rho c_p} \quad (2)$$

Burada T sıcaklık, t zaman,  $\rho$  yoğunluk,  $c_p$  özgül ısı kapasitesi ve  $\lambda_x$  ısıtma yüzeyine ve numune yüzeyine dik doğrultudaki termal iletkenlik olarak tanımlanır (Juma et al., 2000; Zhmakın, 2021; Bafmec et al., 1999).

Termal yayılımın hesaplanan değeri, numune merkezinde ve numunenin yüzeyinde ölçülen sıcaklık arasındaki farkın değerine bağlıdır. Bu sıcaklıklar, ± 0.001 hata ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri için Keithley 2000 dijital multimetrenin ilgili fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sürekli kayıt alınmıştır. Aynı şekilde, ısıtma plakalarının sıcaklıkları da aynı hassasiyetle kontrol edilmiştir. Numune merkezindeki ve numunenin yüzeyindeki sıcaklık sensörleri arasındaki mesafe değişmeyecek şekilde rijit bir konstrüksiyon sağlanmış ve mesafeler arasındaki tolerans değeri ± 0.01 mm'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Test plakalarının yüzeyleri taşlanmış  $Ra=0.4 \mu m$ ,  $Rz=2 \mu m$  ve  $Rmax=5 \mu m$  değerlerinde ve 0.3 mm değerinde düzlemsel olacak şekilde imal edilmiştir.





Şekil 3. Test ekipmanı şematik gösterimi (Figure 3. Schematic illustration of test equipment)

Ayrıca 150x150x5 mm ölçülerindeki kauçuk kompozit numunelerinin tam olarak yüzeyel oturacağı ve etrafından izole edilerek bir kanal açılmıştır. Kauçuk kompozit plakaların yanlara doğru ısı geçişini engellemek için izolasyon plakası yerleştirilmiş olup ısı dikey yönde (x) ilerlemektedir. Şekil 3 de kauçuk kompozit numunelerin oturduğu ve sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı test düzeneği şematik olarak gösterilmiştir.

Deneyin başlangıç ve sınır şartları, denklem 3, 4 ve 5 de gösterildiği şekildedir:

$$T(x, 0) = f(x), 0 < x < k, t = 0 \quad (3)$$

$$T(0, t) = f(t) = s_0 + s_1 t, x = 0, t > 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, x = k, t > 0 \quad (5)$$

Burada k kauçuk kompozit plakaların kalınlığının yarısı,  $s_0$  ve  $s_1$  ekipman kaynaklı hata düzeltme sabitleridir. Denklem 1 ile ifade edilen ısı iletimi sayısal yöntemler ile çözülmüş olup termal yayılım değerleri Labview ile hazırlanan program vasıtasıyla çözülmüştür.

### 2.3. Termal İletkenlik Ölçümleri

Termal iletkenlik, Fourier ısı iletimi yasasına dayalı olarak kararlı durum yöntemiyle ölçülmüştür (Zhmakin, 2021; Bafmec et al., 1999).

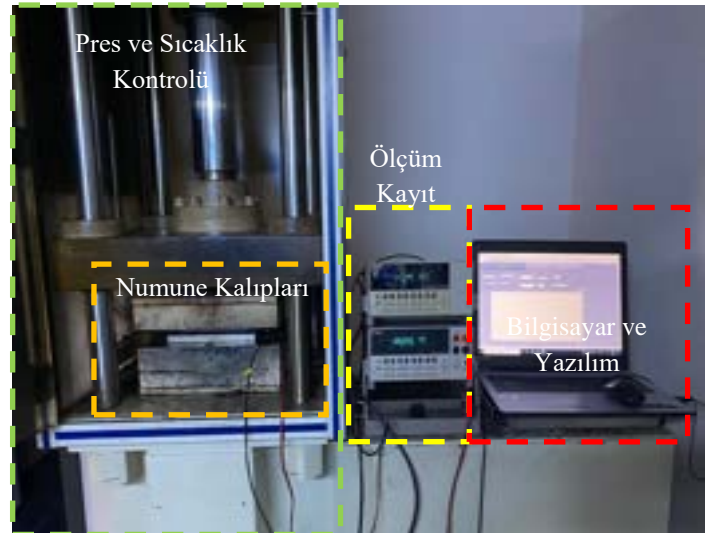
$$q_x = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$

Denklem 6 ile gösterilen,  $q_x$  ısı akısı yani x eksenini yönüne dik olan yüzey boyunca birim alan başına ısı iletim hızıdır ve  $\lambda_x$  aynı yöndeki termal iletkenliktir. Kalınlığı  $k_c$  olan düz bir levha için birim alan başına kararlı hal ısı akısı oranı denklem 7 ile hesaplanabilir:

$$q_x = \lambda_x \frac{T_{p1} - T_{p0}}{k_c} \quad (7)$$

Burada  $T_{p0}$  ve  $T_{p1}$ , alt ve üst plakaların sıcaklıklarıdır.

Şekil 4'de, kauçuk kompozit numunelerinin termal iletkenliğini ölçmek için hazırlanan deney düzeneği gösterilmiştir. Pres tüm numuneleri aynı basınçta tutacak şekilde ayarlanmıştır. Hidrolik sistemden dolayı meydana gelecek basınç kayıpları 5 barın altına düştüğü anda hidrolik sistem üzerindeki tazeleme valfi ile tekrar basınç istenen değere getirilmektedir. Böylece pres sıkıştırma basıncı her zaman sabit kalmaktadır. Isıtıcı plakaların sıcaklığı, özel olarak hazırlanan otomasyon yazılımı ve oransal-integral-türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemiyle kontrol edilmiştir. Kompozit numunelerin yüzey ve merkez sıcaklıkları, kalıp set takımı üzerindeki sıcaklık sensörleri ile ölçülerek, Testo 175 T2 (Almanya) marka bir data logger ve bilgisayar yazılımı ile kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. Termal iletkenlik ölçümü deney düzeneği (Figure 4. Thermal conductivity measurement experimental setup)

Isı iletiminin tek boyutlu olacağı kabulü ile x yönündeki ısı iletkenliği ( $\lambda_x$ ) aşağıda verilen denklem 8 ile hesaplanabilir:

$$\lambda_x = \lambda_{ti} \left( \frac{k_c}{k_{cs}} \right) \cdot \frac{T_{1s} - T_m}{T_m - T_{2s}} \quad (8)$$

Burada,  $\lambda_{ti}$  standart malzemenin ısı iletkenliği,  $k_c$  kompozit numunenin kalınlığı,  $k_{cs}$  plaka kalınlığı,  $T_{1s}$  plaka yüzey sıcaklığı,  $T_{2s}$  numune yüzey sıcaklığı,  $T_m$  numune ile plaka malzemesi arasındaki sıcaklıktır.

Kauçuk kompozit numunelerin yoğunlukları AND GR-200 (Japonya) hassas terazisinde Arşimed Prensibine göre belirlenmiştir. Her numuneden beş farklı ölçüm alınarak ortalamaları kayıt edilmiştir. Özgül ısı değerleri denklem 2 ile hesaplanmıştır.

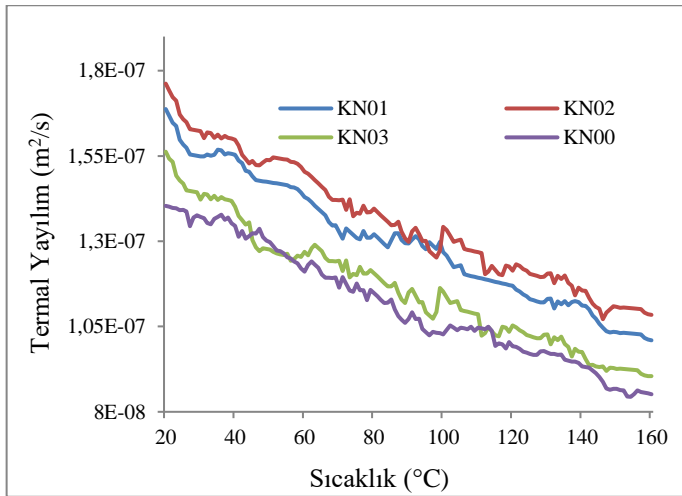
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan üç farklı tip kord bezi ile hazırlanmış kauçuk kompozitler için fiber yönüne dik termal yayılım, fiber yönüne dik termal iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı değerleri laboratuvar ortam şartlarında ölçülmüştür. Numunelere ait lif yönüne dik ölçülen termal özellikler tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin lif yönüne dik ölçülen termal özellikleri (Table 2. Thermal properties of cord fabric reinforced rubber composites measured perpendicular to the fiber direction)

Numune Tanımı	Termal Yayılım $a_x$ $m^2/s$	Termal İletkenlik $\lambda_x$ $W/m.K$	Özgül Isı Kapasitesi $c_p$ $kJ/kg.K$	Yoğunluk $\rho$ $kg/m^3$
KN00	1.40E-07	0.224	1.53	1192.6
KN01	1.69E-07	0.326	2.23	1101.6
KN02	1.70E-07	0.324	2.19	1117.8
KN03	1.56E-07	0.269	1.95	1183.7

Termal yayılım özellikleri 20-160 °C sıcaklıkları arasında 150x150x5 mm boyutlarındaki kauçuk plakalar üzerinden belirlenmiştir. Kauçuk kompozitlerinin termal yayılımının sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. Üç farklı kord ipi tipiyle hazırlanan kauçuk kompozitlere ait sıcaklığa bağlı termal yayılım davranışı şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kord takviyeli kauçuk kompozitlerin (lif yönüne dik) sıcaklık-termal yayılım değişimi (Figure 5. Temperature-thermal dissipation variation of cord-reinforced rubber composites (perpendicular to fiber d,rect,on))

Yapılan çalışmada kauçuk kompozitlerin matris malzemesine ait bileşim reçetesi değiştirilmeden, takviye malzemesi olarak kord ipi çeşitleri değiştirilmiştir. Kord iplerinin kalınlığına bağlı olarak her bir numune içeriğindeki matris malzeme ağırlığı değişmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan fiber yönüne dik olarak değişen termal özellikler kord bezinin özelliklerinden etkilenmiştir. Kord ipi kalınlığı 0.68 mm olan KN01 numunesinin, kord ipi kalınlığı 0.58 mm ve 0.37 mm olan KN02 ve KN03 numunelerine göre daha yüksek termal yayılım ve termal iletkenlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel sebeplerinden biri karışım reçetesi içerisindeki polimer ve karbon siyahı dolgusunun miktarıdır. Kauçuk kompozit karışımlarının termal yayılım ve termal iletkenliği, karışımda kullanılan polimer miktarı arttıkça azalmakta, dolgu malzemesi olarak kullanılan karbon siyahı (FEF N 550) arttıkça da artmaktadır (Bafmec et al., 1999; Danilova-Tret'yak, 2016; Kutcherov et al., 1992).

Kord ipi tipi haricinde bu çalışmada polimer miktarı, tipi ve dolgu miktarı sabit tutulduğu için birim hacim başına düşen kauçuk karışımı değişmektedir. KN01 numunesi içerisinde kullanılan matris malzeme miktarına göre KN02 ve KN03 de sırasıyla %12.7 ve %30.16 oranında artış göstermiştir. Birim hacimdeki polimer miktarı KN03 de daha fazla olduğu için termal yayılım ve termal iletkenlik değerleri diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Ayrıca KN03 numunesinde kullanılan KT-1 tipi kord ipinin büküm sayısının diğerlerinden daha az olması da termal yayılım ve termal iletkenlik değerini etkilemektedir. Büküm sayısı 190 olan bu kord ipinin dm’deki çözgü sayısına bağlı olarak birbirleriyle düzensiz bir şekilde etkileşime girmesi ve lifler arasında bir miktar havanın tutulmasını sağlamaktadır. Büküm sayısı kauçuk kompozit numuneleri içerisindeki sıkışan hava miktarını etkileyebilmektedir (Siddiqui et al., 2013). Böylece lifler arasında sıkışan hava ısı ı temas direncini artırarak lif dizilim yönüne dik etkin ısı iletkenliği azalmaktadır.

Bu çalışmada ayrıca kompozit numunelerde lif yönüne paralel termal özellikler de belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin lif yönüne paralel ölçülen termal özellikleri (Table 3. Thermal properties of cord fabric reinforced rubber composites measured parallel to the fiber direction)

Numune Tanımı	Termal Yayılım $a_x$ $m^2/s$	Termal İletkenlik $\lambda_x$ $W/m.K$	Özgül Isı Kapasitesi $c_p$ $kJ/kg.K$	Yoğunluk $\rho$ $kg/m^3$
KN01	3.06E-07	0.590	2.23	1101.6
KN02	3.18E-07	0.600	2.19	1117.8
KN03	2.19E-07	0.379	1.95	1183.7

Fiber yönüne paralel kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerlerinin fibere dik yöne göre çok daha yüksek ve matris malzemeye karşılık gelen değerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Fiber yönüne paralel olarak termal yayılım değerinin hazırlanan kauçuk kompozitlerini oluşturan bileşenlerin kendi bağımsız değerlerinden farklı olarak maksimum değere ulaştığı, fiber yönüne dik ısı iletiminde ise kord bezi katmanının bir termal bariyer olarak direnç oluşturduğu görülmüştür.

Isı iletimi, matris malzemesinin özellikleri ile sınırlı olup ısıl iletkenlik değeri, matrisin iletkenliğine yaklaşmaktadır (Juma et al., 2006; Abu-Zeid et al., 1986; Kim et al., 1988).

#### 4. Sonuç

Takviye malzemesi olarak kullanılan kord ipinin tipi ve özellikleri, kord takviyeli kauçuk kompozitlerin termal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerleri sıcaklıkla azalmaktadır.
- Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan ve bu üç tip kord bezi ile hazırlanan kauçuk kompozit numunelerinin çalışma durumunda oluşan fiber yönüne dik meydana gelen ısının iletim hızı, kauçuk matris özellikleri ile sınırlıdır.
- Hazırlanan kauçuk kompozitin termal özellikleri matris malzemesinin özelliklerine yaklaşmıştır.
- Kauçuk kompozit karışımlarının termal yayılım ve termal iletkenliği, karışımda kullanılan polimer miktarının artması ile azalmakta, dolgu malzemesi olarak kullanılan karbon siyahı (FEF N 550) artmasına bağlı olarak da artmaktadır.
- Kord ipi tipi haricinde kauçuk kompozit karışımlarında kullanılan elastomer miktarı ve tipinin değiştirilmesiyle termal özellikler de değişmektedir.
- Kord iplerinin kalınlığına bağlı olarak her bir numune içeriğindeki matris malzeme ağırlığı değişmiş buna bağlı olarak da termal özellikler değişmiştir. KN01 numunesinin termal yayılım ve iletkenlik değeri KN02 ve KN03 numunelerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Takviye malzemesi olarak kullanılan kord iplerinin büküm sayısı da termal özellikleri etkilemektedir.
- Büküm sayısı kauçuk kompozit numuneleri içerisindeki sıkışan hava miktarını etkileyerek, lifler arasında sıkışan hava ile ısıl temas direncini arttırmakta ve lif dizilim yönüne dik etkin ısı iletkenliğini azalmaktadır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerinin temini ve test ekipmanlarının kullanımını sağlayan Pega Otomotiv ve Ar-ge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.

#### References

Abu-Zeid, M. E., Youssef, Y. A., & Abdul-Rasoul, F. A. (1986). Thermal degradation of butadiene-styrene-based rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 31(6), 1575–1583. doi: 10.1002/app.1986.070310604

Alzamil, M. A., Alfaramawi, K., Abboudy, S., & Abulnasr, L. (2018). Temperature Coefficients of Electrical Conductivity and Conduction Mechanisms in Butyl Rubber-Carbon Black Composites. *Journal of Electronic Materials*, 47, 1665–1672. doi: 10.1007/s11664-017-5990-y

Bafnec, M., Juma, M., Toman, J., Jurčiová, J., & Kučma, A. (1999). Thermal diffusivity of rubber compounds. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 28(10), 482–486. doi: 10.1179/146580199101540051

Choi, S. S., & Kim, O. B. (2013). Influence of rubber and fabric cord on deformation of a fabric cord-inserted rubber composite by thermal aging. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(2), 650-654. doi: 10.1016/j.jiec.2012.09.016

Danilova-Tret'yak, S. M. (2016). On Thermophysical Properties of Rubbers and Their Components. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 89(6), 1388–1393. doi: 10.1007/s10891-016-1506-5

Ghoreishy, M. H. R., Naderi, G., & Pahlavan, M. (2016). An investigation into the thermal transport properties of PP/EPDM/clay nanocomposites using a new combined experimental/numerical method. *Plastics, Rubber and Composites*, 45(5), 229-237. doi: 10.1080/14658011.2016.1172146

Juma, M., & Bafnec, M. (2000). Method of measuring thermal diffusivity of composites with thick fillers and reinforced rubbers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 19(13), 1024–1030. doi: 10.1106/3UG4-918L-WKMY-TRAA

Juma, M., & Bafnec, M. (2006). Heat transfer properties of cord-reinforced rubber composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(18), 1967–1975. doi: 10.1177/0731684406069924

Kerschbaumer, R. C., Stieger, S., Gschwandl, M., Hutterer, T., Fasching, M., Lechner, B., Meinhart, L., Hildenbrandt, J., Schrittmesser, B., Fuchs, P. F., Berger, G. R., & Friesenbichler, W. (2019). Comparison of steady-state and transient thermal conductivity testing methods using different industrial rubber compounds. *Polymer Testing*, 80, 106-121. doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106121

Kim, W. N., & Burn, C. M. (1988). Thermal behavior, morphology, and some melt properties of blends of polycarbonate with poly(styrene-co-acrylonitrile) and poly(acrylonitrile-butadiene-styrene). *Polymer Engineering & Science*, 28(17), 1115–1125. doi: 10.1002/pen.760281706

Kutcherov, V., Håkansson, B., Ross, R. G., & Bäckström, G. (1992). Experimental test of theories for the effective thermal conductivity of a dispersed composite. *Journal of Applied Physics*, 71(4), 1732–1736. doi: 10.1063/1.351205

Mani, N. K., Berzins, M. A., & Turner, J. L. (2009). Laboratory Measurement of Tire Flatspot. *Tire Science and Technology*, 37(4), 279–301. doi: 10.2346/1.3251344

Nasr, G. M., Badawy, M. M., Gwaily, S. E., Shash, N. M., & Hassan, H. H. (1995). Thermophysical properties of butyl rubber loaded with different types of carbon black. *Polymer Degradation and Stability*, 48(2), 237-241. doi: 10.1016/0141-3910(95)00056-R

Poikelspää, M., Honkanen, M., Vippola, M., & Sarlin, E. (2021). Effect of carbon nanotubes and nanodiamonds on the heat storage ability of natural rubber composites. *Journal of Elastomers & Plastics*, 53(4), 311-322. doi: 10.1177/0095244320933977

Radhakrishnan, C. K., Sujith, A., & Unnikrishnan, G. (2007). Thermal behaviour of styrene butadiene rubber/poly(ethylene-co-vinyl acetate) blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 90, 191–199. doi: 10.1007/s10973-006-7559-5

Siddiqui, M. O. R., & Sun, D. (2013). Finite element analysis of thermal conductivity and thermal resistance behaviour of woven fabric. *Computational Materials Science*, 75, 45–51. doi: 10.1016/j.commatsci.2013.04.003

- Yang, X., Xiaofei, L., Haosheng, W., Feng, Z., Donghai, Z., & Yunfa, C. (2019). Improvement in thermal conductivity of through-plane aligned boron nitride/silicone rubber composites. *Materials & Design*, *165*, 107580. doi: 10.1016/j.matdes.2018
- Zhmakin, A. I. (2021). Heat Conduction Beyond the Fourier Law. *Technical Physics*, *66*, 1-22. doi: 10.1134/S1063784221010242



# Comparison of Long-Short-Term Memory and Gated Recurrent Unit Based Deep Learning Models in Prediction of Streamflow

Huseyin Cagan Kilinc<sup>1\*</sup>, Ahmet Polat<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Esenyurt University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1848-2856), [huseyncagankilinc@esenyurt.edu.tr](mailto:huseyncagankilinc@esenyurt.edu.tr)

<sup>2</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8135-3681), [polatrom@gmail.com](mailto:polatrom@gmail.com)

(First received 21 April 2022 and in final form 15 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1107237)

**ATIF/REFERENCE:** Kilinc, H. C., Polat, A. (2022). Comparison of Long-Short-Term Memory and Gated Recurrent Unit Based Deep Learning Models in Prediction of Streamflow. *European Journal of Science and Technology*, (38), 158-164.

## Abstract

The increase in the world population and the resulting demand for water and energy place an increasing pressure on water resources. Machine learning (ML) plays an active role in predicting river flows. The recurrent neural network (RNN) model, which is one of the ML methods, was insufficient due to the lost gradient problem in repetitive data sets. Long short-term memory networks (LSTM) allow network cells to forget some of their previously stored memory. Another method, the gated repetitive unit (GRU), updates the memory and solves the loss problem. GRU is fast as it has less training parameter and uses less memory, whereas in LSTM model it is more accurate on dataset as longer sequences are used. Since the data set obtained from the flow data of the Fatopaşa flow measurement station (FMS) (2000-2009) on the Euphrates River (E21A035) has medium size and repetitive values, these two models were compared with the data obtained from this station in the study. Adadelta, Adagrad, FTRL, SGD, RMSprop, Nadam, Adamax, Adam improvers were tested for the study. Considering the  $R^2$ , MAE, RMSE statistical evaluation criteria, it was seen that Adam and Adamax optimizers gave better results and it was decided to use these optimizers that were most suitable for the data. MAE, MSE and LogCosh loss functions were used in the study. When the performance of LSTM and GRU models are analyzed, it is observed that better results are obtained than the GRU model, with values of 0.3346 RMSE, 0.1464 MAE and 0.9718  $R^2$ .

**Keywords:** Streamflow, Long-short term memory, gated recurrent unit, river management, water resources.

## Nehir Akım Tahmininde Uzun-Kısa Süreli Bellek ve Geçitli Tekrarlayan Birim Model Tabanlı Derin Öğrenme Modellerinin Karşılaştırılması

### Öz

Dünya nüfusundaki artış ve bunun sonucunda ortaya çıkan su ve enerji talebi, su kaynakları üzerinde artan bir baskı oluşturmaktadır. Makine öğrenmesi (ML), nehir akışlarını tahmin etmede etkin bir rol oynamaktadır. ML yöntemlerinden olan tekrarlayan sinir ağı (RNN) modeli, tekrarlayan veri setlerinde kaybolan gradyan sorunu nedeniyle yetersiz kalmıştır. Uzun kısa süreli bellek ağları (LSTM), ağ hücrelerinin önceden depolanmış belleklerinin bir kısmını unutmasına izin verir. Diğer bir yöntem olan geçitli tekrarlayan birim (GRU) ise hafızayı günceller ve kayıp problemini çözer. GRU'nun eğitim parametresi daha az olduğu ve daha az bellek kullandığı için hızlıdır, LSTM modelinde ise daha uzun diziler kullanıldığından veri kümesinde daha doğrudur. Fırat Nehri üzerindeki (E21A035) Fatopaşa akım ölçüm istasyonunun (FMS) (2000-2009) akış verilerinden elde edilen veri seti orta büyüklükte ve tekrarlayan değerlere sahip olduğundan çalışmada bu iki model bu istasyondan elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma için Adadelta, Adagrad, FTRL, SGD, RMSprop, Nadam, Adamax, Adam iyileştiricileri test edilmiştir.  $R^2$ , MAE, RMSE istatistiksel değerlendirme kriterleri göz önüne alındığında Adam ve Adamax optimize edicilerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş ve verilere en uygun olan bu iyileştiricilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada MAE, MSE ve LogCosh kayıp fonksiyonları kullanılmıştır. LSTM ve GRU modellerinin performansı analiz edildiğinde, GRU modelinden daha iyi sonuçlar elde edildiği, 0.3346 RMSE, 0.1464 MAE ve 0.9718  $R^2$  değerleri ile gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nehir akımı, Uzun-kısa süreli bellek ağları, geçitli tekrarlayan birim, nehir yönetimi, su kaynakları

\* Corresponding Author: [huseyncagankilinc@esenyurt.edu.tr](mailto:huseyncagankilinc@esenyurt.edu.tr)

## 1. Introduction

Water is one of the most important substances for the survival of all living things on earth. Since the amount of water on earth is constant and the need for water increases as the population increases, planning and managing water resources as accurately as possible has recently been one of the most important issues in hydrology (Nazimi, 2021). In Turkey, economically current water potential is 110 km<sup>3</sup> and 57km<sup>3</sup> of the potential water is consumed. Also, 77% of this amount is used in irrigation, 23% in drinking-use and industry. Considering that the irrigation sector targets 65% of this amount, provided that all of our consumable water potential is used in 2030; It is stated that achieving this goal depends on water saving and the provision of sustainable water resources (Yavuz and Yavuz, 2021; Hasirci, 2021).

One of the important points to ensure sustainability is the estimation of river flows. Recently, there is an increasing need for a higher spatiotemporal resolution in the analysis and modelling of water-energy demand, as they would be more useful for policy analysis and infrastructure planning in both water and energy systems. In summary, short-term or long-term flow estimations have an important place in effective water management. With the development of deep learning models depending on artificial intelligence, there are many hydrological models in the literature (Kılınc, 2021). Recently, important progress has been made in Deep learning (DL), Machine learning (ML) and data knowledge. Convolutional Neural Network (CNN), Long-short term memory network (LSTM), Gated recurrent unit (GRU), Recurrent neural network (RNN), Restricted Boltzmann Machine (RBM) are some of the popular DL models used in the literature. The DL approach, known as LSTM, overcomes the problems RNNs face and maintains long-term timer knowledge of time series datum (Khan and Yairi, 2018; Zhou et al. 2019). Long Short-Term Memory Networks are a proprietary recursive neural network architecture designed to model temporal sequences and their long-range dependencies more accurately than traditional recurrent neural networks. (Hochreiter and Schmidhuber, 1997; Gers et al. 1999). Another popular DL model GRU has much lower training time than the LSTM model, as its performance is similar to the LSTM (Day and Salem, 2017). The GRU is optimized and condensed on the basis of LSTM, which has two gates named reset gate and update gate to control the flow of information. Benefiting from the structure, the forecasting speed of GRU is effectively improved and maintain the strength of LSTM at the same time (Wang et al. 2020). GRU has emerged as a powerful tool in various applications encompassing time series prediction, such as streamflow prediction, machine health monitoring, wind speed prediction and traffic flow prediction (Zhao et al. 2018). In the literature, streamflow forecasting models have been used for river flow forecasting in many studies (Demir and Tona, 2021; Cebe and Bilhan, 2021; Soyaslan, 2019; Zhao et al. 2021; Apaydin et al. 2020). The proposed study contributes to the algorithm-based prediction model literature. Comparing the success of both models in forecasting will enable the model to be used to produce efficient solutions to be further strengthened and applied in future studies. The results produced in the study were compared by considering other methods in the current literature. The statistical significance of the comparison of the proposed method with the methods in the literature has also been demonstrated. In the Bulam River (Fatopaşa) on the Euphrates basin, daily time series were obtained from the Flow Measurement Station (FMS) numbered E21A035 and their applicability in flow estimation was

investigated by the comparative analysis of the GRU and LSTM models.

## 2. Material and Method

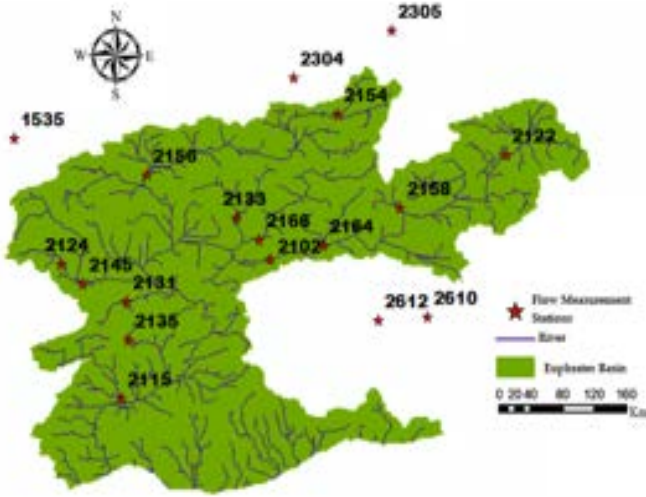
### 2.1. Study Region and Dataset

The Euphrates Basin defines the border of the provinces of Tunceli, Erzincan, Elazig, Diyarbakir, Malatya, Adiyaman, Gaziantep, Şanlıurfa, starts from the east of Turkey, passes from the north to the south, and then joins with the Tigris basin in Iraq and Basra Province of Iraq. The Euphrates then empties into the Persian Gulf. This basin has an area of 127304 km<sup>2</sup> and an average height of 1009m, making it one of the largest water basins in Turkey. The average annual precipitation in this basin is 540.1 mm/year and the average annual flow is 31.61 km<sup>3</sup>. This basin is the largest in Turkey in terms of average annual flow (Nazimi, 2021).

The average annual flow of the Euphrates is around 32 billion cubic meters, and 80% of this amount is located in the upper basin to the north of the Keban Dam. Its maximum flow in April and May corresponds to 42% of the total annual flow. Euphrates River flow values vary in the basin. While the flow is 200 m<sup>3</sup>/s in the winter months due to the precipitation in the form of snow, this figure increases up to 2000 m<sup>3</sup>/s in the spring with rain and snow melts. The flow, which decreases rapidly in July, decreases to the minimum level in September-October. The fact that the temperature is sufficient especially in the middle parts of the Euphrates River basin and that the drought creates a long period of time during the vegetation period increases the importance of the precipitation falling in the high regions. This situation shows the importance of precipitation in the middle and lower Euphrates Basin. In addition, the examination of the factors created by the river regime on the basin has been effective in the selection of this region as the subject of study (Yıldırım, 2006; Özcan et al. 2013).

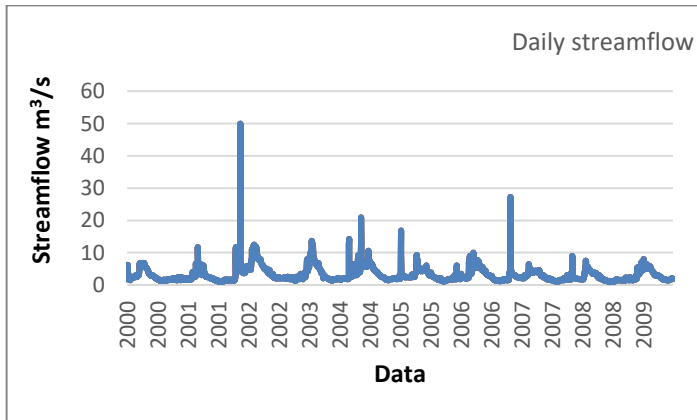
The Euphrates river ranks first among the total water potentials of the rivers in Turkey with a share of 24.93%. While scenarios are being written such that fresh water is insufficient and therefore water wars may be experienced, this water potential of the Euphrates river is an important factor for the socio-economic development of the region; The fact that there is a cross-border water also raises the concern that there may be water sharing crises among the partner countries in the future. In this respect, if the river water is used effectively and efficiently and the problems arising in river management are minimized, it has the feature of being a solution to potential water scarcity problems for Turkey and partner countries. In this respect, the geopolitical and socio-economic importance of the river has been influential in the selection of this region in the study (Bilbay, 2014).

Also, the FMS was selected in accordance with the conditions of being on important branches of the Euphrates River Basin shown in Figure 1. In the study, 10-year, daily streamflow data among the years 2000-2009 belonging to the Bulam River Fatopaşa FMS located in the Euphrates Basin, numbered E21A035, were used. The daily streamflow data required for this study has been obtained from the printed and digital sources published by the General Directorate of Electrical Works and Survey Administration (EIEI) and the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI).



**Figure 1.** Location of Fatopaşa FMS at Euphrates River Basin

Fatopaşa FMS (E21A035) is located in the Euphrates River Basin at 37°59'38" north latitude and 38°14'13" east longitude. The annual flow data of the station is 3,534 m<sup>3</sup>/s. Its total drainage area is 154.8 km<sup>2</sup> and its height is 1252m. As shown in Figure 2, the minimum and maximum flow rates of the river station are 2.3 m<sup>3</sup>/s and 49.8 m<sup>3</sup>/s, respectively.



**Figure 2.** Distribution of daily streamflow for Fatopaşa FMS

In the study, Python 3.9, one of the Python programs, was used to process the input parameters and daily flow data in the models. Daily flow data analyzed using LSTM and GRU models were generated with 50 periods and performance analysis with 8 batch sizes. In the study, performance evaluation was made with many optimizers during the analysis phase and the ADAM optimizer with optimum conditions was used. RMSE was used as the loss function. The data obtained from Fatopaşa station included 10 years of daily flow data between 2000-2009. 80% of the data was obtained as the training set and the remaining 20% as the test set. The obtained data and the models were compared and the performance analysis was carried out with the test data.

In the study, river flows were estimated with the data of Fatopaşa station located on Bulam river. Measurement difficulties may be experienced in flow data due to some meteorological and hydrological factors (difficulty of transportation, measurement problems, etc.). For this reason, when determining the data time intervals, the time intervals when the data were complete were taken into account as much as possible.

## 2.2. Method

### 2.2.1. Long-Short Term Memory

LSTM networks are basically an effective method in explaining past information to current information and predicting future information. As shown in Fig. 3, LSTM blocks have three gates. These gates perform the writing, reading and resetting of the cell. All cells are controlled by these three gates (Fang et al. 2020). The entrance gate controls the input information to the open cell, determines how much information is transferred to the new data using the past gate, and controls how much information is used when calculating the output using the exit gate.

$$gt = \sigma(Ugxt + Wght-1 + bf) \quad (1)$$

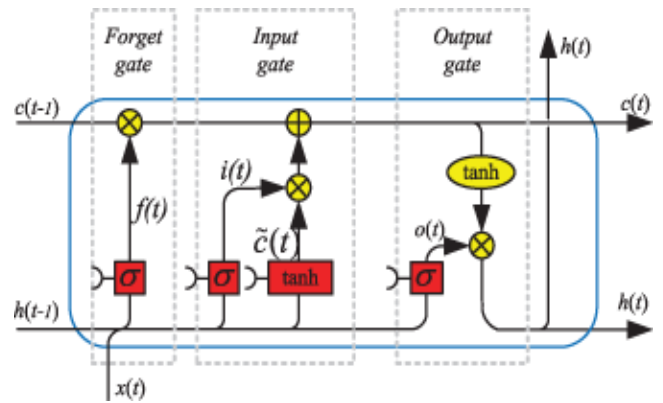
$$it = \sigma(Uixt + Wiht-1 + bi) \quad (2)$$

$$cet = \tanh(Ucxt + Wcht-1 + bc) \quad (3)$$

$$ct = gt * ct-1 + it * cet \quad (4)$$

$$ot = \sigma(Uoxt + Woht-1 + bo) \quad (5)$$

$$ht = ot * \tanh(ct) \quad (6)$$



**Figure 3.** The structure of the LSTM model cell

U and W are known as the input weights of different gates. All these controllers determine the amount of information obtained from the previous cycle and the amount of information transferred to the new state.

### 2.2.2. Gated Recurrent Unit

GRUs are special variations of RNNs (Fig. 4). The structure of a GRU and the equations of GRU that govern its functions are listed in (7)– (10) (Sing et al. 2017).

$$rt = \sigma(Wr \cdot [ht-1, xt] + br) \quad (7)$$

$$eht = \tanh(W \cdot [rt \cdot ht-1, xt]) \quad (8)$$

$$zt = \sigma(Wz[ht-1, xt] + bz) \quad (9)$$

$$ht = (1 - zt) \cdot ht-1 + zt \cdot eht \quad (10)$$

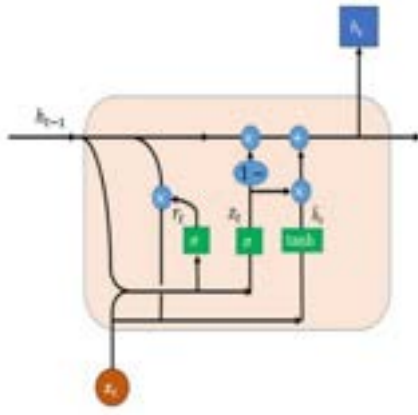


Figure 4. The structure of the GRU model cell

### 3. Results and Discussion

Predictive models were validated using test data and analysed using the evaluation criteria. With the selected evaluation parameters LSTM and GRU models were applied to forecast daily stream flows at Bulam river Fatopaşa FMS.

Fig. 5 (a)-(f) GRU, Fig. 6 (a)- (f) LSTM indicated the distribution of data. The model with the less deviation was shown in GRU model using Adam optimizer with MAE loss in Fig. 6 (a), while the model with the highest deviation was the model in Fig. 7 (e). It was seen that LSTM model using the MSE loss function and ADAMAX optimizer function in LSTM model, Fig. 7 (f) of Adamax optimizer and LogCosh loss function showed the best result.

Table 1 showed the results of GRU and LSTM models using different loss functions and optimizers according to performance evaluation criteria. As shown in table, RMSE criterion, the best result for GRU was found 0.3346 from the model in which the Adam optimizer and the MAE loss function were used; the worst conclusion was obtained from the model using Adamax optimizer and MSE loss function with a value of 0.4615. From the model where Adamax optimizer and LogCosh loss function were used with 0.3487 value of the best conclusion for LSTM; the worst conclusion is obtained from the model using Adamax optimizer and MSE loss function with a value of 0.4483. According to this criterion, the GRU model was more successful than the LSTM model, and the MSE loss function had the worst result in both models.

According to MAE performance criterion, the best result for GRU was 0.1464 from the model in which the Adam optimizer and the MAE loss function were used; the worst result is from the model where Adamax optimizer and MSE loss function were used with a value of 0.2169; The best result for LSTM was 0.1545 with the value of Adam optimizer and the MAE loss function from the model; the worst conclusion was obtained from the model using Adamax optimizer and MSE loss function with a value of 0.2135. After the best values of this criterion were compared, it was

observed that the GRU model was more successful and the MSE loss function had the worst performance.

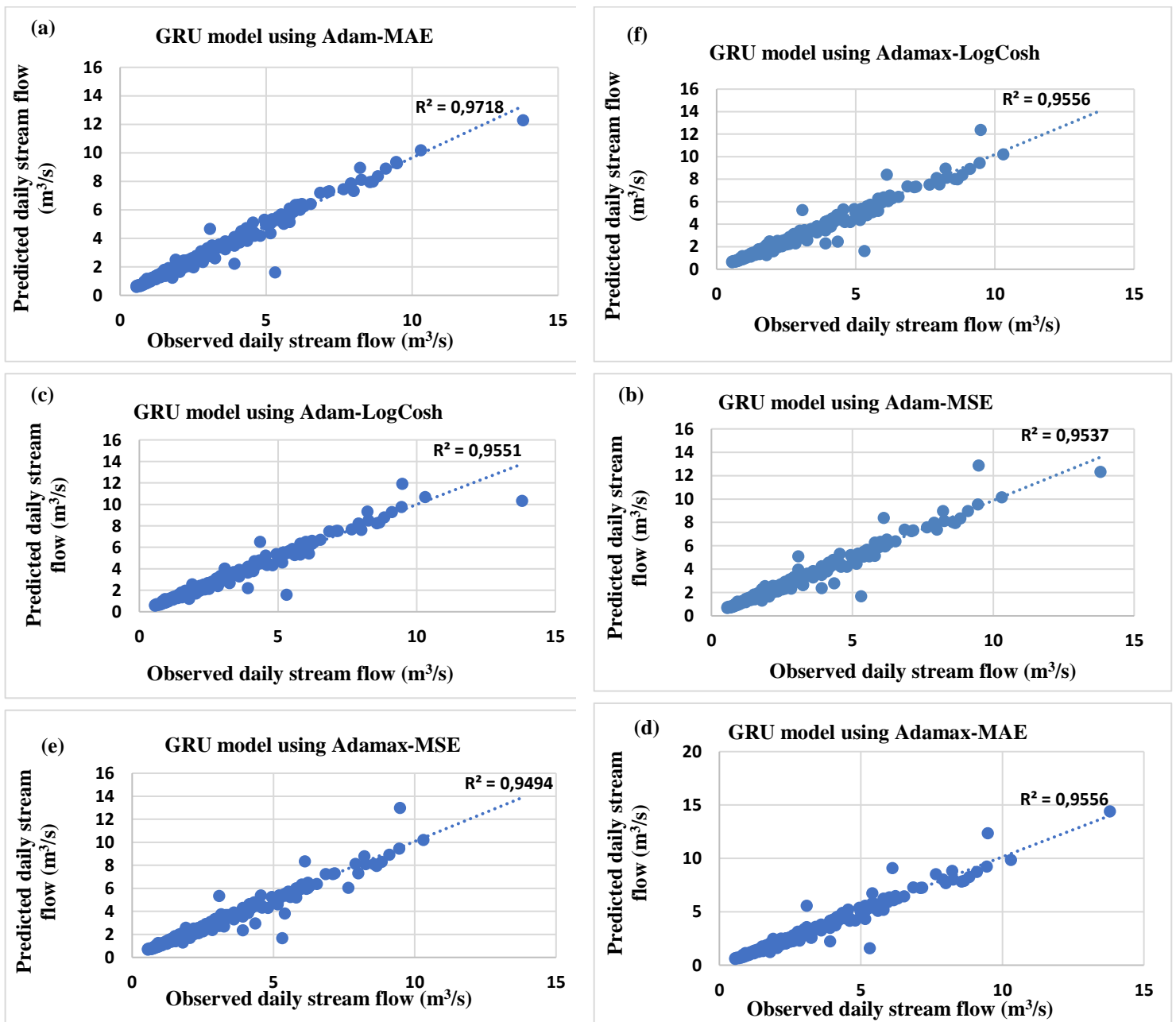
According to STD performance criteria, the best result for GRU with a value of 0.1595 from the model in which the Adam optimizer and the MSE loss function were used; The worst result was from the model using Adamax optimizer and LogCosh loss function with a value of 0.1680; from the model where the best result for LSTM was 0.1647 with the value of Adam optimizer and MAE loss function; It is seen that the worst conclusion was obtained from the model using the Adam optimizer and MSE loss function with a value of 0.2135. According to this criterion, the most successful result belongs to the GRU model, and the Adam optimizer performed better in both models.

Finally, according to the  $R^2$  performance criterion, the best result for GRU with 0.9718 value from the model where Adam optimizer and MAE loss function were used; The worst result was from the model where Adamax optimizer and MSE loss function were used with a value of 0.9494; From the model in which Adamax optimizer and LogCosh loss function were used with a value of 0.9689 for LSTM; the worst conclusion was obtained from the model using Adamax optimizer and MSE loss function with a value of 0.9513. When the best results of this criterion were compared, the GRU model was more successful and the results with the worst performance for both models belong to MSE. Considering all performance criteria; the GRU model was more successful than the LSTM model and the MAE loss function was more successful for both models compared to the other loss functions, and the MSE loss function was less successful than the other loss functions, and when the optimizers were compared, the Adam optimizer was generally more successful. The technological progress and capacity reduction of high-water-consuming technologies could reduce the water stress. Both water demand side and water supply side estimations were suggested to reach the coordinated development of energy with water resources.



**Table 1.** Forecasting evaluation criteria

	GRU						LSTM						
	OPTIMIZERS						OPTIMIZERS						
	ADAMAX			ADAM			ADAMAX			ADAM			
STATISTICAL	LOSS FUNCTIONS												
	MAE	MSE	LOG COSH	MAE	MSE	LOG COSH	MAE	MSE	LOG COSH	MAE	MSE	LOG COSH	
	RMSE	0,4346	0,4615	0,4403	<b>0,3346</b>	0,4304	0,4272	0,4380	0,4483	<b>0,3487</b>	0,4212	0,4473	0,4331
	MAE	0,1773	0,2169	0,1796	<b>0,1464</b>	0,2029	0,1846	0,1860	0,2135	0,1555	<b>0,1545</b>	0,1703	0,1742
	STD	0,1651	0,1628	0,1680	0,1608	<b>0,1595</b>	0,1650	0,1654	0,1715	0,1654	<b>0,1647</b>	0,1768	0,1662
R <sup>2</sup>	0,9556	0,9494	0,9556	<b>0,9718</b>	0,9537	0,9551	0,9528	0,9513	<b>0,9689</b>	0,9557	0,9515	0,9524	



**Figure 5.** Fatopaşa FMS scatter plots model test results for GRU

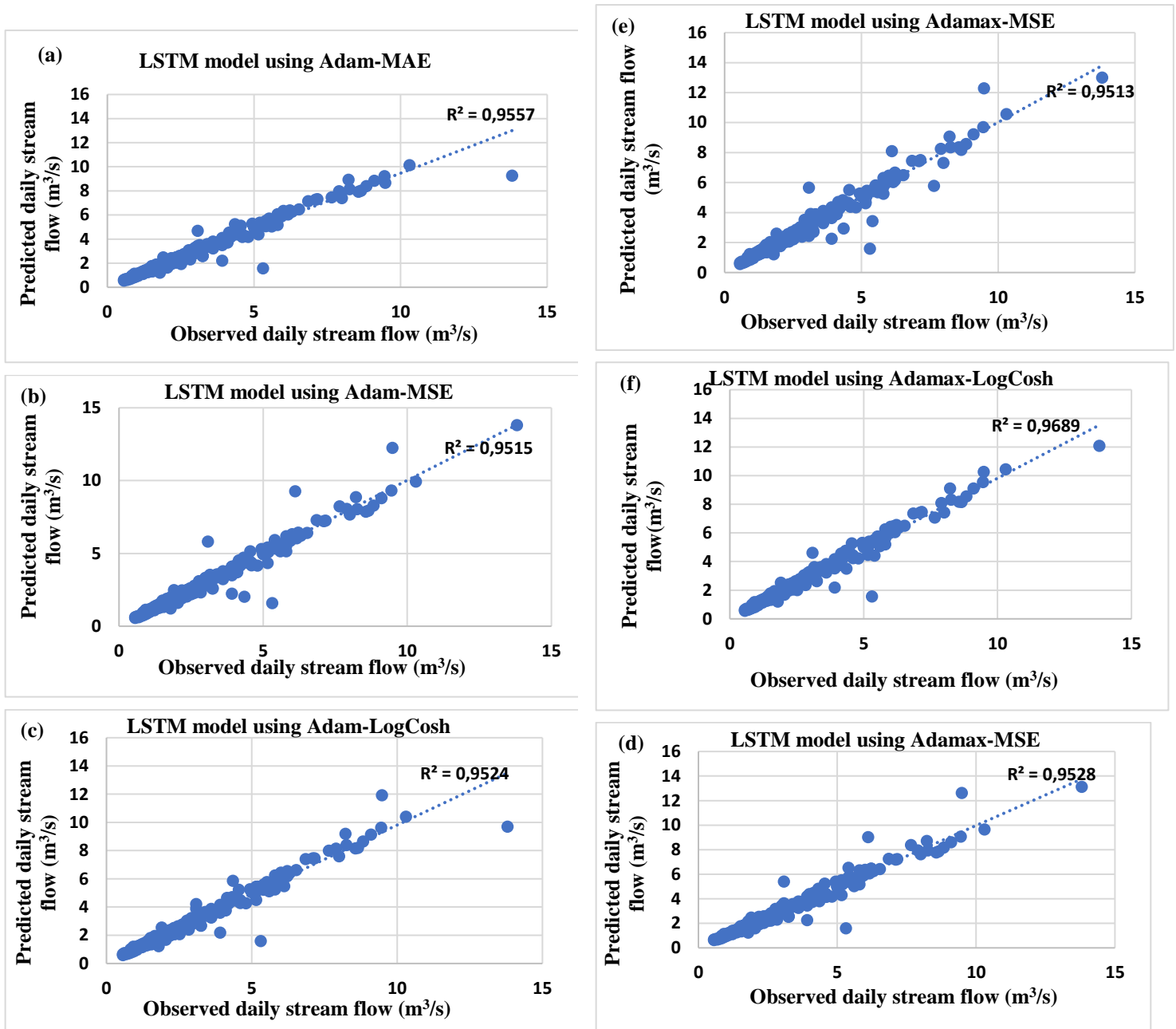


Figure 6. Fatopaşa FMS scatter plots model test results for LSTM

#### 4. Conclusions and Recommendations

It is essential to use reliable flow estimates when planning regulations and applications in flows. Traditional flow estimation methods can be insufficient to make effective estimates with the uncertainties of the system and the nonlinear properties of the system. When the GRU and LSTM models, which are among the artificial intelligence methods that give effective results in the studies they were used in, were examined, they were found to be suitable as a solution method.

This study viewed a method of a DL model based on GRU and LSTM were improved to estimate the streamflow of the Euphrates River. While the LSTM and GRU methods were tested with the training and test data in the study, it was modeled using all optimizers (Adadelata, Adagrad, FTRL, SGD, RMSprop, Nadam,

Adamax, Adam) and using loss functions appropriate for regression (MAE, MSE, LogCosh). The optimizers and loss functions below  $R^2$  value of 0.93 were ignored and were not included in the study. The results of the achieve of the GRU and LSTM models were evaluated by comparing the Adam and Adamax optimizers with  $R^2$  value of 0.94 and above according to other statistical evaluation criteria. According to the evaluation method, the GRU model shows better accuracy in the context of ownership of the time series of the streamflow. However, there is still room for improvement in the LSTM streamflow forecasting model. The models can be used as an effective tool for designating proper energy and water resource management strategies in the region.

## References

- Yavuz, D. Yavuz, N. (2021). Can agricultural drought be prevented or is it the inevitable end 3. *International African Conference on Current Studies*. <https://www.africansummit.org/> Abomey-Calavi, Benin. 417-426.
- Hasırıcı, O. S. (2021). Evaluation of Irrigation Water Quality of Groundwater Resources in Çumra District of Konya Province. Msc. Thesis, Selçuk University, Konya, Turkey.
- Kılınç, H.Ç. (2021). Prediction of River Flows using Deep Learning and the Effect of Flows on Railways Routes, *Journal of railway engineering*, no. 13, pp. 106-114.
- Khan, S., Yairi, T. A. (2018). Review on the application of deep learning in system health management. *Mech. Syst. Sig. Process.* 107, 241–265.
- Zhou, X., Tang, Z., Xu, W., Meng, F., Chu, X., Xin, K., Fu, G. (2019). Deep learning identifies accurate burst locations in water distribution networks, *Water Resources*, 166, 115058.
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory, *Neural Comput.*, vol. 9, no. 8, pp. 1–32.
- Gers, F.A., Schmidhuber, J., Cummins, F. (1999). Learning to forget: Continual prediction with LSTM, in *Proc. 9th Int. Conf. Artif. Neural Netw.*, pp. 850–855.
- Day, R., Salem, F. (2017). Gate-variants of Gated Recurrent Unit (GRU) neural networks. *2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Boston, USA.
- Wang, C., Du, W., Zhu, Z., Yue, Z. (2020). The real-time big data processing method based on LSTM or GRU for the smart job shop production process. *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 14, 1748302620962390.
- Zhao, R., Wang, D., Yan, R., Mao, K., Shen, F., Wang, J. (2018). Machine Health Monitoring Using Local Feature-Based Gated Recurrent Unit Networks, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 65, 1539–1548.
- Demir, V., Uğur Tona, A. (2021). Calculation of Base Current with the Help of Flow-Continuity Curve: Example of Samsun Kurtun River. *European Journal of Science and Technology*, (24), 502-507.
- Cebe, K. Bilhan, O. (2021). Steady Flow Analysis Using HEC-RAS Hydrodynamic Model: The Case of Nevşehir, Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (32), 135-141.
- Soyaslan, İ., İ., (2019). Determination of Water Budget by Groundwater Flow Modeling of Hoyran Basin. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1184-1197.
- Zhao, X.; Lv, H.; Wei, Y.; Lv, S.; Zhu, X. (2021). Streamflow Forecasting via Two Types of Predictive Structure-Based Gated Recurrent Unit Models. *Water* 2021, 13, 91.
- Apaydin, H., Feizi, H., Sattari, M.T., Colak, M.S., Shamshirband, S. Chau, K.-W. (2020). Comparative Analysis of Recurrent Neural Network Architectures for Reservoir Inflow Forecasting. *Water* 2020, 12, 1500.
- Nazimi, N. (2021). Monthly Streamflow Prediction of Euphrates Basin by Using Ffn, Anfis and Lstm Models) (Master's thesis, Erzincan Binali Yıldırım University).
- Yıldırım, A. (2006). 'Karakaya Dams and effects of naturel environment. Dicle University Journal of Ziya Gökalp Faculty of Education, 6, Diyarbakir.
- Özcan, O., Bookhagen, B., Musaoğlu, N. (2013). 'The Influence of Extreme Precipitation Events on Interannual Variation of the Hydrologic Components in The Euphrates Basin. *Aegean Geographical Journal*, 26(1), İzmir.
- Bilbay, T. (2014). Managerial and social problems and solutions related with using of water resources in Turkey: Example of Euphrates river (Master's thesis, Mustafa Kemal University).
- Fang, Z., Wang, Y., Peng, L., Hong, H. (2020). Predicting flood susceptibility using long short-term memory (LSTM) neural network model, *Journal of Hydrology*, 125734.



# A Comparison between IM and IPMSM with Same Stator Core for EV and Performance Analysis of IPMSM

Emin Tarik Kartal<sup>1</sup>, Fatma Keskin Arabul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-4966-7258), [etkartal@yildiz.edu.tr](mailto:etkartal@yildiz.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-9573-8440), [keskin@yildiz.edu.tr](mailto:keskin@yildiz.edu.tr)

(First received 24 April 2022 and in final form 15 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1108129)

**ATIF/REFERENCE:** Kartal, E.T. & Keskin Arabul, F. (2022). A Comparison between IM and IPMSM with Same Stator Core for EV and Performance Analysis of IPMSM. *European Journal of Science and Technology*, (38), 165-172.

## Abstract

Electric motors are widely used since they are more efficient and environmentally friendly compared to internal combustion engines. Studies in the fields of electric motors and battery management systems etc. used in electric vehicles are increasing day by day. In this study, the design of the electric motor used in electric vehicles and performance analyzes of the motor are made. Accordingly, firstly, an induction motor design is carried out by considering the design parameters of the induction motor used in Tesla Model S. Then, by taking the stator core of this induction motor as a reference, an interior permanent magnet synchronous motor design, which is very common and advantageous in electric vehicles, is designed. By considering the air gap, magnet angle, magnet thickness, magnet width and magnet type parameters of this motor, the results of analyzes are evaluated in terms of efficiency and torque ripple. As a result of analyzes, efficiency of the final design has been improved by 4.78% compared to the reference induction motor. In addition, the torque ripple of the final design has been improved by 55.17% compared to the initial design of the interior permanent magnet synchronous motor.

**Keywords:** Motor Design, Finite Element Method, Interior Permanent Magnet Synchronous Motor, Electrical Vehicle.

## Elektrikli Araçlar için Aynı Stator Gövdesine Sahip Asenkron Motor ile Gömülü Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Karşılaştırılması ve Performans Analizi

### Öz

Elektrik motorlarının, içten yanmalı motorlara kıyasla, daha verimli olmaları ve çevre dostu olmaları nedeniyle kullanımları yaygınlaşmıştır. Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları, batarya yönetim sistemleri vb. alanlarda çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada da elektrikli araçlarda kullanılacak elektrik motorunun tasarımı ve motorun performans analizleri yapılmıştır. Buna bağlı olarak, ilk önce Tesla Model S'de kullanılan asenkron motorun tasarım parametreleri göz önüne alınarak bir asenkron motor tasarımı yapılmıştır. Ardından, bu asenkron motorun stator gövdesi referans alınarak, elektrikli araçlarda kullanımı oldukça yaygın ve avantajlı olan gömülü sürekli mıknatıslı senkron motor tasarımı yapılmıştır. Bu motorun, hava aralığı, mıknatıs açısı, mıknatıs kalınlığı, mıknatıs genişliği ve mıknatıs tipi parametreleri ele alınarak verim ve tork dalgalılığı açısından analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, son tasarımın, referans asenkron motora göre verimi %4,78 oranında iyileştirilmiştir. Ayrıca elde edilen son tasarımın, ilk tasarımı yapılan gömülü sürekli mıknatıslı senkron motora göre tork dalgalılığı %55,17 oranında iyileştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Motor Tasarımı, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Gömülü Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor, Elektrikli Araç.

\* Corresponding Author: [keskin@yildiz.edu.tr](mailto:keskin@yildiz.edu.tr)

## 1. Introduction

Considering the concern that fossil fuels will run out and their negative effects on the environment, and the importance of transportation in human life, instead of vehicles with internal combustion engines (ICE) working with petroleum and derivative fuels, electric vehicles (EVs) working with electrical energy and being environmentally friendly have begun to be developed (Keskin, 2014).

As a propulsion system in vehicles, ICE has been widely used from past to present for a long time. Since the structures of ICEs are complex, their efficiency is low, but the structures of electric motors (EM) are simpler and their efficiency is higher than ICEs (Un-Noor et al., 2017). In addition to being simpler and more reliable than ICE vehicles, EVs are more advantageous in many aspects such as operating performance, noise and vibration, gear shifting, efficiency and driving pleasure (Gürbüz & Kulaksiz, 2016).

In recent years, EV studies and applications are increasing day by day in the world. Design of electric motors for EV applications is also a popular research topic. As can be seen in Figure 1, electric motors used in EV applications are basically classified as: direct current (DC) motors, induction motors (IMs), switched reluctance motors (SRMs) and permanent magnet synchronous motors (PMSMs) (De Klerk & Saha, 2021; Hashemnia & Asaei, 2008a; Lulhe & Date, 2016; Nugraha et al., 2021; Patil & Dhamal, 2019; Pindoriya et al., 2018; Ramesh & Lenin, 2019; Zhang et al., 2018).

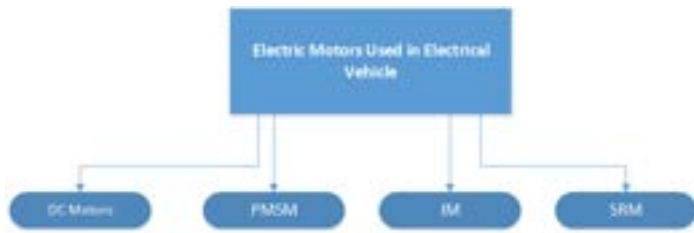


Figure 1. Electric motors used in EV

As a result of the researches, when the electric motors used in EVs are examined, PMSMs come to the fore. Since PMSMs have advantages such as high efficiency, high torque/power density ratio and power factor, low volume and weight, robust construction, high efficiency and reliability (Kurnaz Araz & Yilmaz, 2020).

PMSMs are alternating current motors in which magnets are used instead of windings in the rotor to create a magnetic field. The use of magnets is very advantageous for synchronous machines in terms of working principle, losses, maintenance requirement and design. When the previous studies on PMSMs are examined; It is seen that PMSMs are similar in structure to conventional DC motors, but unlike DC motors, permanent magnets are used instead of windings. Permanent magnet motors are divided into three according to their rotor shape as shown in Figure 2. These are spoke-type permanent magnet synchronous motor, interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM) and surface mounted permanent magnet synchronous motor (Ahn et al., 2020).

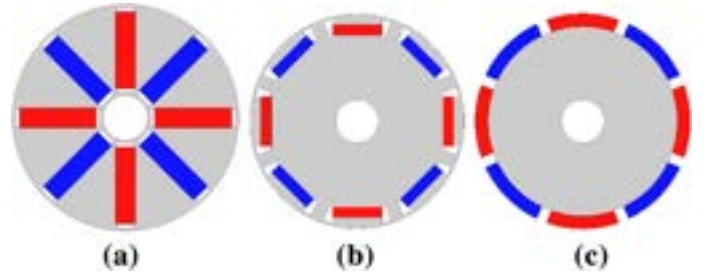


Figure 2. Permanent magnet motor types according to rotor shape a) Spoke type PMSM b) IPMSM c) Surface mounted PMSM (Ahn et al., 2020)

Spoke-type permanent magnet synchronous motors have disadvantages such as irreversible demagnetization and post-assembly magnetization of permanent magnets (Jeong et al., 2021; Seol et al., 2017). Surface mounted synchronous motors have the disadvantage that the magnets are subject to large centrifugal forces at high speeds. Therefore, the usage areas of these two types of motors are limited. In IPMSM, magnets are placed in slots made inside the rotor. Thus, in IPMSM type motors, since the magnets are embedded in the rotor, their resistance to centrifugal forces in high speed applications is very high (Xu et al., 2020b). In addition, their efficiency is higher than other magnet motors (Yang et al., 2015).

Today, IPMSMs are preferred in many electric vehicle applications (Cho et al., 2018; Choi & Bramerdorfer, 2022; Constantin et al., 2021; Xu et al., 2020a, 2021). However, in Tesla Model S, which was the best-selling electric vehicle of 2015 and 2016, induction motor was preferred (Thomas et al., 2020). In fact, although induction machines have several advantages such as robustness, easy maintenance or lower price, they have a lower power-to-weight ratio and are less efficient than PMSMs, which are more commonly used in the automotive industry (Hashemnia & Asaei, 2008b; Yang et al., 2015).

For this reason, in this study, IM design is made by considering the design parameters of the IM used in the Tesla Model S (Tang, 2012). Then, IPMSM design is made in the same stator core as the IM. Then, the effects of air gap,  $R_{rib}$  length, magnet thickness, magnet width and magnet material on the efficiency and torque ripple of IPMSM are investigated.

Following the introduction, Section 2 presents the topologies of reference IM and design parameter of IPMSM. Section 3 introduces model properties, results, and discussion of all various types of IPMSM models. Finally, the concluding remarks are presented in Section 4.

## 2. Methodology

In this study, transient analyses are carried out with the help of ANSYS Maxwell program. In this section, considering the geometrical properties of the stator and rotor core, IPMSM equations are presented.

$$P_{elc} = C \cdot D^2 \cdot L \cdot n_s \quad (1)$$

In Equation (1),  $P_{elc}$  is the input power,  $C$  is the utilization coefficient,  $D$  is the stator inner diameter,  $L$  is the rotor axial length and  $n_s$  is synchronous speed.

$$C = \frac{\pi^2}{\sqrt{2} \cdot 60} \cdot k_w \cdot A \cdot B_g \cdot 10^{-3} \left( \frac{kVA \cdot min}{m^3} \right) \quad (2)$$

In Equation (2),  $k_w$  is winding factor,  $A$  is circumferential current density and  $B_g$  is air gap flux density.  $A$  and  $B_g$  values can be selected with reference to well designed electrical machines with similar characteristics.

$$k_w = k_a \cdot k_d \quad (3)$$

According to the structure of the windings,  $k_d$  is winding distribution factor and  $k_a$  is winding pitch factor are calculated by using Equation 4 and Equation 5.

$$k_d = \frac{\sin\left(q \cdot \frac{\delta_{elc}}{2}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\delta_{elc}}{2}\right)} \quad (4)$$

$$k_a = \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (5)$$

In Equation (4) and (5)  $q$  is the number of slot per pole and phase,  $\delta_{elc}$  is the electrical angle between the slots in one pole and  $\beta$  is electrical degree of shortening pitch. Winding distribution and shorting of coil pitch is done to reduce harmonics and copper cost.

$$E = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot k_w \cdot w_a \cdot f \cdot \phi \quad (6)$$

$$\phi = \frac{2}{\pi} \cdot B_g \cdot \tau_p \quad (7)$$

In Equation (6)  $E$  is the induced phase voltage,  $w_a$  is the number of turns per phase,  $f$  is frequency,  $\phi$  is flux per pole. In Equation (7),  $\tau_p$  is pole division. By using these two equations, the number of turns per phase is obtained. The flux value per pole should be corrected according to the calculated number of turns per phase.

In Equation (8), motor efficiency is calculated as follows:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elc}} \quad (8)$$

where  $\eta$  is the efficiency;  $P_{mec}$  is the output power of the motor and  $P_{elc}$  is the input power of the motor.

$$\tau_{ripple} = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{\tau_{avg}} \quad (9)$$

In Equation (9), torque ripple ( $\tau_{ripple}$ ) in percent is presented which is defined as the ratio of difference between maximum ( $\tau_{max}$ ) and minimum torque ( $\tau_{min}$ ) values to average torque ( $\tau_{avg}$ ) (Keskin Arabul et al., 2020).

### 3. Results and Discussion

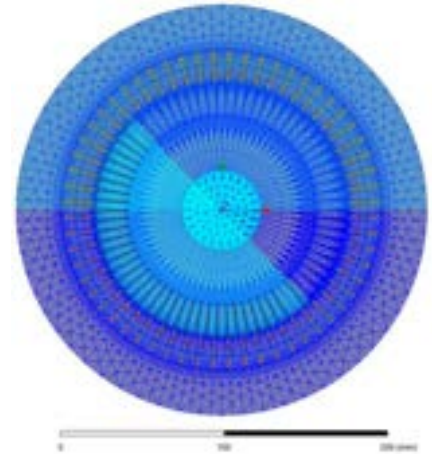
In this section, general design parameters of analyzed IPMSMs with reference IM are presented. In addition, many IPMSMs are designed to have the same stator core as the referenced IM. While making these designs, no changes are made on the stator. When using the same stator, air gap length, magnet angle, magnet thickness, magnet width and magnet material are changed.

#### 3.1. IM Model Details

This section presents the design parameters of the reference IM used in the EV (Tang, 2012). Analysis of motor is made using the ANSYS Maxwell program and the analysis is carried out in 2 dimensions (2D). The power of the IM is 225 kW and the torque is 430 Nm. In Table 1, design parameters of the IM obtained from ANSYS Maxwell 2D are shown. In addition, when the reference IM is modeled with the ANSYS Maxwell 2D, the mesh structure is shown in Figure 3(a) and the magnetic flux density distribution of the motor is shown in Figure 3(b).

Table 1. Design parameters of IM obtained from ANSYS Maxwell 2D

Parameter	Value
Pole Number	4
Stator core outer/inner diameter	254/156.8 mm
Rotor core outer/inner diameter	155.8/50 mm
Stack length	152 mm
Air gap length	0.5 mm
Stator/Rotor Slot Number	60/74
Efficiency	%93
Torque Ripple	%3.48



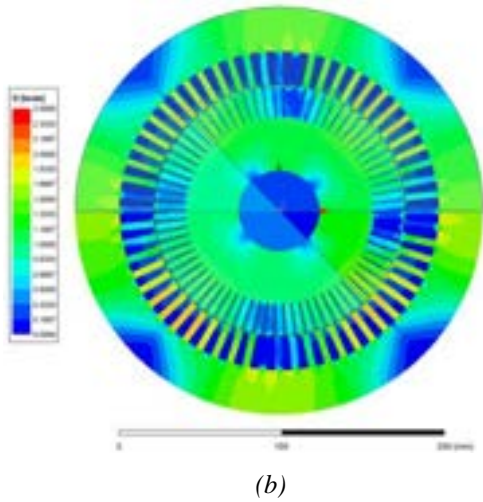


Figure 3. a) IM model b) Magnetic field density of IM

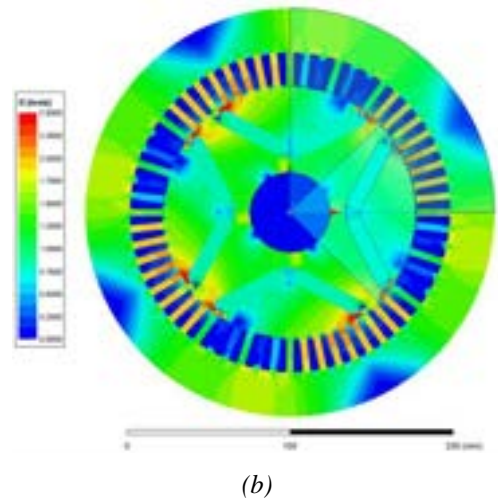


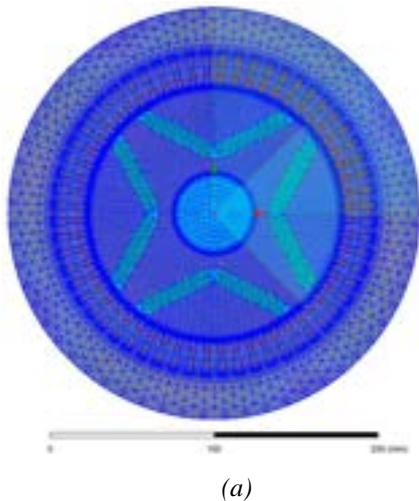
Figure 4. a) Initial IPMSM model b) Magnetic field density of initial IPMSM

### 3.2. Initial IPMSM Model Details

In this section, IPMSM model details are presented. IPMSM is designed to have the same stator core as the reference IM. ANSYS Maxwell 2D program is used to carry out the analysis. In Table 2, design parameters of the IPMSM obtained from ANSYS Maxwell 2D are shown. In Figure 4a, mesh structure and in Figure 4b, magnetic flux density distribution of IPMSM modeled in ANSYS Maxwell 2D are shown.

Table 2. Design parameters of IPMSM obtained from ANSYS Maxwell 2D

Parameter	Value
Pole Number	4
Stator core outer/inner diameter	254/156.8 mm
Rotor core outer/inner diameter	155.8/50 mm
Stack length	152 mm
Air gap length	0.5 mm
Stator Slot Number	60
Rotor Pole Type	V
Magnet Material	NdFeB N45
Efficiency	%97.74
Torque Ripple	%8.32



### 3.3. Analyzes of Air Gap Length

The air gap separating the rotor and stator greatly affects the performance of the IPMSM. It is known that even a very small air gap length has great effects on motor performances (Shokri et al., 2008).

In this section, the effects of air gap length on the efficiency and torque ripple of IPMSM are investigated. Therefore, the analyzes are made by increasing 0.1 mm from the minimum 0.5 mm air gap length to the maximum 1 mm air gap length. As a result of analyzes, the changes in motor efficiency and torque ripple with the change of air gap length are as shown in Figure 5.

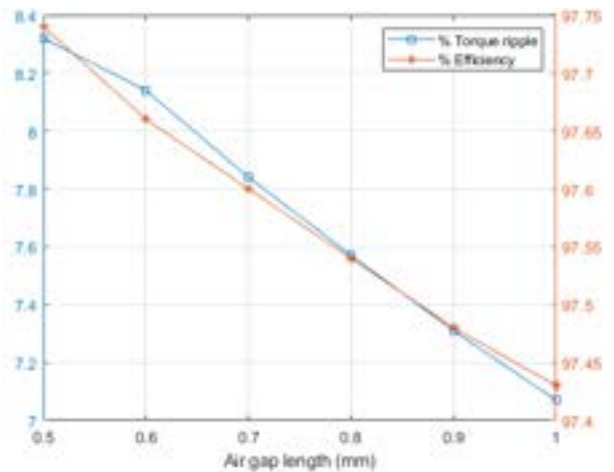


Figure 5. Effect of air gap length on motor efficiency and torque ripple

The air gap length for the motor selected as a reference is 0.5 mm. From the results of the analyzes performed by changing only the air gap length, 1 mm is chosen as the air gap to be used in the further analyzes for the motor. Although the efficiency of this model is lower than other analyzes results, it has minimum torque ripple. Thus, compared to the model with 0.5 mm air gap length, both ease of design is provided and 15.02% improvement is achieved in torque ripple. While the torque ripple is 8.32% in the model with 0.5 mm air gap, the torque ripple is measured as 7.07% as a result of the analysis performed for 1 mm air gap. There is an insignificant 0.3% decrease in efficiency is occurred.

In addition, it is seen in analyzes that the efficiency decreases as the air gap length increases.

### 3.4. Analyzes of $R_{rib}$ Length

As given in the design parameters, V type pole structure is preferred in this design and improvement study. In Figure 6, the main geometric structures of this pole are indicated.

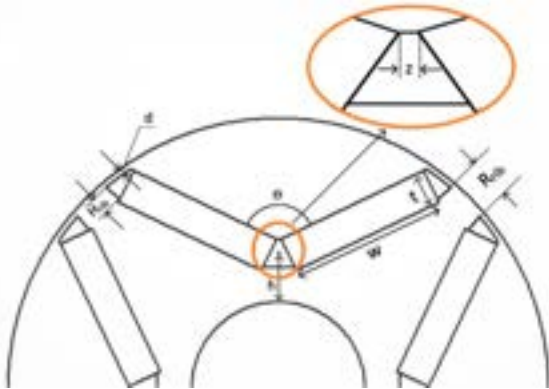


Figure 6. Geometric dimensions of IPMSM

In Figure 6,  $z$  is the distance of magnet pocket;  $d$  is the distance of magnet outer barrier to outer diameter of rotor;  $h$  is clearance from inner arc till point;  $\theta$  is the angle between magnets belonging to the same pole;  $t$  is the thickness of the magnet;  $w$  is width of the magnet;  $H_{rib}$  is the length of the magnet barriers parallel to each other;  $R_{rib}$  is the distance between the magnet barriers of consecutive poles.

In this section, with the  $z$ ,  $h$  and  $H_{rib}$  specified in the rotor geometry presented in Figure 6, the magnet thickness and width remain constant,  $R_{rib}$  changes, and accordingly, both the distance and angle values between the two magnets take different values.  $R_{rib}$  length between the two magnets, which is 15 mm in the initial IPMSM design, is simulated in this study to be a minimum of 5 mm and a maximum of 17 mm in increments of 1 mm. The efficiency and torque ripple-dependent performance analyzes of 13 different models simulated in this way are as shown in Figure 7.

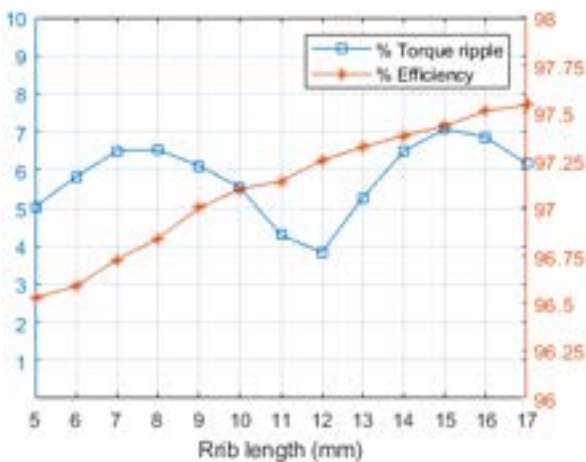


Figure 7. Effect of  $R_{rib}$  length on motor efficiency and torque ripple

As seen in Figure 7, among these designs, the model with the  $R_{rib}$  length of 12 has a minimum torque ripple. Torque ripple is 3.84% in this model. This model has a 53.85% improvement in torque ripple and a 0.5% decrease in efficiency compared to the initial IPMSM design. According to the model selected in Section 3.3, 45.69% improvement is achieved in torque ripple, while there is a 0.18% decrease in efficiency. For this reason, the  $R_{rib}$  length is chosen as 12 mm for the analysis studies in the next sections. In addition, as a result of analyzes, it is observed that the efficiency increased as the  $R_{rib}$  length increased.

### 3.5. Analyzes of Magnet Thickness

After the torque ripple improvement studies for air gap and  $R_{rib}$  length parameters, in this section, the effects of magnet thickness on torque ripple and efficiency are examined.

The magnet thickness of the model selected in Section 3.4 is 10 mm. In Figure 8, efficiency and torque ripple performances of 9 different models, including the model selected in Section 3.4, are presented depending on the magnet thickness.

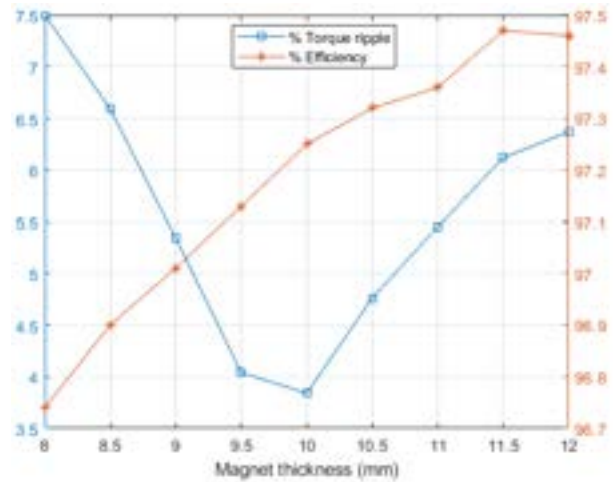


Figure 8. Effect of magnet thickness on motor efficiency and torque ripple

As seen in Figure 8, the magnet thickness is examined in 0.5 mm increments between 8 mm and 12 mm, taking into account the rotor geometry. As a result of analyzes, it is seen that the magnet thickness of 10 mm is the most suitable for torque ripple.

### 3.6. Analyzes of Magnet Width

Another parameter that is important for torque ripple and efficiency within the rotor geometry is the magnet width. After determining that the magnet thickness in the initial IPMSM design has minimum torque ripple in the previous section, this section examines the effects of magnet width on torque ripple and efficiency.

$d$  is the distance of magnet outer barrier to outer diameter of rotor, shown in Figure 6, is kept constant at 2 mm and the magnet width is determined as a minimum of 43 mm and a maximum of 46 mm, considering the rotor geometry in analyzes. Thus, torque ripples and efficiencies of 7 different models, depending on magnet width, are presented in Figure 9.



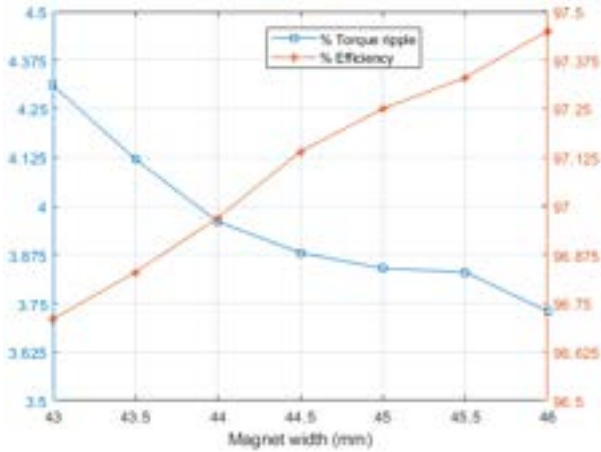


Figure 9. Effect of magnet width on motor efficiency and torque ripple

In analyzes for magnet width in 0.5 mm increments from Figure 9, it is seen that the torque ripple of 46 mm magnet width is minimum. The torque ripple of this model is 3.73%. The torque ripple of this model has been improved by 55.17% compared to the initial IPMSM design. In addition, a 2.9% improvement is achieved in torque ripple compared to the model selected in the previous section. The efficiency of this model is 97.45%, and it has the highest efficiency value in analyzes for magnet width. This efficiency value is 0.3% less compared to the initial IPMSM design. Furthermore, according to the results of analyzes made in this section, the efficiency increases as the magnet width increases.

### 3.7. Analyzes of Magnet Materials

In this section, the effects of different magnet materials on motor performance are examined. The types of magnets used in analyzes are those that can be easily procured in the supply chain. These magnet types are used in applications that require high performance such as many motors, generators, actuators, sensors and driver systems, especially IPMSM motors. These are 35E-Samarium Cobalt, AlNiCo-6-Sintered, AlNiCo-6-Cast, AlNiCo-9 and NdFeb-N45 which is used in the initial design. Ferrite magnets are another type of magnet used in IPMSMs. However, the motors used in electric vehicles are expected to have high power and torque density with low volume and weight. Considering this situation; ferrite magnets are not preferred in this study due to the low permanent flux density in ferrite magnets and the need for more volume to produce the same flux in the same air gap compared to other magnets. Instead, AlNiCo is preferred along with NdFeB and SmCo, which are rare earth magnets with higher energy densities, in analyzes. Figure 10 shows the graphs of torque ripples and efficiencies depending on the magnet types of the model selected in section 3.6.

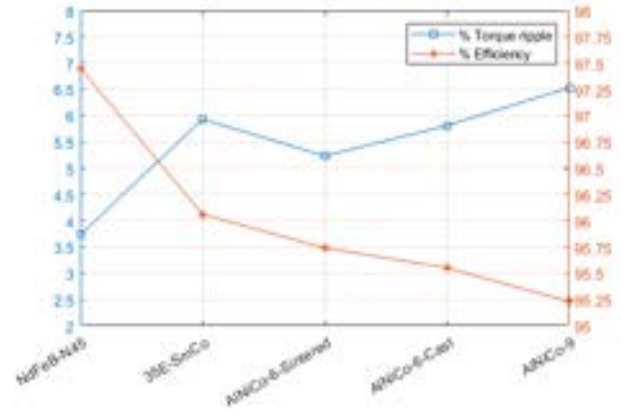


Figure 10. Effect of magnet materials on motor efficiency and torque ripple

As can be seen from Figure 10, NdFeB, the rare earth element magnet with the highest energy density, has the best performance in terms of torque ripple and efficiency. When compared in terms of efficiency, NdFeB is followed by SmCo, which has lower energy density but better heat resistance. The use of high-energy permanent magnets such as SmCo or NdFeB in IPMSMs keeps the air gap induction higher than the wound rotor motors and eliminates copper losses in the rotor windings, resulting in higher efficiency than a synchronous motor of the same power. In addition, the motor dimensions are considerably smaller (Texas Instruments, 1997). The energy density of other AlNiCo types used in analyzes is lower than rare earth magnets. As can be seen in Figure 10, AlNiCo series magnets have the lowest performance among the magnets used in terms of both efficiency and torque ripple. As a result of analyzes made, in this study, NdFeB is preferred as the magnet material in final design IPMSM.

### 4. Conclusion

In this study, design, analyzes and improvement studies of IPMSM for electric vehicles are carried out. Firstly, the IM used in the S60 model, which entered the automotive industry effectively with Tesla brand and achieved good sales, is modeled and analyzed. As a result of the analysis, the efficiency of the IM is 93% and the torque ripple is 3.48%. Secondly, IPMSM design is made with reference to the stator core of this IM. It is seen that the efficiency and the torque ripple of the initial designed IPMSM is higher than the IM. For this reason, it is aimed to reduce the torque ripple of IPMSM, which has higher efficiency than IM, depending on the design parameters. Performance comparisons and improvement studies are carried out on parameters that have important effects on efficiency and torque ripple, such as air gap, Rib length, magnet thickness, magnet width and magnet type. As a result of the analyzes; depending on the change of these parameters, an IPMSM model with 97.45% efficiency and 3.73% torque ripple is obtained. In addition, the efficiency of IPMSM which has the same stator core with IM is higher than efficiency of IM. In conclusion, the torque ripple of final designed IPMSM has been improved by 55.17% compared to the initial IPMSM design and catches up torque ripple value of IM. In future studies, motor control techniques will be applied and simulation studies will be carried out by creating a mathematical model of the motor.

## References

- Ahn, H., Park, H., Kim, C., & Lee, H. (2020). A Review of State-of-the-art Techniques for PMSM Parameter Identification. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 15(3), 1177–1187. <https://doi.org/10.1007/S42835-020-00398-6/TABLES/1>
- Cho, S. K., Jung, K. H., & Choi, J. Y. (2018). Design Optimization of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Compressors of Air-Conditioning Systems Mounted on EVs and HEVs. *IEEE Transactions on Magnetics*, 54(11). <https://doi.org/10.1109/TMAG.2018.2849078>
- Choi, G., & Bramerdorfer, G. (2022). Comprehensive Design and Analysis of an Interior Permanent Magnet Synchronous Machine for Light-Duty Passenger EVs. *IEEE Access*, 10, 819–831. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137897>
- Constantin, A. I., Dumitru, C., Tudor, E., Vasile, I., & Arsene, M. (2021, May). Studies related to the optimization of an interior permanent magnet synchronous machine designed for the electric vehicles. *2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE 2021 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICATE49685.2021.9465051>
- De Klerk, M. L., & Saha, A. K. (2021). A Comprehensive Review of Advanced Traction Motor Control Techniques Suitable for Electric Vehicle Applications. *IEEE Access*, 9, 125080–125108. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110736>
- Gürbüz, Y., & Kulaksız, A. A. (2016). Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 117–125. <https://doi.org/10.17714/GUFBED.2016.06.011>
- Hashemnia, N., & Asaei, B. (2008a, September). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, ICEM'08*. <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2008.4800157>
- Hashemnia, N., & Asaei, B. (2008b). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, ICEM'08*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2008.4800157>
- Jeong, M.-J., Lee, K.-B., Pyo, H.-J., Nam, D.-W., Kim, W.-H., Jeong, M.-J., Lee, K.-B., Pyo, H.-J., Nam, D.-W., & Kim, W.-H. A. (2021). A Study on the Shape of the Rotor to Improve the Performance of the Spoke-Type Permanent Magnet Synchronous Motor. *Energies*, 14(13), 3758. <https://doi.org/10.3390/EN14133758>
- Keskin Arabal, F., Senol, I., & Oner, Y. (2020). Performance Analysis of Axial-Flux Induction Motor with Skewed Rotor. *Energies*, 13(19), 4991. <https://doi.org/10.3390/EN13194991>
- Keskin, F. (2014). *Yakut pilli-bataryalı hibrid bir elektrikli araçta enerji yönetiminin sağlanması*. Yıldız Technical University.
- Kurnaz Araz, H., & Yilmaz, M. (2020). Elektrikli araçlar için mıknatıs oranı ve moment titreşimi azaltılmış yüksek verimli sürekli mıknatıslı senkron motor tasarım süreci ve gerçekleştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 1089–1109.
- Lulhe, A. M., & Date, T. N. (2016). A technology review paper for drives used in electrical vehicle (EV) & hybrid electrical vehicles (HEV). *2015 International Conference on Control Instrumentation Communication and Computational Technologies, ICCICCT 2015*, 632–636. <https://doi.org/10.1109/ICCICCT.2015.7475355>
- Nugraha, Y. U., Asfani, D. A., Yulistya Negara, I. M., Aziz, M., & Yuniarto, M. N. (2021). Technology Review of Electric Motor for Hybrid-Electric Vehicle. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2021-December*, 777–781. <https://doi.org/10.1109/TENCON54134.2021.9707371>
- Patil, M. S., & Dhamal, S. S. (2019). A Detailed Motor Selection for Electric Vehicle Traction System. *Proceedings of the 3rd International Conference on I-SMAC IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2019*, 679–684. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC47947.2019.9032616>
- Pindoriya, R. M., Rajpurohit, B. S., Kumar, R., & Srivastava, K. N. (2018). Comparative analysis of permanent magnet motors and switched reluctance motors capabilities for electric and hybrid electric vehicles. *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference, ETechNxt 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ETECHNXT.2018.8385282>
- Ramesh, P., & Lenin, N. C. (2019). High Power Density Electrical Machines for Electric Vehicles-Comprehensive Review Based on Material Technology. *IEEE Transactions on Magnetics*, 55(11). <https://doi.org/10.1109/TMAG.2019.2929145>
- Seol, H. S., Jeong, T. C., Jun, H. W., Lee, J., & Kang, D. W. (2017). Design of 3-Times Magnetizer and Rotor of Spoke-Type PMSM Considering Post-Assembly Magnetization. *IEEE Transactions on Magnetics*, 53(11), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2017.2707593>
- Shokri, S., Ardebili, M., & Izadfar, H. R. (2008). Air gap length evaluation in interior permanent magnet synchronous motor. *European Journal of Scientific Research*, 19(4), 691–699.
- Tang, Y. (2012). *Induction motor lamination design* (Patent No. US8154167B2). United States Patent. <https://patents.google.com/patent/US8154167>
- Texas Instruments. (1997). *Digital Signal Processing Solution for Permanent Magnet Synchronous Motor*.
- Thomas, R., Garbuio, L., Gerbaud, L., & Chazal, H. (2020). Modeling and design analysis of the Tesla Model S induction motor. *Proceedings - 2020 International Conference on Electrical Machines, ICEM 2020*, 495–501. <https://doi.org/10.1109/ICEM49940.2020.9270646>
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies*, 10(8), 1217. <https://doi.org/10.3390/EN10081217>

- Xu, Y., Ai, M., Xu, Z., Liu, W., & Wang, Y. (2020a, October). Analysis of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Used for Electric Vehicles Based on Power Matching and Driving Conditions. *2020 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, ASEMD 2020*. <https://doi.org/10.1109/ASEMD49065.2020.9276276>
- Xu, Y., Ai, M., Xu, Z., Liu, W., & Wang, Y. (2020b, October 16). Analysis of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Used for Electric Vehicles Based on Power Matching and Driving Conditions. *2020 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, ASEMD 2020*. <https://doi.org/10.1109/ASEMD49065.2020.9276276>
- Xu, Y., Ai, M., Xu, Z., Liu, W., & Wang, Y. (2021). Research on Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Performance Matching of Electric Bus. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, *31*(8). <https://doi.org/10.1109/TASC.2021.3091062>
- Yang, Z., Shang, F., Brown, I. P., & Krishnamurthy, M. (2015). Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *1*(3), 245–254. <https://doi.org/10.1109/TTE.2015.2470092>
- Zhang, X., Zeng, L., & Pei, R. (2018). Designing and Comparison of Permanent Magnet Synchronous Reluctance Motors and Conventional Motors in Electric Vehicles. *ICEMS 2018 - 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems*, 202–205. <https://doi.org/10.23919/ICEMS.2018.8549102>



# Non-topological Soliton Solution of (2+1)-dimensional Complex Three Coupled Nonlinear Maccari's Model via Modified New Kudryashov Scheme

Muslum Ozisik<sup>1</sup>, Ramazan Tekercioglu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6143-5380), [ozisik@yildiz.edu.tr](mailto:ozisik@yildiz.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2899-7386), [ramazan@yildiz.edu.tr](mailto:ramazan@yildiz.edu.tr)

(First received 25 April 2022 and in final form 15 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1108958)

**ATIF/REFERENCE:** Ozisik M., Tekercioglu R., (2022). Non-topological soliton solution of (2+1)-dimensional complex three coupled nonlinear Maccari's model via modified new Kudryashov scheme. *European Journal of Science and Technology*, (38), 173-178.

## Abstract

This paper, deals with the (2+1)-dimensional complex three coupled nonlinear Maccari's model (3-CCME) by utilizing recently presented modified new Kudryashov method (mNKM). The focus of this article is to obtain non-topological soliton solution of 3-CCME by applying mKNM method, which has not been applied before to the investigated problem. Applying the proposed method successfully, besides the non-topological soliton solution of the investigated problem, the breather-like type soliton solution was also obtained and the obtained results are depicted by the 3D, 2D and contour graphical presentations.

**Keywords:** Complex three coupled nonlinear Maccari's model; Modified new Kudryashov scheme; Soliton solution.

## (2+1)-boyutlu Kompleks Lineer Olmayan Üç Bağlı Maccari Modelinin Modifiye Edilmiş Yeni Kudryashov Yöntemi ile Topolojik Olmayan Soliton Çözümü

## Öz

Bu makale, yakın zamanda sunulan modifiye edilmiş yeni Kudryashov yöntemini (mNKM) kullanarak (2+1)-boyutlu kompleks lineer olmayan üç bağlı Maccari modelini (3-CCME) ele almaktadır. Bu makalenin amacı, araştırılan probleme daha önce uygulanmamış olan mKNM yöntemini uygulayarak 3-CCME probleminin topolojik olmayan soliton çözümünü elde etmektir. Önerilen yöntem başarılı bir şekilde uygulanarak, incelenen problemin topolojik olmayan soliton çözümünün yanı sıra, breather benzeri türünde soliton çözümü de elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar 3D, 2D ve kontur grafik sunumları ile gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompleks lineer olmayan üç bağlı Maccari modeli; Modifiye edilmiş yeni Kudryashov yöntemi; Soliton çözümü.

\* Corresponding Author: [ramazan@yildiz.edu.tr](mailto:ramazan@yildiz.edu.tr)

### 1. Introduction

In the last quarter century, especially depending on the developments in electronics, computers and software, many symbolic software algorithms and packages have been developed. With the effective use of these, many researchers have introduced plethora of algorithms and methods for differential equations, nonlinear partial differential equations and nonlinear fractional differential equations. Some methods are, generalized tanh function [1], modified simple equation [2], auxiliary equation [3], a new Riccati equation rational expansion [4], variable separated ODE [5], enhanced modified tanh expansion [6], generalized Kudryashov [7], extended Kudryashov [8], Jacobi elliptical function [9], extended sinh-Gordon equation expansion [10], and many more. Moreover, these research and developments have also led to the emergence of some special and important new fields of study. Such as optics, optical soliton dynamics in fiber, optoelectronics etc [11-17].

The (2+1)-dimensional complex three-coupled nonlinear Maccari’s model reads [18-20]:

$$\begin{cases} iU_t + U_{xx} + UR = 0, & (1.1) \\ iV_t + V_{xx} + VR = 0, & (1.2) \\ iW_t + W_{xx} + WR = 0, & (1.3) \\ R_t + R_y + (|U + V + W|^2)_x = 0. & (1.4) \end{cases}$$

In eq. (1)  $U(x, y, t), V(x, y, t), W(x, y, t)$  stand for complex,  $R(x, y, t)$  represents the real scalar fields, respectively.  $i$  is complex unit ( $i^2 = -1$ ),  $x, y$  are the independent space variables and  $t$  denotes the time. Eq. (1) is the simple form of the two-dimensional KdV equation and it is an important equation used to describe isolated wave motion concentrated in a small region of space and is widely used in many fields such as hydrodynamics, optics, plasma, and quantum physics and so on. Moreover, eq. (1) is a type of nonlinear Schrödinger equation (NLSE), so it has been used by researchers and many solutions have been derived with different methods [18-23].

In this study, different from the literature, it is aimed to obtain the exact soliton solution by using the recently presented modified new Kudryashov scheme [24-26].

The study covers the following parts: Mathematical analysis and nonlinear ordinary differential equation (NLODE) form of the 3-CCME obtained in section 2. In section 3, the simple new Kudryashov scheme and implementation to the 3-CCME is presented. In section 4, the obtained solutions and some graphics are presented. In section 5 which is the last part, some concluding remarks are given.

### 2. NLODE Form and Constraint Equation of 3-CCME:

To get the soliton solutions of 3-CCME in eq. (1), we construct the complex wave transformations as follow:

$$\begin{cases} U = U(x, y, t) = e^{i\theta} u(x, y, t) = e^{i\theta} u(\xi), \\ V = V(x, y, t) = e^{i\theta} v(x, y, t) = e^{i\theta} v(\xi), \\ W = W(x, y, t) = e^{i\theta} w(x, y, t) = e^{i\theta} w(\xi), \\ R = R(x, y, t) = R(\xi), \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \alpha x + \beta y + r t, \quad \xi = x + y + \omega t, \quad (3)$$

in which  $\alpha, \beta, r, \omega$  are the arbitrary real values to be calculated. Considering the eqs. (1), (2) and (3) together, we derive:

$$u'' + i(2\alpha + \omega)u' - (r + \alpha^2)u + uR = 0, \quad (4.1)$$

$$v'' + i(2\alpha + \omega)v' - (r + \alpha^2)v + vR = 0, \quad (4.2)$$

$$w'' + i(2\alpha + \omega)w' - (r + \alpha^2)w + wR = 0, \quad (4.3)$$

$$(\omega + I)R' + 2(u + v + w)(u' + v' + w') = 0. \quad (4.4)$$

In eq. (4) superscript ' shows the  $d/d\xi$ . Integrate the eq. (4.4) once and take into account the integration constant zero, the result is,

$$R = -\frac{(u + v + w)^2}{\omega + 1}. \quad (5)$$

Plugging the eq. (5) into eqs. (4.1) -(4.3) we derive,

$$u'' + i(2\alpha + \omega)u' - (r + \alpha^2)u - u\frac{(u + v + w)^2}{\omega + 1} = 0, \quad (6.1)$$

$$v'' + i(2\alpha + \omega)v' - (r + \alpha^2)v - v\frac{(u + v + w)^2}{\omega + 1} = 0, \quad (6.2)$$

$$w'' + i(2\alpha + \omega)w' - (r + \alpha^2)w - w\frac{(u + v + w)^2}{\omega + 1} = 0. \quad (6.3)$$

To obtain the soliton solution of eq. (6), we accept the following simple definitions:

$$v = \mu_1 u, \quad w = \mu_2 u, \quad (7)$$

where  $\mu_1$  and  $\mu_2$  are non-zero arbitrary values. Combination of the eqs. (5), (6) and (7), gives:

$$R = -\frac{(1 + \mu_1 + \mu_2)^2 u^2}{\omega + 1}, \quad (8)$$

$$u'' + i(2\alpha + \omega)u' - (r + \alpha^2)u - \frac{(1 + \mu_1 + \mu_2)^2}{\omega + 1} u^3 = 0 \quad (9.1)$$

$$v'' + i(2\alpha + \omega)v' - (r + \alpha^2)v - \frac{(1 + \mu_1 + \mu_2)^2}{(\mu_1 \mu_2)^2 (\omega + 1)} v^3 = 0 \quad (9.2)$$

$$w'' + i(2\alpha + \omega)w' - (r + \alpha^2)w - \frac{(1 + \mu_1 + \mu_2)^2}{(\mu_1 \mu_2)^2 (\omega + 1)} w^3 = 0 \quad (9.3)$$

Let us consider eq. (9.1) and equate its real and imaginary parts separately to zero,

$$2\alpha + \omega = 0 \tag{10}$$

$$u'' - (\alpha^2 + r)u - \frac{(1 + \mu_1 + \mu_2)^2}{\omega + 1} u^3 = 0 \tag{11}$$

Eq. (10) yields

$$\omega = -2\alpha, \tag{12}$$

and eq. (11) is the NLODE form of the eq. (1) under the following structure:

$$(\omega + 1)(\alpha^2 + r)u(\xi) + (1 + \mu_1 + \mu_2)^2 (u(\xi))^3 - (\omega + 1)u''(\xi) = 0 \tag{13}$$

### 3. The Proposed Simple mNKM and Implementation to 3-CCME

To get the non-topological soliton solution of eq. (1), we propose the solution in the following truncated series form:

$$u(\xi) = \sum_{i=0}^k A_i \Omega^i(\xi) \quad , \quad A_k \neq 0, \tag{14}$$

where  $A_0, \dots, A_k$  unknown real values,  $k$  is the positive integer balancing constant which is to be obtained by using the balancing rule in eq. (13). If we apply the balancing rule between the terms  $u''(\xi)$ ,  $(u(\xi))^3$  in eq. (13), results,  $k=1$ . So, eq. (14) turns into following form:

$$u(\xi) = A_0 + A_1 \Omega(\xi) \quad , \quad A_1 \neq 0, \tag{15}$$

where  $\Omega(\xi)$  satisfies the following differential equation,

$$\left( \frac{d\Omega(\xi)}{d\xi} \right)^2 = \sqrt{\ln(H)^2 \Omega(\xi)^2 (1 - \lambda \Omega(\xi)^2)} \quad , \tag{16}$$

$0 < H \neq 1.$

The eq. (16) has the solution,

$$\Omega(\xi) = \frac{2L}{L^2 H^\xi + \lambda H^{-\xi}}, \tag{17}$$

where  $\lambda, L$  are non-zero arbitrary real values. Inserting the eqs. (15) and (16) into eq. (13), we derive the polynomial form in power of  $\Omega(\xi)$ . Considering the all coefficients of the  $\Omega^i(\xi)$ , ( $i=0,1,2,3$ ) as zero we achieve the following algebraic system:

$$\begin{aligned} \Omega^0(\xi) &= -A_0 \left( -(1 + \mu_1 + \mu_2)^2 A_0^2 + (\alpha^2 + r)(2\alpha - 1) \right) = 0, \\ \Omega^1(\xi) &= -A_1 \left( (-2\alpha + 1)(\ln(H))^2 - 3(1 + \mu_1 + \mu_2)^2 A_0^2 + (\alpha^2 + r)(2\alpha - 1) \right) = 0, \end{aligned}$$

$$\Omega^2(\xi) = 3A_0 A_1^2 (1 + \mu_1 + \mu_2)^2 = 0, \tag{18}$$

$$\Omega^3(\xi) = -\left( 2\lambda(2\alpha - 1)(\ln(H))^2 - A_1^2 (1 + \mu_1 + \mu_2)^2 \right) A_1 = 0.$$

Eq. (18) produces the following possible solution sets,

$$Set_1 = \{r = (\ln(H))^2 - \alpha^2, \lambda = \frac{A_1^2 ((\mu_1 + \mu_2)^2 + 2\mu_1 + 2\mu_2 + 1)}{2(\ln(H))^2 (2\alpha - 1)}, A_0 = 0, A_1 = A_1\},$$

$$Set_{2,3} = \left\{ \alpha = \sqrt{(\ln(H))^2 - r}, A_0 = 0, A_1 = \mp \frac{\ln(H) \sqrt{-2\lambda + 4\sqrt{\lambda^2 (\ln(H))^2 - \lambda^2 r}}}{1 + \mu_1 + \mu_2} \right\}, \tag{19}$$

$$Set_{4,5} = \left\{ \alpha = -\sqrt{(\ln(H))^2 - r}, A_0 = 0, A_1 = \mp \frac{\ln(H) \sqrt{-2\lambda - 4\sqrt{\lambda^2 (\ln(H))^2 - \lambda^2 r}}}{1 + \mu_1 + \mu_2} \right\},$$

$$Set_{6,7} = \left\{ r = (\ln(H))^2 - \alpha^2, A_0 = 0, A_1 = \mp \frac{\ln(H) \sqrt{\lambda(4\alpha - 2)}}{1 + \mu_1 + \mu_2} \right\}.$$

If we substitute the  $Set_i$  into eq. (15) by combine the eqs. (2), (3), (8) and (12) together, result is the soliton solution of eq. (1) as follows:

$$U(x, y, t) = \frac{2A_1 Le^{i(\alpha x + \beta y + ((\ln(H))^2 - \alpha^2)t)}}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta}, \tag{20}$$

$$V(x, y, t) = \mu_1 \frac{2A_1 Le^{i(\alpha x + \beta y + ((\ln(H))^2 - \alpha^2)t)}}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta}, \tag{21}$$

$$W(x, y, t) = \mu_2 \frac{2A_1 Le^{i(\alpha x + \beta y + ((\ln(H))^2 - \alpha^2)t)}}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta}, \tag{22}$$

$$\begin{aligned} R(x, y, t) &= -\frac{4A_1^2 L^2}{1 - 2\alpha} \left( \frac{1}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta} + \right. \\ &\quad \left. + \mu_1 \frac{1}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta} + \mu_2 \frac{1}{L^2 H^{x+y-2\alpha t} + \Theta} \right)^2. \end{aligned} \tag{23}$$

where

$$\Theta = \frac{A_1^2 ((\mu_1 + \mu_2)^2 + 2\mu_1 + 2\mu_2 + 1) H^{2\alpha t - x - y}}{2(\ln(H))^2 (2\alpha - 1)}, \alpha \neq \frac{1}{2}.$$

**Remark:** One can get the other soliton solution functions easily by substituting the  $Set_i$  ( $i=2, \dots, 7$ ) into eq. (15) by combining the eqs. (2), (3), (8) and (12) together. Therefore, in order not to take up too much volume in the article, only the function for  $Set_1$  is given and a graphically presented. Besides, the functions obtained by using other solution sets will also give the same type of soliton solution.

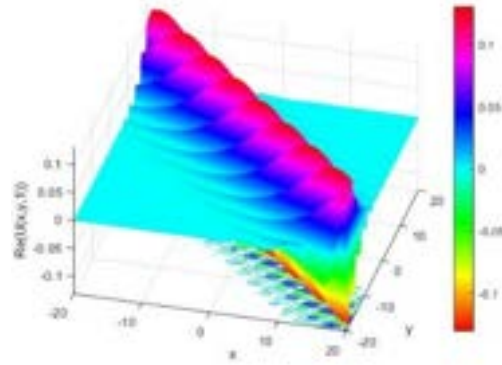
### 4. Results and Discussion

Let us consider the eqs. (20), (21), (22) and (23) for presenting the some graphical representations.

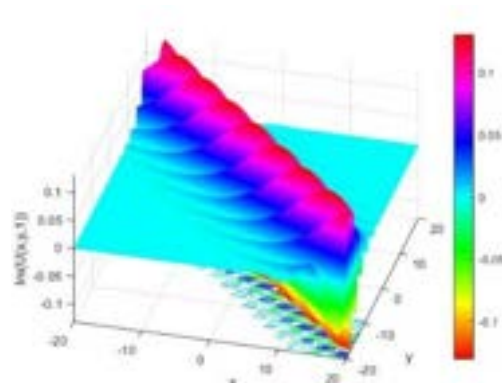
In fig. 1, we depict various plots of investigated problem. Fig. 1-a represents 3D  $|U(x, y, t)|$ , fig. 1-b 3D  $Re(U(x, y, t))$ , fig. 1-c 3D  $Im(U(x, y, t))$ , fig. 1-d contour  $|U(x, y, t)|$ , fig. 1-e contour  $Re(U(x, y, t))$ , fig. 1-f contour  $Im(U(x, y, t))$ , fig. 1-g 2D  $|U(x, y, t)|$ , fig. 1-h 2D  $Re(U(x, y, t))$  and fig. 1-i 2D  $Im(U(x, y, t))$  components of  $U(x, y, t)$  in eq. (20), respectively. It is selected  $Set_1$  and  $H = 0.75, A_1 = 1.2, \mu_1 = 0.5, \mu_2 = 0.7, \alpha = 0.75, \beta = 2$ . The fig. 1-a, 1-d and 1-g represent non-topological soliton solution of  $U(x, y, t)$  in eq. (20). The other sub-graphics of fig. 1 demonstrate the breather-like soliton. Moreover, figs. 1-g, 1-h and 1-i indicate the traveling wave property of  $U(x, y, t)$  for  $t = 1, 2$  and  $3$ .

**Remark:** Since it is defined as  $v = \mu_1 u, w = \mu_2 u$ , in eq. (7), the graphs of  $V(x, y, t)$  and  $W(x, y, t)$  will have the same shape as the multiplication of  $\mu_1$  and  $\mu_2$ , respectively, for the amplitudes of the graphs given by fig. 1. But since they will have the same form, they have not been plotted separately.

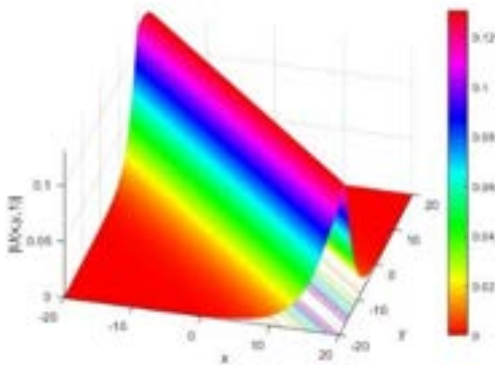
Fig. 2 shows the wave dynamic of the  $R(x, y, t)$  solution in eq. (23) for  $H = 0.75, A_1 = 1.2, \mu_1 = 0.5, \mu_2 = 0.7, \alpha = 0.75, \beta = 2$  and  $Set_1$ . Fig. 2-a for 3D, fig. 2-b for contour and fig. 2-c for 2D view of  $R(x, y, t)$ . The fig. 2 depicts non-topological soliton solution of  $R(x, y, t)$  in eq. (23). Also, we can see the traveling wave property of  $R(x, y, t)$  for  $t = 1, 2$  and  $3$  in fig. 2-c.



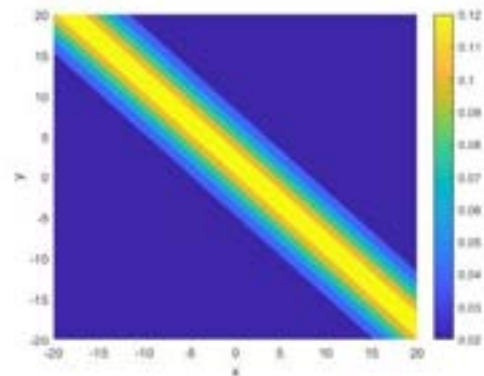
(b) 3D view of  $Re(U(x, y, t))$



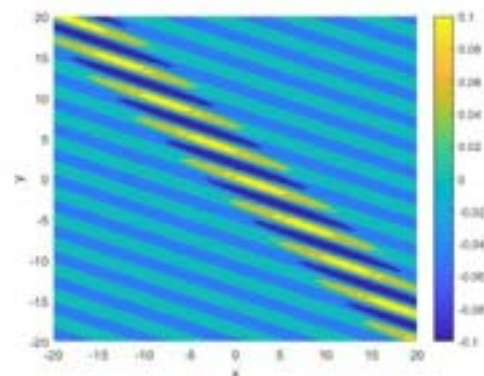
(c) 3D view of  $Im(U(x, y, t))$



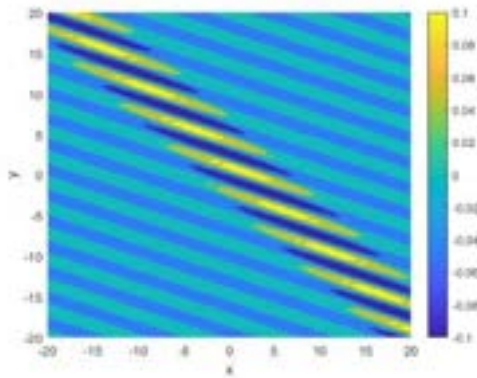
(a) 3D view of  $|U(x, y, t)|$



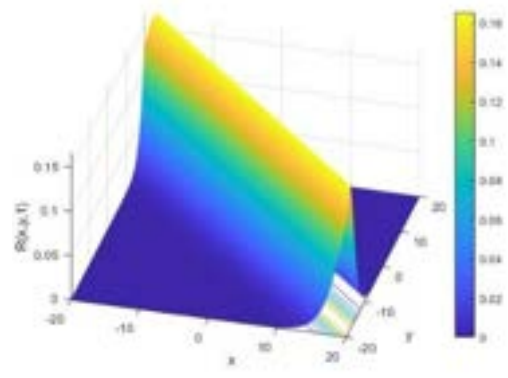
(d) contour of  $|U(x, y, t)|$



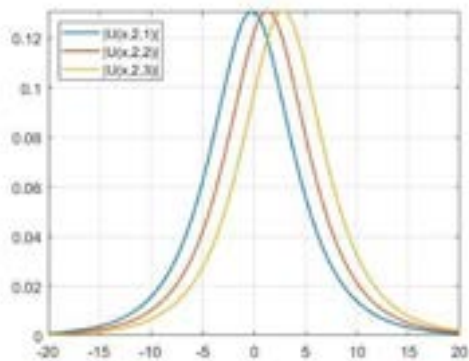
(e) contour of  $Re(U(x, y, t))$



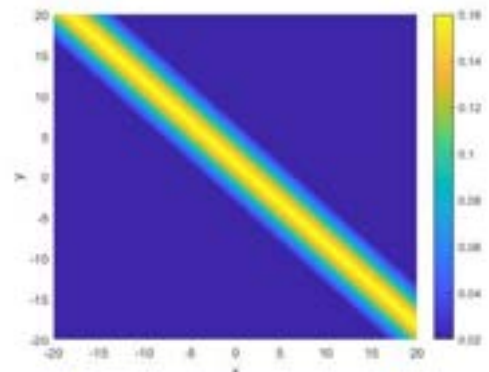
(f) contour of  $Im(U(x, y, t))$



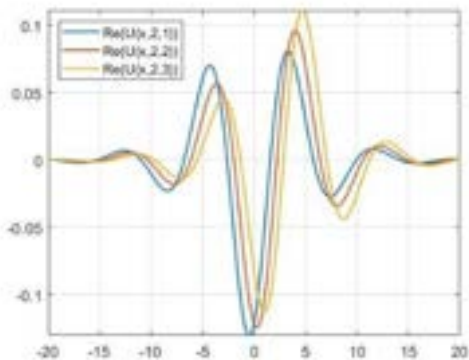
(a) 3D view of  $R(x, y, t)$



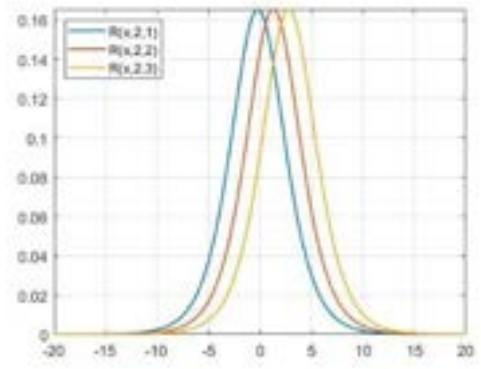
(g) 2D view of  $|U(x, y, t)|$



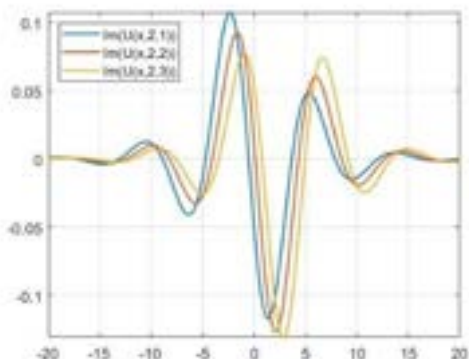
(b) contour of  $R(x, y, t)$



(h) 2D view of  $Re(U(x, y, t))$



(c) 2D view of  $R(x, y, t)$



(i) 2D view of  $Im(U(x, y, t))$

**Figure 1** The various plots of  $U(x, y, t)$  in eq. (20) by selecting  $Set_1$  in eq. (19) and  $L=10$ ,  $H=0.75$ ,  $A_1=1.2$ ,  $\mu_1=0.5$ ,  $\mu_2=0.7$ ,  $\alpha=0.75$ ,  $\beta=2$ . (in fig. (g-i),  $t=1, 2$  and  $3$ )

**Figure 2** The various plots of  $R(x, y, t)$  in eq. (23) by selecting  $Set_1$  in eq. (19) and  $L=10$ ,  $H=0.75$ ,  $A_1=1.2$ ,  $\mu_1=0.5$ ,  $\mu_2=0.7$ ,  $\alpha=0.75$ ,  $\beta=2$ .

## 5. Conclusion

In this research article, in order to obtain non-topological soliton solution of 3-CCME, we proposed and successfully implemented recently presented modified new Kudryashov method for the first time in this article. We derived not only non-topological soliton solution but also breather-like soliton solution from the real and imaginary parts of 3-CCME. The obtained results imply that the modified new Kudryashov method is easily applicable, an effective, efficient and powerful method for solving such kind of evolution problems.



## References

- [1] Fan, Engui, Hon, Y. (2002). Generalized tanh Method Extended to Special Types of Nonlinear Equations. *Zeitschrift für Naturforschung A*. 57. 10.1515/zna-2002-0809.
- [2] Arnous, Ahmed. (2013). The modified simple equation method and its applications to (2+1)-dimensional systems of nonlinear evolution equations. *Scientific research and essays*. 8. 1973.
- [3] Na, Sirendaoreji, Jiong, Sun. (2006). Auxiliary equation method for solving nonlinear partial differential equations. *Physics Letters A*. 309. 387-396. 10.1016/S0375-9601(03)00196-8.
- [4] Chen, Yong, Wang, Qi. (2005). A New Riccati Equation Rational Expansion Method and Its Application. *Zeitschrift für Naturforschung A*. 60. 1-6. 10.1515/zna-2005-1-201.
- [5] Na, Sirendaoreji. (2018). Variable separated ODE method—A powerful tool for testing traveling wave solutions of nonlinear equations. 10.13140/RG.2.2.13369.01120.
- [6] Muslum Ozisik. On the optical soliton solution of the (1+1)-dimensional perturbed NLSE in optical nano-fibers. *Optik*, 250:168233, Jan 2022.
- [7] M. Ali Akbar, Lanre Akinyemi, Shao-Wen Yao, Adil Jhangeer, Hadi Rezazadeh, Mostafa M.A. Khater, Hijaz Ahmad, Mustafa Inc. (2021). Soliton solutions to the Boussinesq equation through sine-Gordon method and Kudryashov method, *Results in Physics*, Volume 25, 104228
- [8] Yakup Yıldırım, Nisa Çelik, Emrullah Yaşar. (2017). Nonlinear Schrödinger equations with spatio-temporal dispersion in Kerr, parabolic, power and dual power law media: A novel extended Kudryashov's algorithm and soliton solutions, *Results in Physics*, Volume 7, Pages 3116-3123.
- [9] Ghanbari, Behzad & Baleanu, Dumitru. (2019). New Solutions of Gardner's Equation Using Two Analytical Methods. *Frontiers in Physics*. 7. 10.3389/fphy.2019.00202.
- [10] Cattani, C., Sulaiman, T.A., Baskonus, H.M. et al. (2018). Solitons in an inhomogeneous Murnaghan's rod. *Eur. Phys. J. Plus* 133, 228.
- [11] Mecelti, Amel, Triki, Houria, Azzouzi, Faïçal, Wei, Xiong, Biswas, Anjan, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim, Zhou, Qin. (2022). New chirped gray and kink self-similar waves in presence of quintic nonlinearity and self-steepening effect. *Physics Letters A*. 437. 128104. 10.1016/j.physleta.2022.128104.
- [12] Biswas, Anjan, Berkemeyer, Trevor, Khan, Salam, Moraru, Luminita, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim. (2022). Highly Dispersive Optical Soliton Perturbation, with Maximum Intensity, for the Complex Ginzburg–Landau Equation by Semi-Inverse Variation. *Mathematics*. 10. 987. 10.3390/math10060987.
- [13] Gonzalez-Gaxiola, Oswaldo, Biswas, Anjan, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim. (2022). Highly dispersive optical solitons in birefringent fibers having Kerr law of refractive index by Laplace–Adomian decomposition. *Optik*. 257. 168788. 10.1016/j.ijleo.2022.168788.
- [14] Arnous, Ahmed, Biswas, Anjan, Kara, Abdul, Milovic, Daniela, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim. (2022). Sequel to cubic-quartic optical soliton perturbation with complex Ginzburg–Landau equation by the enhanced Kudryashov's method. *IET Optoelectronics*. 10.1049/ote2.12065.
- [15] Triki, Houria, Zhou, Qin, Liu, Wenjun, Biswas, Anjan, Moraru, Luminita, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim, Belic, Milivoj. (2022). Chirped optical soliton propagation in birefringent fibers modeled by coupled Fokas-Lenells system. *Chaos, Solitons & Fractals*. 155. 111751. 10.1016/j.chaos.2021.111751.
- [16] Muniyappan, Annamalai, Amirthani, Shanmugham, Chandrika, Palanivel, Biswas, Anjan, Yıldırım, Yakup, Alshehri, Hashim, Maturi, Dalal, Al-Bogami, Dalal. (2022). Dark solitons with anti-cubic and generalized anti-cubic nonlinearities in an optical fiber. *Optik*. 255. 168641. 10.1016/j.ijleo.2022.168641.
- [17] Kudryashov, Nikolay, Biswas, Anjan. (2022). Optical solitons of nonlinear Schrödinger's equation with arbitrary dual-power law parameters. *Optik*. 252. 168497. 10.1016/j.ijleo.2021.168497.
- [18] Zahran, Emad, Rezazadeh, Hadi, Shehata, Maha. (2019). New Solitary Wave Solutions to the Three Coupled Nonlinear Maccari's-System with a Complex Structure. 399.
- [19] Ahmad Neirameh. (2016). New analytical solutions for the coupled nonlinear Maccari's system, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 55, Issue 3, Pages 2839-2847.
- [20] Mustafa Inc, Aliyu Isa Aliyu, Abdullahi Yusuf, Dumitru Baleanu and Elif Nuray. (2018). Complexiton and solitary wave solutions of the coupled nonlinear Maccari's system using two integration schemes. *Modern Physics Letters B* Vol. 32, No. 02, 1850014.
- [21] Vahidi, Javad, Zekavatmand, Sayyed, Rezazadeh, Hadi, Inc, Mustafa, Akinlar, Mehmet, Chu, Yuming. (2021). New solitary wave solutions to the coupled Maccari's system. *Results in Physics*. 21. 103801. 10.1016/j.rinp.2020.103801.
- [22] Zahran, Emad, Shehata, Maha, Mirhosseini-Alizamani, Seyed Mehdi, Alam, Md. Nur, Akinyemi, Lanre. (2021). Exact propagation of the isolated waves model described by the three coupled nonlinear Maccari's system with complex structure. *International Journal of Modern Physics B*. 10.1142/S0217979221501939.
- [23] Hanan A. Alkhidhr, Mahmoud A.E. Abdelrahman. (2022). Wave structures to the three coupled nonlinear Maccari's systems in plasma physics, *Results in Physics*, Volume 33, 105092.
- [24] Elsayed M.E. Zayed, Mohamed E.M. Alngar, Anjan Biswas, Mir Asma, Mehmet Ekici, Abdullah K. Alzahrani, Milivoj R. Belic. (2020). Optical solitons and conservation laws with generalized Kudryashov's law of refractive index, *Chaos, Solitons & Fractals*, Volume 139, 110284.
- [25] Saha, A., Ali, K.K., Rezazadeh, H. et al. (2021). Analytical optical pulses and bifurcation analysis for the traveling optical pulses of the hyperbolic nonlinear Schrödinger equation. *Opt Quant Electron* 53, 150.
- [26] Khalid K. Ali, M.S. Mehanna. (2021). Traveling wave solutions and numerical solutions of Gilson–Pickering equation, *Results in Physics*, Volume 28, 104596.



# Batı Karadeniz Havzası'nın Ephemeroptera (Insecta) Faunası

Gülhan Küçük<sup>1</sup>, Ayşe Taşdemir, Eylem Aydemir-Çil<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Hydrobiology, Faculty of Fisheries, Ege University, İzmir – Turkey (ORCID0000-0003-1122-1266), [gulhankucukerr@gmail.com](mailto:gulhankucukerr@gmail.com)

<sup>1</sup>Department of Hydrobiology, Faculty of Fisheries, Ege University, İzmir – Turkey (ORCID: 0000-0003-4056-118X), [aysetasdemir70@gmail.com](mailto:aysetasdemir70@gmail.com)

<sup>2\*</sup>Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Sinop University, Sinop – Turkey (ORCID0000-0000-0003-2405-1155), [eylemaydemir@sinop.edu.tr](mailto:eylemaydemir@sinop.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 13 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1057723)

**REFERENCE:** Küçük, G., Taşdemir, A. & Aydemir-Çil, E. (2022). Ephemeroptera (Insecta) Fauna of The Western Black Sea Basin, *European Journal of Science and Technology*, 38, 179-190.

## Öz

Bu çalışma, Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Batı Karadeniz Havzasının Ephemeroptera faunasını tespit etmeyi ve taksonların ekolojisini incelemeyi amaçlamaktadır. Batı Karadeniz Havzasında akarsular ve göller de dahil olmak üzere 24 istasyon belirlenmiştir. Makrobentik omurgasızların örnekleme, Mayıs 2014-Ekim 2015 tarihleri arasında, 24 istasyonda mevsimsel olarak gerçekleştirilmiş ve aynı lokalizasyonlarda çevresel değişkenler ölçülmüştür. Belirlenen istasyonlardan toplanan Ephemeroptera örnekleme sonucunda 9 aile, 19 cins ve 39 taksondan oluşan toplam 2460 birey tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma alanında tespit edilen taksonlar saprobik sisteme uygulanmış ve istasyonların mevcut durumu su kalitesi açısından gösterilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ephemeroptera, Çeşitlilik, Fauna, Karadeniz, Ekoloji.

## Ephemeroptera (Insecta) Fauna of The Western Black Sea Basin

### Abstract

This study aims to detect the Ephemeroptera fauna of the Western Black Sea Basin, one of Turkey's 25 river basins, and to examine the ecology of the taxa. 24 stations, including streams and lakes, have been designated in the Western Black Sea Basin.

Samplings of macrobenthic invertebrates were performed seasonal at 24 stations between May 2014 and October 2015 in addition environmental variables were measured in the same localities. As a result of Ephemeroptera sampling collected from the designated stations, a total of 2460 individuals belonging to 9 families, 19 genera, and 39 taxa were identified. In addition, the taxa detected in the study area were applied to the saprobic system and the current status of the stations was tried to be demonstrated in terms of water quality.

**Keywords:** Ephemeroptera, Diversity, Fauna, Black Sea, Ecology

\* Sorumlu Yazar: [eylemaydemir@sinop.edu.tr](mailto:eylemaydemir@sinop.edu.tr)

## 1. Introduction

Ephemeroptera, one of the oldest insect orders today, is known to have appeared in the Late Carboniferous about 290 million years ago (Barber-James *et al.* 2008). It is the only group of insects with 2 adult life periods (subimago and imago) among insects (Edmunds & McCafferty 1988).

Global taxa diversity of Ephemeroptera is represented by over 3000 described taxa distributed in 42 families and 400 genera (Barber-James *et al.* 2008). Ephemeroptera has received great interest in the World as well as in Turkey. The first study concerning Ephemeroptera belongs to Ulmer (1919). After that, there have been many studies. These are Verrier (1955), Demoulin (1963, 1965), Puthz (1972, 1973, 1978), Jacob (1977), Soldan & Landa (1977), Koch (1980, 1985, 1988), Berker (1981), Braasch (1981, 1983a), Kazancı (1984; 1987a, 1987b, 1990a, 1990b, 1991, 1992, 1998a, 1998b, 2001a, 2001b, 2009, 2011), Kazancı & Braasch (1986, 1988), Kazancı & Thomas (1989), Sowa *et al.* (1986), Tanatmış (1995, 1997, 1999, 2000, 2002, 2004a, 2004b, 2005), Belfiore *et al.* (2000), Tanatmış & Ertorun (2006, 2008), Dalkıran (2009), Taşdemir *et al.* (2008), Topkara *et al.* (2009), Kazancı & Türkmen (2008a, 2008b), Kazancı & Girgin (2008), Tanatmış & Haybach (2010), Türkmen & Özkan (2011), Özyurt & Tanatmış (2011), Salur *et al.* (2016).

Although the lifespan of members of the Ephemeroptera order, which exhibits a hemimetabolous development, is from several hours to several days in adulthood, their larval periods last from one to three years in stagnant waters or streams. Most of its taxa are herbivores. Therefore, they constitute an important link in the food chain in waters, and their diversity of taxa and abundance conditions give accurate results in determining the biological efficiencies of waters (Csoknya & Ferencz 1972; Zelinka 1984).

Ephemeroptera larvae can be found in almost every freshwater habitat, live on very different grounds, have high productivity, cannot travel very long distances, and most of their larvae are easily identified at the genus and taxa level, therefore they are cited as the best biological indicators of changes in water as a result of human activity (Kazancı & Türkmen 2008b).

The Ephemeroptera order has many indicator taxa that are very sensitive to organic pollution and habitat destruction. Ephemeroptera individuals react very quickly to any pollution and deterioration that may occur in the environment. While some taxa that are susceptible to pollution disappear, others can change the structure of their communion very quickly by increasing their abundance. Therefore, it is very convenient to use Ephemeroptera individuals in the evaluation and monitoring of aquatic ecosystems in terms of environmental quality (Bauernfeind & Moog 2002).

It is also known that Ephemeroptera taxa have a very important role in determining the reference stations and fauna of these stations regarding the applications of the European Union Water Framework Directive (EU WFD) in Turkey (Kazancı & Türkmen 2012).

In this study, which was carried out in the Western Black Sea Basin, it was aimed to determine the diversity of the Ephemeroptera fauna.

## 2. Material and Method

In this research, seasonal sampling studies were carried out between May 2014 and October 2015 from 24 stations (**Figure 1**) determined through streams and lakes in the Western Black Sea River Basin (Bolu, Bartın, Çankırı, Düzce, Kastamonu, Karabük, Sinop, and Zonguldak).



**Figure 1.** The geographical location of the study area (western black sea basin) and the sampling sites

The streams in the region are usually short and overly sloped and flow into the Black Sea. The most important streams of the region can be listed as Filyos River, Çerkes Stream, Yünlüce Creek, Özlüce Creek, Aydost Stream, and Kızılcapınar Stream. The designated points were selected from the source in the direction of downward flow to represent the Western Black Sea basin. Information about the points is given under the title "General Characteristics of the Stations" (**Table 1**).

Benthic samples were collected from the 24 designated stations using a standard bottom scoop with a pore size of 180 µm for 5 minutes by mixing the bottom material with the foot. During the collection of the samples, the samples were also collected from different habitats that could reflect all the characteristics of the stream, such as rocky, stony, gravel, and sandy ground, and from where the current is fast and slow.

The collected samples were stored in plastic jars filled with 4% formaldehyde and brought to Ege University Faculty of Aquaculture Inland Waters Biology Laboratory. The samples brought to the laboratory were washed with tap water and freed from bottom material and formaldehyde. The benthic groups were isolated in a bathtub with the help of thin-tipped pliers and the Ephemeroptera group was placed into small tubes. The isolated samples were stored in 70% ethyl alcohol.

Ephemeroptera Individuals were detected at the taxa level using a binocular microscope and stereomicroscope. The properties such as the head structure of the samples of individuals, the positions and colors of honeycomb pores and oculus, the structure of the antennae, the structure and length of the legs, the shapes, pattern, and hair conditions of femurs, tibia and tarsus, the shape of the pronotum, the number, positions and shapes of gills, patterns on the abdomen segments, posterior spines and posterolateral extensions, sercus and parasercus lengths, total lengths of the body, etc. are noted for use in the diagnosis of the taxa. Then, permanent preparations were made and taxa were determined. The preparations are prepared to identify head parts such as labrum, mandibles, maxillar palps, hypopharynx, labium by separating the head from the body, and gills, legs and body parts under a microscope using eupal between slides and lamellas.

The studies of Grandi 1960; Macan 1979; Sauter 1992; Harker 1989; Edmunds 1959; Illies 1968; Sinitshenkova 1979; Pennak 1978; Müllerliedenau 1969; Türkmen & Kazanci 2013 were benefited from in the determination of Ephemeroptera taxa. The similarity of the studied localities followed by a cluster

analysis (UPGMA, Unweighted Pair Group Average) was calculated starting from the quantitative data of the macroinvertebrate taxa; the Multi-Variate Statistical Package (MVSP) program version 3.1 (Kovach 1998) was used to perform cluster analysis.

Table 1. Geographical and ecological data about the sampling sites

Station	Region	Coordinates	Altitude	Stream Area	Bottom Structure
1	Sino –Dikmen Stream	35° 38' 90,7" E - 41° 68' 10,5" N	27m	Hipopotamon	%30 Sand, %70 Stone
2	Kastamonu–Bozkurt Stream	34° 00' 9,48" E - 41° 9'58,84"	47m	Metapotamon	%20 Rock, %30 Clay, %50 Stone
3	Kastamonu/Seydiler-Değirmenözü Stream	33° 58' 5,88" E - 41° 68' 1,05"	974m	Epipotamon, Metapotamon	%40 Clay, %40 Stone, %20 Sand
4	Bolu – Çerkeş Stream	32° 63' 8,58" E - 40° 86' 5,18" N	988m	Hipopotamon	%40 Stone, %40 Sand, %20 Clay
5	Kastamonu/İnebolu-Özlüce Stream	33° 60' 6,35" E - 41° 98' 3,23" N	7m	Epipotamon, Metapotamon	%50 Rock, %50 Stone
6	Kastamonu/Cide-Aydos Stream	33° 08' 7,1" E - 41° 93' 2,56" N	10m	Epipotamon, Metapotamon	%30 Sand, %70 Stone
7	Kastamonu/Cide-Mağaza Stream	32° 94' 3,9" E - 41° 87' 1,01" N	3m	Epipotamon, Metapotamon	%80 Stone, %10 Sand, %10 Rock
8	Bartın- Kozcağız Creek	32° 33' 1,74" E - 41° 63' 4,96" N	13m	Metapotamon	%30 Sand, %30 Stone, %40 Clay
9	Karabük- Yenice Stream	32°36' 8,73" E - 41°20' 5,88"N	156m	Metapotamon	%30 Gravel, %60 Stone, %10 Clay
10	Zonguldak- Devrek Stream	32° 06' 7,02" E - 41° 28' 3,07" N	51m	Metapotamon	%20 Sand, %20 Clay, %60 Stone
11	Zonguldak-Center	31° 79' 6,14" E - 41° 44' 3,49" N	13m	Hipopotamon	%20 Sand, %30 Clay, %50 Stone
12	Karabük- Özlüce Stream	32° 76' 8,13" E - 41° 21' 6,25" N	336m	Epipotamon, Metapotamon	%80 Rock, %20 Stone
13	Zonguldak- Özlüce Stream	31° 81' 5,11" E - 41° 40' 3,85" N	202m	Hiporhitron	%20 Rock, %80 Stone
14	Zonguldak-Kızılcapınar Stream	31° 68' 5,21" E - 41° 23' 3,9" N	134m	Epipotamon	%30 Rock, %20 Sand, %50 Stone
15	Zonguldak/Çaycuma–Filyos Stream	32° 08' 6,17" E - 41° 52' 3,12" N	3m	Metapotamon	%20 Sand, %50 Mud, %30 Clay
16	Çankırı –Bayramören Stream	33° 22' 6,77" E - 40° 95' 6,76" N	740m	Metapotamon	%60 Stone, %40 Sand
17	Sinop - Kanlıçay	35° 30' 5,00" E - 41° 50' 2,20" N	564m	Hipopotamon	%30 Rock, %20 Stone, %50 Sand
18	Bartın–Arıt River	32° 58' 8,71" E -41° 48' 7,18" N	318m	Metapotamon	%10 Sand, %80 Stone, %10 Gravel
19	Kastamonu–Bozkurt Stream	34° 18' 2,04" E– 41° 89' 0,16" N	207m	Metapotamon	%10 Sand, %80 Stone, %10 Gravel
20	Karabük	32° 29' 0,13" E - 41° 13' 7,86" N	284m	Metapotamon	%30 Gravel, %60 Stone, %10 Clay
21	Kastamonu – Valay Creek	33° 42' 6,25" E - 41° 82' 3,87" N	614m	Hiporhithron	%90 Rock, %10 Stone
22	Düzce- Güzeldere	31° 04' 7,04" E - 40° 72' 7,14" N	468m	Hiporhithron	%40 Rock, %40 Stone , %20 Sand
23	Düzce- Akçakoca	30° 98' 6,97" E - 40° 95' 6,37" N	253m	Epipotamon	%40 Rock, %40 Stone , %20 Sand
24	Bolu- Abant Lake	31° 30' 9,08" E - 40° 62' 5,29" N	1119m	Epipotamon	%60 Rock, %20 Clay, %20 Sand

### 3. Results

#### 3.1. Physicochemical variables

The minimum and maximum values of measured physical and chemical variables at the stations during the study period are represented in Table 2. The lowest and highest temperature values

during the study period were 11,3°C and 33°C, respectively, and salinity values were particularly low in twenty station 0,1 and high in five station 0,44. The pH values measured at the stations ranged from 7,24 to 9,11. The highest mean dissolved oxygen value recorded in the sampling period was 10,94 mg l.

Table 2. Physicochemical variables of the sampling sites

	Summer	Autumn	Winter	Spring
pH	8,63-7,68	8,25-7,24	9,11-8,45	8,46-7,7
Temperature (°C)	33-21	20,2-11,3	24,2-14	25,8-18,1
Electrical conductivity (µs/cm)	836-272	854-321	439-102,7	832-130,5
Dissolved Oxygen (mg/L)	10,59-7,03	10,39-6,19	10,94-8,09	10,4-7
Salinity (‰)	0,41-0,1	0,42-0,12	0,25-0,11	0,44-0,13

#### 3.2. Biological Findings

##### 3.2.1. Taxa of Ephemeroptera Detected in the Study Area

In this study, a total of 2460 Ephemeroptera Individuals belonging to 9 families, 19 genera and 39 taxa were identified at 24 stations chosen on streams and lakes in the Western Black Sea River Basin.

##### 3.2.2. The similarity of the stations

Cluster analysis was performed based on the average number of individuals of taxa at different stations. UPGMA analysis grouped the stations with similarity more than 50% according to the occurred taxa. In general view, all the localities have very high similarity (more than 90%) to each other. According to your UPGMA analysis based on Ephemeroptera taxa, first of all, the stations are divided into two main groups. There are 16 stations in the first group, while there are 8 stations in the second group. Stations A17 and A22, which have a rocky bottom, the bottom structure of the other stations 8, 9, 10 and 15 are different, all have a prevalent clay muddy bottom and similarities in their faunal components; they form another cluster (Figure 2).

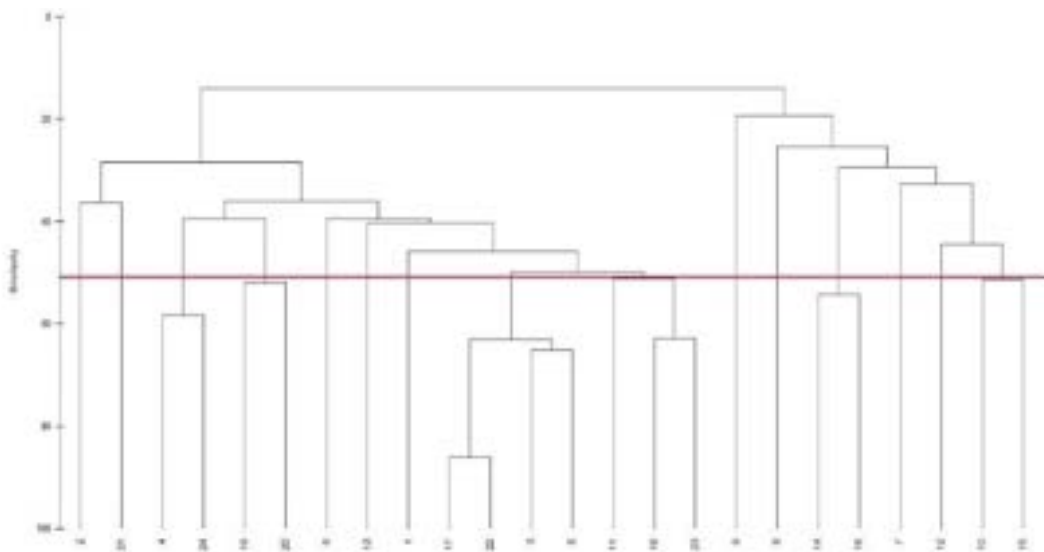


Figure2. UPGMA dendrogram showing the similarity of the contents of the stations according to taxa

The families with the largest number of genera in the Ephemeroptera families are Baetidae (4), Heptageniidae (4), and Leptophlebiidae (4). They make up 21.05% of the total number of genera (Figure 2.). The maximum number of taxa belongs to the Heptageniidae family (13). The family with the highest number of individuals is the family of Baetidae with 1973 individuals

(Table 3). The distributions of taxa detected according to the stations investigated are also given in Table 4.

### 3.3.3. Taxa of Ephemeroptera Identified

39 taxa group taxa of mayflies representing 19 genera and 9 families have been recorded from the study area.

Table 3. Ephemeroptera families; Number and percentage of genera, taxa and nymphs.

Families	Number of Genera	Number of Genera (%)	Number of Taxa	Number of Taxa (%)	Number of Nymphs	Number of Nymphs(%)
Baetidae	4	21,05	12	30,77	1973	80,2
Caenidae	1	5,26	2	5,13	34	1,38
Ephemeridae	1	5,26	2	5,13	4	0,16
Ephemerellidae	2	10,53	3	7,69	91	3,70
Heptageniidae	4	21,05	13	33,33	236	9,59
Isonychiidae	1	5,26	1	2,56	17	0,69
Leptophlebiidae	4	21,05	4	10,26	38	1,54
Potamanthidae	1	5,26	1	2,56	56	2,28
Siphonuridae	1	5,26	1	2,56	10	0,41

**Table 4.** List of the identified taxa and their occurrences (ind/m<sup>2</sup>) annual and dominance (%D) values at the sites

Taxa	Samples Stations																								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	%
<b>1. Family: Baetidae Leach, 1815</b>																									
<i>Alainites muticus</i> (Linnaeus, 1758)	2	5				22					8							1			11				1,99
<i>Baetis buceratus</i> Eaton, 1870		3						2	17	26	146	19			4										8,82
<i>Baetis fuscatus</i> (Linnaeus, 1761)		6				3						13		6		21									1,99
<i>Baetis lutheri</i> MüllerLiebenau, 1967	5	2	4				3		9		11	8						50	7	9	1		18		5,16
<i>Baetis pavidus</i> Grandi, 1951			10	6							13	2								26	3			6	2,68
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet, 1843)	15	7	77	120	181	29					235		14	3		1	43	64	16	7	24	52	137	58	44,02
<i>Baetis scambus</i> Eaton, 1870						7																			0,28
<i>Baetis vardarensis</i> Ikononov, 1962							4					25													1,18
<i>Baetis vernus</i> Curtis, 1834	17		7		2	13			2		50	21	24	6	1		19	30	7				10	40	10,12
<i>Baetis (Nigrobaetis) gracilis</i> Bogoescu & Tabacaru, 1957															1										0,04
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	25					2	1	53								5									3,50
<i>Procloeon penulatum</i> (Eaton, 1870)												2		1	7										0,41
<b>2. Family: Caenidae Newman, 1853</b>																									
<i>Caenis luctuosa</i> (Burmeister, 1839)	4													1		3		2							0,41
<i>Caenis macrura</i> Stephens, 1835						1	1			5		2	2	4	2	6			1						0,98
<b>3. Family: Ephemerellidae Klapálek, 1909</b>																									

Taxa	Samples Stations																								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	%
<i>Ephemerella notata</i> Eaton, 1887												4													0,16
<i>Serratella ignita</i> (Poda, 1761)		1					1	11	1				1					25	1	1	2				1,79
<i>Torleya major</i> (Klapálek, 1905)						2	1											32			2		6		1,75
<b>4. Family: Ephemeridae Latreille, 1810</b>																									
<i>Ephemera danica</i> Müller, 1764																				1	2				0,12
<i>Ephemera vulgata</i> Linnaeus, 1758										1															0,04
<b>5. Family: Heptageniidae Needham, 1901</b>																									
<i>Ecdyonurus (Ecdyonurus) dispar</i> (Curtis, 1834)							1										1	1		1					0,16
<i>Ecdyonurus (Ecdyonurus) starmachi</i> Sowa, 1971													1						7						0,33
<i>Ecdyonurus (Ecdyonurus) submontanus</i> Landa, 1969																				10					0,41
<i>Electrogena affinis</i> (Eaton, 1887)	1						5				5				2	16		5							1,38
<i>Electrogena antalyensis</i> (Braasch & Kazanci in Kazanci & Braasch, 1986)												6													0,24
<i>Electrogena lateralis</i> (Curtis, 1834)												7													0,28
<i>Electrogena quadrilineata</i> (Landa, 1969)																						1			0,04
<i>Epeorus (Ironopsis) alpicola</i> (Eaton, 1871)						11													13	8				41	2,97
<i>Epeorus (Caucasiron) caucasicus</i> (Tshernova, 1938)									1												5				0,24
<i>Epeorus (Epeorus) zaitzevi</i> Tshernova, 1981	1																								0,04
<i>Epeorus (Caucasiron) znojkoii</i> (Tshernova, 1938)																	6	2				4	9		0,85
<i>Rhithrogena semicolorata</i> (Curtis, 1834)										22	4			1							10				1,50
<i>Rhithrogena zelinkai</i> Sowa & Soldán, 1984									28																1,14



Taxa	Samples Stations																								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	%
<b>6. Family: Isonychiidae Burks, 1953</b>																									
<i>Isonychia ignota</i> Walker, 1853													9		8										0,69
<b>7. Family: Leptophlebiidae Banks, 1900</b>																									
<i>Choroterpes (Choroterpes) picteti</i> Eaton, 1871					4	1							1		6		6								0,73
<i>Habroleptoides confusa</i> Sartori & Jacob, 1986																					8				0,33
<i>Habrophlebia lauta</i> Eaton, 1884												1											5		0,24
<i>Paraleptophlebia weneri</i> Ulmer, 1920																		7							0,28
<b>8. Family: Potamanthidae Albarda (in Selys-Longchamps), 1888</b>																									
<i>Potamanthus luteus</i> (Linnaeus, 1767)				5		5	11		8		3		1	15	8										2,28
<b>9. Family: Siphonuridae Ulmer, 1920</b>																									
<i>Siphonurus lacustris</i> Eaton, 1870				10																					0,41
<i>Isonychia ignota</i> Walker, 1853													9		8										0,69
<b>7. Family: Leptophlebiidae Banks, 1900</b>																									
<i>Choroterpes (Choroterpes) picteti</i> Eaton, 1871					4	1							1		6		6								0,73
<i>Habroleptoides confusa</i> Sartori & Jacob, 1986																					8				0,33
<i>Habrophlebia lauta</i> Eaton, 1884												1											5		0,24
<i>Paraleptophlebia weneri</i> Ulmer, 1920																		7							0,28

Leptophlebiidae family is represented in our country by 12 taxa belonging to six genera (Kazancı & Türkmen 2012). In this study, it is represented by 4 genera and 4 taxa. According to Moog *et al.* (1997), the taxa *Habroleptoides confusa* and *Habrophlebia lauta* show saprobic values that characterize oligotrophic waters, which usually range from 1.5 to 2. In our study, both taxa were identified from the stations, which are accepted as references.

The family with the highest number of individuals is the family of Baetidae with 1973 individuals (Table 3). It consist of 80.2% of the total number of individuals (Figure 3).

*B. rhodani*, which is very common in streams and is known as the taxa with a high population density, had the highest density in this study with 1083 individuals. It was also the most common taxa in the 24 stations studied (18 Stations). *Baetis rhodani*, which is found in every region of the streams from the hypocreneon region to the potamon region, is a taxa with the highest temperature tolerance (eurythermic) that best tolerates a wide range of factors (Buffagni *et al.* 2009). They can be found in environments from xenosaprobic to alphamezosaprobic. However, they generally prefer oligosaprobic and betamezosaprobic environments (Bauernfeind & Haybach 2012). *Baetis rhodani* is an eurytherm species, the species has previously been recorded at similar habitats (Vilenica *et al.* 2016a; 2016b; 2017a; 2017b). The presence of the potamal element is due to the eurytopic *B. rhodani* that inhabits a wide range of freshwater habitats (Bauernfeind & Soldán 2012; Buffagni *et al.* 2017).

*Baetis vernus* is the second common taxa with 249 individuals identified from 15 stations which has tolerance and prefers xenosaprobic and oligosaprobic environments.

With 127 individuals identified in 12 stations, *B. lutheri* prefers oligosaprobic and betamezosaprobic environments but is rarely found in xenosaprobic environments.

*Caenis macrura* larvae, reported from 9 stations, are located between the regions of epirhithron and hypopotamon. They can also be found in coastal areas of lakes (Bauernfeind & Soldan 2012). They prefer slow-current or stagnant water environments. They can be found in environments from xenosaprobic to alphamezosaprobic. However, they generally prefer betamezosaprobic environments (Bauernfeind & Haybach 2012).

The larva of *Serratella ignita*, the second taxa identified from 9 stations, has a fairly wide ecological tolerance range. It can be found in any type of stream covered by stones, gravels, or underwater plants and organic debris (Bauernfeind & Soldan 2012). They can be found in every region of the streams, from the hypocreneon region to the metapotamon region. But they generally prefer metarhithron and hyporhithron regions (Buffagni *et al.* 2009). They prefer oligosaprobic, betamezosaprobic and alphamezosaprobic environments, but are mostly distributed in betamezosaprobic environments.

*Potamanthus pluteus* larva (Buffagni *et al.* 2009) is found in the stony and sandy parts of the epipotamon and metapotamon regions of the streams in the mountainous regions. In our study, they were identified in 8 stations. They have a high tolerance for organic pollution. Although they usually prefer betamezosaprobic environments, they can also be found in alphamezosaprobic environments (Bauernfeind & Haybach 2012).

If we look at the taxa distributions of the detected taxa by stations; Ephemeroptera larvae were found in all 24 stations

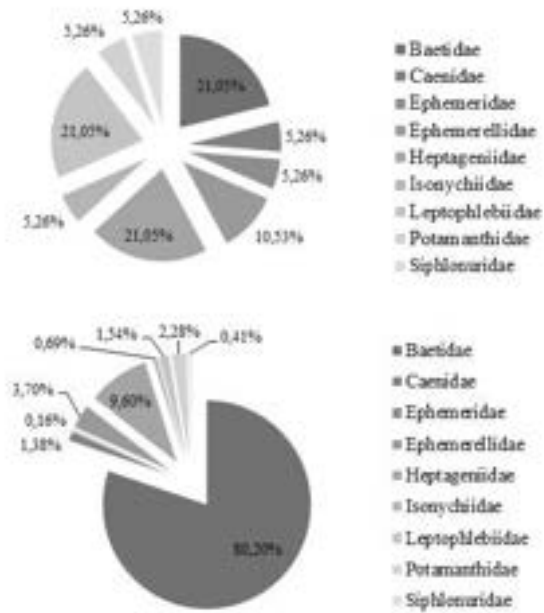


Figure 3. Distributions of families and genera

#### 4. Discussion and Conclusion

In this study, a total of 2460 Ephemeroptera individuals belonging to 9 families, 19 genera, and 39 taxa were identified at 24 stations chosen on streams and lakes in the Western Black Sea River Basin. The Heptageniidae family has the maximum number of taxa kullanımı daha uygun olduğunu düşünüyorum. (13) (Table 3). It consist of 33.33% of the total number of taxa. The family with the highest number of individuals is the family of Baetidae with 1973 individuals (Table 3). It consist of 80.2% of the total number of individuals (Figure 3).

The families with the largest number of genera in the Ephemeroptera families are Baetidae (4), Heptageniidae (4), and Leptophlebiidae (4). They make up 21.05% of the total number of genera (Figure 3).

When we evaluate it in terms of the number of taxa; The Heptageniidae family ranks first with 13 taxa, while the Baetidae family ranks second with 12 taxa. The Leptophlebiidae family ranks third with 4 taxa.

The Heptageniidae family contains a large number of indicator taxa of very clean and unspoiled environments. In our study, 4 genera (*Rhitrogena*, *Epeorus*, *Eclyonurus*, *Electrogena*) and 13 taxa belonging to this family were identified, which consist of 33% of the total number of taxa (Table 3). Common characteristics of the taxa identified is that they all generally prefer xenosaprobic, oligosaprobic and betamezosaprobic environments (Bauernfeind *et al.* 2002). In this study, these taxa were found in stations with xenosaprobic, oligosaprobic and betamezosaprobic properties.

The Baetidae family ranks second with 4 genera and 12 taxa (31%). The Baetidae family appears to contain some of the most resistant taxa to organic contamination and low oxygen levels.

Larvae belonging to the Leptophlebiidae family are usually found in cracks or crevices in stony areas in the hypocreneon and rhithron regions of streams (Buffagni *et al.* 2009). The

studied. of these stations, 12, 14, 18, and 21 are the stations where the most taxa were identified with 11 taxa. Stations 6 and 7 with 10 taxa, station 16 with 9 taxa, stations 15 and 19 with 8 taxa have the highest diversity of taxa (Table 4).

Considering the effect of temperature on the distributions of taxa: The continuous presence of *B. rhodani* in all three periods indicates that the ecological tolerance of the species is high, the water temperature at the sampling stations is the highest temperature in the summer season: accordingly, the taxa rodani with the highest abundance is.

As a result of this study, in order to better understand the distributional and ecological features of the taxa occurring in the area, more samplings should be designed at various depths and representing different habitats. The Ephemeroptera fauna in the Western Black Sea Region was determined and it was aimed to contribute to Turkish biodiversity and to provide comparison opportunities for future monitoring studies.

## References

- Barber-James, HM., Gattolliat, JL., Sartori, M., & Hubbard, MD. (2008) Global Diversity of Mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in Freshwater, *Hydrobiologia*, 595, 339–350. DOI:10.1007/s10750-007-9028-y
- Bauernfeind, E., Moog, O. & Weichselbaumer, P. (2002) Ephemeroptera (Eintagsfliegen). In: Moog, O. (2002): *Fauna Aquatica Austriaca*, Lieferung, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium F. Land- und Forstwirtschaft, Wien (Ed).
- Bauernfeind, E. & Haybach, A. (2012) Case 3594. *Ecdyonurus* Eaton, 1868 and *Ephemerella Venosa* Fabricius, 1775 (Currently *Ecdyonurus Venosus*; Insecta, Ephemeroptera): Proposed Conservation of Usage by Designation of a Neotype For *Ephemerella Venosa*. *The Bulletin of Zoological Nomenclature* 69: 1–6.
- Bauernfeind, E. & Soldán, T. (2012) The Mayflies of Europe (Ephemeroptera). *Apollo Books*, Leiden, 781 Pp.
- Bauernfeind, E., Moog, O. & Weichselbaumer, P. (2002) Ephemeroptera. In: Moog, O. (Ed.): *Fauna Aquatica Austriaca*, Lieferung, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium Für Land Und Forstwirtschaft, Umwelt Und Wasserwirtschaft, Wien.
- Belfiore, C., Tanatmış, M. & Kazancı, N. (2000) Taxonomy of *Electrogena Antalyensis* (Kazancı and Braasch) (Ephemeroptera, Heptageniidae). *Aquatic Insects* 22: 261–270. Doi: 10.1076/01650424(200010)22:4; 1y; Ft261
- Berker, F. (1981) Keban Barajı Ve Keban'a Dökülen Nehirler ile Elazığ Bölgesinin Ephemeroptera (Insecta) Limnofaunasının (Larvalarının) Saptanması ve Sistemik İncelenmesi. *Firat University Medical Journal of Health Sciences* 6: 124–139.
- Braasch, D. (1981) Eintagsfliegen Aus Anatolien und Iran (Ephemeroptera, Insecta). *Faunistische Abhandlungen Staatliches Museum Für Tierkunde İn Dresden* 8: 75–79.
- Braasch, D. (1983a) *Siphonurus Muchei* n. sp. Aus Anatolien (Ephemeroptera, Siphonuridae). *Reichenbachia* 21: 185–186.
- Bauernfeind, E. & Soldán, T. (2012) The Mayflies of Europe (Ephemeroptera). *Apollo Books*, Ollerup, Denmark.
- Buffagni, A., Cazzola, M., López-Rodríguez, MJ., Alba-Tercedor, J. & Armanini, D. (2009) Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms. Volume 3- Ephemeroptera. Edited by Schmidt-Kloiber, A., D. Hering. *Pensoft Publishers* (Sofia-Moscow). 254p.
- Buffagni, A., Armanini, DG., Cazzola, M., Alba-Tercedor, J., López-Rodríguez, MJ., Murphy, J., Sandin, L. & Schmidt-Kloiber, A. (2017) Dataset “Ephemeroptera”. [www.freshwaterecology.info-the taxa and autecology database for freshwater organisms](http://www.freshwaterecology.info-the-taxa-and-autecology-database-for-freshwater-organisms), version 7.0 (accessed on 10.01.2018).
- Csoknya, M. & Ferencz, M. (1972) A Study of *Palingenia Longicauda* Oliv. In the Zoobenthos of Tisza and Maros (Ephemeroptera). *Tiscia* 7:47-57.
- Dalkıran, N. (2009) A New Taxa of *Prosopistoma* Latreille, 1833 (Ephemeroptera: Prosopistomatidae) From Northwestern Turkey. *Aquatic Insects* 31: 119–131. Doi: 10.1080/01650420802642414
- Demoulin, G. (1963) Mission E. Janssens En Anatolie (Aoutseptembre 1962) Ephemeroptera. *Bulletin De L'institut Royal Des Sciences Naturelles De Belgique Entomologie* 39: 1–6.
- Demoulin, G. (1965) Resultats De L'expédition Belge Au Moyenorient (Avrilaout 1963) Ephemeroptera. *Bulletin De L'institut Royal Des Sciences Naturelles De Belgique Entomologie* 41: 1–8.
- Edmunds, JR. & Mccafferty, WP. (1988) The Mayfly Subimago. *Annu Rev Entomol* 33:509-529
- Edmunds, GF. (1959) Fresh-Water Biology, JR., John Wiley, Sons Inc. New York, London, 908-916
- Grandi, M. (1960) Ephemeroidea. In: Fauna D'italia In. Bologna: Sattogli Dell'accademia Nazionale Italiana Di Entomologia E Dell'unione Zoologica Italiana (In Italian).
- Harker, J. (1989) Mayflies. *Naturalist's Handbook* 13, Richmond Publishing Co. Ltd.,
- Illies, J. (1968) Ephemeroptera (E İntagsfliegen). *Handb. Zool.* 4(2)2/5:1-63
- Jacob, U. (1977) *Palingenia Anatolica* N. Sp. (Ephemeroptera, Palingeniidae) Aus Der Türkei. *Entomologische Nachrichten* 21: 177–182.
- Kazancı, N. (1987a) *Ecdyonurus Necatii*, A New Ephemeroptera (Heptageniidae) Taxa from Turkey. *Aquatic Insects* 9: 17–20. Doi: 10.1080/01650428709361264
- Kazancı, N. (1987b) New *Drunella* (Ephemeroptera, Ephemerelliidae) Taxa from Turkey. *Mitteilungen Der Schweizer Entomologischen Gesellschaft* 60: 379–382.
- Kazancı, N. (1990a) *Drunella Karia* N. sp. A Second Taxa of The Genus *Drunella* (Ephemeroptera: Ephemerellidae) From Turkey. *Hydrobiologia* 199: 35–42. Doi: 10.1007/Bf00007832
- Kazancı, N. (1990b) on Heptageniidae (Insecta: Ephemeroptera) Fauna of Turkey In: Genus *Electrogena* Zurwerra Et Tomka, 1985. *Hacettepe Bulletin of Natural Sciences and Engineering* 2: 169–180.
- Kazancı, N. (1991) Contribution on The Zoogeography of Asia Minor Based on The Distribution of *Drunella* (Ephemeroptera: Ephemerelliidae) Taxa. In: Alba-Tercedor J, Sanchezortega A (Eds) Overview and Strategies of Ephemeroptera and Plecoptera, Proc. 6th Int. Conf. Ephemeroptera and 10th Int. Symp. Plecoptera; 1989 Jul 24–30; Granada, Spain. Sandhill Crane Press, 271–276.
- Kazancı, N. (1992) On Heptageniidae (Ephemeroptera). Fauna of Turkey I: A New Taxa of The Genus *Afronurus* Lestage, 1924. *Mitteilungen Der Schweizer Entomologischen Gesellschaft* 65: 1–4.
- Kazancı, N. (1998a) Additional Ephemeroptera (Insecta) Records from Turkey and Their Zoogeography. *Proceeding of the*

- 6<sup>th</sup> European Congress of Entomology. 1998 Aug 23–29; Ceske Budejovice, Czech Republic, 418–419
- Kazancı, N. (1998b) Burdur Gölü Ve Acıgöl'ün Limnolojisi, Çevre Kalitesi ve Biyolojik Çeşitliliği. *Türkiye İçsuları Araştırmaları Dizisi* 3, Ankara.
- Kazancı, N. (2001a) Gümüşhane, Erzurum, Erzincan, Artvin, Kars İlleri Ephemeroptera Faunası Üzerine Ön Çalışma. *Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi V* (Ed. Nilgün Kazancı). İmaj Yayınevi, Ankara.
- Kazancı, N. (2001b) Türkiye Ephemeroptera (Insecta) Faunası. *Türkiye İç Suları. Araştırma Dizisi IX*, İmaj Yayınevi, Ankara.
- Kazancı, N. (2009) Ephemeroptera (Insecta) Fauna of Turkey: Records from Eastern Anatolia (Turkey). *Review of Hydrobiology* 2: 187–195.
- Kazancı, N. (2011) Record of *Siphonurus Aestivalis* (Eaton, 1903) (Insecta: Ephemeroptera) Swarms Within Surroundings of Beşşehir Lake (Turkey) and its Habitat Properties. *Review of Hydrobiology* 4: 59–61.
- Kazancı, N. & Braasch, D. (1986) Zwei Neue Heptageniidae (Ephemeroptera) Aus Anatolien. *Mitteilungen Der Schweizer Entomologischen Gesellschaft* 59: 365–368.
- Kazancı, N. & Braasch, D. (1988) On Some New Heptageniide (Ephemeroptera) From Anatolia. *Faunistische Abhandlungen Staatliches Museum Für Tierkunde in Dresden* 15: 131–135.
- Kazancı, N. & Girgin, S. (2008) Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera (Insecta) Fauna of Ankara Stream (Turkey). *Review of Hydrobiology* 1: 37–44.
- Kazancı, N. & Thomas A. (1989) Complements et Corrections a La Faune Des Ephemeropteres du Procheorient: 2. *Baetis Kars* n. sp. de Turquie. *Mitteilungen Der Schweizer Entomologischen Gesellschaft* 62: 323–327.
- Kazancı, N. & Türkmen, G. (2008a) Research on Ephemeroptera (Insecta) Fauna of Yedigöller National Park (Bolu, Turkey): Water Quality and Reference Habitat Indicators. *Review of Hydrobiology* 1: 53–72.
- Kazancı, N. & Türkmen, G. (2008b) Ephemeroptera (Insecta) Türlerinin Bir Koruma Alanındaki Akarsuların Habitat Özelliklerini Ve Koruma Alanı Sınırlarını Belirlemede İndikatör Olarak Kullanılması. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 25: 325–331.
- Kazancı, N. & Türkmen, G. (2012) The Checklist of Ephemeroptera (Insecta) Taxa of Turkey. *Review of Hydrobiology* 5: 143–156.
- Kazancı, N. (1984) New Ephemeroptera (Insecta) Records from Turkey. *Aquatic Insects*, 6,4: 253–258.
- Koch, S. (1980) Beschreibung Der Larve Von *Oligoneuriella Orontensis* N. Sp. Aus Dem Vorderen Orient Und Vergleich Mit Den Paläarktischen Arten Von *Oligoneuriella Ulmer* (Ephemeroptera). *Ergebnisse Der Reisen Von R. Kinzelbach Im Vorderen Orient Nr Xx. Entomologische Zeitschrift* 90: 153–160.
- Koch, S. (1985) Eintagsfliegen Aus Der Türkei Und Beschreibung Einer Neuen *Baetis*art: *B. Macrospinus* n. sp. (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae). *Senckenbergiana Biologica* 66: 105–110.115
- Koch, S. (1988) Mayflies of The Northern Levant (Insecta: Ephemeroptera). *Zoology in The Middle East* 2: 89–112. Doi: 10.1080/09397140.1988.10637565
- Kovach, WL. (1998). MVSP, A Multivariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services: Pentraeth, UK.
- Macan, TT. (1979) Key to The Nymphs of The British Taxa of Ephemeroptera: With Notes on Their Ecology. Ambleside, Eng.: *Freshwater Biological Association*, 1979,79.
- Moog, O., Bauernfeind, E. & Weichselbaumer, P. (1997) The Use of Ephemeroptera As Saprobic Indicators in Austria. In: Landolt, P., M. Sartori (Eds), *Ephemeroptera, Plecoptera: Biology Ecology Systematics* (= Proc. 8th Int. Conf. Ephemeroptera, Lausanne, 1995). Fribourg: 254–260.
- Müllerliedenau, L. (1969) Revision Der Europäischen Arten Der Gattung *Baetis* Leach, 1815 (Insecta, Ephemeroptera). *Gewässer, Abwasser* 48/49: 1–214.
- Özyurt, I. & Tanatmış, M. (2011) Akşehir (Konya-Afyon) ve Eber (Afyon) Gölleri Havzalarının Ephemeroptera (Insecta) Limnofaunası. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering* 8: 29–39.
- Pennak, RW. (1978) Fresh-Water Invertebrates of The United States. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Puthz, V. (1972) Einige Ephemeropteren (Insecta) Aus Der Türkei Gesammelt Von W. Wittmer (Basel). *Mitteilungen Der Schweizer Entomologischen Gesellschaft* 45: 35–36.
- Puthz, V. (1973) Ephemeropteren Aus Den Östlichen Mittelmeerlandern. *Fragmenta Entomologica* 9: 15–19.
- Puthz, V. (1978) Limnofauna Europaea (2nd Ed). Gustav Fischer, Stuttgart, 256–263. Landa
- Salur, A., Darılmaz, MC. & Bauernfeind, E. (2016) An Annotated Catalogue of The Mayfly Fauna of Turkey (Insecta, Ephemeroptera), *Zookeys*.2016; (620): 67–118.
- Sauter, W. (1992) Ephemeroptera, Insecta Helvetica Fauna, 9:1-74.
- Sinitshenkova, N. (1979) Mayflies of the Genus *Rhithrogena* Eaton (Ephemeroptera, Heptageniidae) From Fauna of the Caucasus. *Entomological Review* 58: 811-820.
- Soldán, T. & Landa, V. (1977) Three New Taxa of The Genus *Oligoneuriella* (Ephemeroptera, Oligoneuriidae). *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 74: 10–15.
- Sowa, R., Soldán, T. & Kazancı, N. (1986) *Rhithrogena Pontica* sp. (Ephemeroptera: Heptageniidae) From Turkey. *Aquatic Insects* 8: 67–69. Doi: 10.1080/01650428609361232
- Tanatmış, M. (1995) Sakarya Nehir Sistemi Ephemeroptera Limnofaunası'nın Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 19: 287–298.
- Tanatmış, M. (1997) On the Ephemeroptera Fauna (Insecta) of Thrace. *Zoology in The Middle East* 15: 95–106. Doi: 10.1080/09397140.1997.10637744
- Tanatmış, M. (1999) Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası. Meteksan, Ankara. *Türkiye Ephemeroptera Türleri ve Yayılışları*, 739–747.
- Tanatmış, M. (2000) Susurluk (Simav) Çayı ve Manyas Gölü Havzası'nın Ephemeroptera (Insecta) Faunası. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 24: 55–67.
- Tanatmış, M. (2002) The Ephemeroptera (Insecta) Fauna of Lake Ulubat Basin. *Turkish Journal of Zoology* 26, 53-61.
- Tanatmış, M. (2004a) Filyos (Yenice) Irmağı Havzası'nın Ephemeroptera (Insecta) Faunası. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 28: 229–240.
- Tanatmış, M. (2004b) Gökirmak Nehir Havzası (Kastamonu) ile Cide (Kastamonu) Ayancık (Sinop) Arası Sahil Bölgesinin Ephemeroptera (Insecta) Faunası. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 28: 45–56.
- Tanatmış, M. (2005) Türkiye Ephemeroptera Faunası İçin İki Yeni Alttür: *Heptagenia (Dacnogenia) Coerulans Micracantha* Kluge, 1989 ve *Heptagenia (Dacnogenia)*

- Coerulans Coerulans* Rostok, 1977 (Ephemeroptera: Heptageniidae). *Türkiye Entomoloji Dergisi* 29: 289–294.
- Tanatmış, M. & Ertorun, N. (2006) Bartın Çayı (Bartın) Havzası'nın Ephemeroptera (Insecta) Limnofaunası. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 23: 145–148.
- Tanatmış, M. & Ertorun, N. (2008) Kabalı Çayı (Sinop) Havzası'nın Ephemeroptera (Insecta) Limnofaunası. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2: 329–331.
- Tanatmış, M. & Haybach, A. (2010) *Ecdyonurus Bimaculatus* N. sp., A New Taxa of Mayfly from Turkey (Ephemeroptera, Heptageniidae, Ecdyonurinae). *Lauterbornia* 69:131–140.
- Taşdemir, A., Ustaoglu, Mr., Balık, S. & Sarı, HM. (2008) Batı Karadeniz Bölgesindeki (Türkiye) Bazı Göllerin Diptera ve Ephemeroptera Faunası. *Journal of Fisheries Sciences* 2: 252–260.
- Topkara, TE., Taşdemir, A., Yıldız, S., Ustaoglu, MR. & Balık, S. (2009) Toros Dağ Silsilesi Üzerindeki Bazı Göllerin Sucul Böcek (Insecta) Faunasına Katkıları. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 3: 10–17.
- Türkmen, G. & Kazancı, N. (2013) The Key to The Ephemeroptera (Insecta) Larvae in Running Waters of The Eastern Black Sea Basin (Turkey) With the New Records. *Review of Hydrobiology* 6: 31–55.
- Türkmen, G. & Özkan, N. (2011) Larval Ephemeroptera Records from Marmara Island and Kapıdağ Peninsula (Northwestern Turkey) With New Record of *Baetis Milani* Godunko, Prokopov and Soldán 2004. *Review of Hydrobiology* 4: 99–113.
- Ulmer, G. (1919) Neue Ephemeropteren. *Archiv Fur Naturgeschichte* (A) 85:1–80.
- Verrier, Ml. (1955) Éphéméroptères Capturés En Turquie Et En Iran Par M. K. Lindberg. *Bulletin De La Societe Entomologique De France* 60: 98.
- Vilenica, M., Previšić, A., Kučinić, M., Gattolliat, JL., Sartori, M. & Mihaljević, Z. (2016a) Distribution and autecology of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) in a Mediterranean river in the Western Balkans. *Entomol. News* 126(1):19–35.
- Vilenica, M., Previšić, A., Ivković, M., Popijač, A., Vučković, I., Kučinić, M., Kerovec, M., Gattolliat, JL., Sartori, M. & Mihaljević, Z. (2016b) Mayfly (Insecta: Ephemeroptera) assemblages of a regulated perennial Mediterranean river system in the Western Balkans. *Biologia* 71(9):1038–1048.
- Vilenica, M., Mičetić Stanković, V., Sartori, M., Kučinić, M. & Mihaljević, Z. (2017a) Environmental factors affecting mayfly assemblages in tufa-depositing habitats of the Dinaric Karst. *Knowl. Manag. Aquat. Ecol.* 418(14):1–12.
- Vilenica, M., Ivković, M., Sartori, M. & Mihaljević, Z. (2017b) Mayfly emergence along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem: spatial and temporal patterns, and species-environment relationship. *Aquat. Ecol.* 51:1–17.
- Zelinka, M. (1984) “Production of Several Taxa of Mayfly Larvae”, *Limnologica* (Berlin), 15: 21-41.



# Tarım Makineleri İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması

Fuat Lüle<sup>1\*</sup> Vahdettin Koç<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Adıyaman Üniversitesi, TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9332-0761), [flule@adiyaman.edu.tr](mailto:flule@adiyaman.edu.tr),

<sup>2</sup>Adıyaman Üniversitesi, TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9510-8302), [vkoc@adiyaman.edu.tr](mailto:vkoc@adiyaman.edu.tr),

(İlk Geliş Tarihi 18 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 9 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Lüle F., & Koç V. (2022). Tarım Makineleri İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 191-197.

## Öz

Bu çalışmada tarım makineleri imalatında kullanılan standart dışı çelik, ST37 ve ST 52 çeliklerinin kimyasal alaşımına bakılarak içerikleri ve aşınma özellikleri tespit edilmiştir. İmalatçı firmanın demir-çelik sanayisi hadde ünitesinden çekilen standart dışı, ST37 ve ST52 çeliklerinin Adıyaman Üniversitesi TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölüm atölyesinde ve laboratuvarında bulunan makine ve teçhizatlar kullanılarak bu çeliklerin mekanik davranışları incelenmiştir. Tarım makineleri imalatında kullanılan malzemelerin analizleri yapılarak aşınma davranışları karşılaştırılmıştır. Farklı yüklerde (10-20 ve 30N) ve 500m koşturularak pin on disk kuru aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Çalışma sonucunda aşındırıcı topun malzemeye temas ettiği yerdeki izlerin mikroskop altında incelenmesi sonucunda yük arttıkça aşınma izlerinin iz genişliğinin ve iz derinliğinin arttığı görülmüştür

**Anahtar Kelimeler:** ST52, ST37, Standart dışı çelik, Aşınma, Tarım makinaları.

## Comparison of Pin On Disc Abrasion Properties of ST52 -ST37 and Non-Standard Steel Used in Agricultural Machinery Manufacturing

### Abstract

In this study, the chemical alloy of non-standard steel, ST37 and ST 52 steels used in the manufacture of agricultural machinery was examined and their contents and wear properties were determined. The mechanical behavior of non-standard, ST37 and ST52 steels drawn from the rolling unit of the iron and steel industry of the manufacturer company was studied using machines and equipment located in the workshop and laboratory of the Department of Mechanical and Metal Technologies of the Adıyaman University TBMYO. Wear behaviors were compared by analyzing the materials used in the manufacture of agricultural machinery. They were subjected to pin on disk dry wear test at different loads (10-20 and 30N) and by running 500m. As a result of the study, as a result of examining the traces where the abrasive ball contacted the material under the microscope, it was seen that the trace width and the depth of the wear traces increased as the load increased.

**Keywords:** Non-standard steel, Abrasion, Agricultural machinery.

\* Sorumlu Yazar: [flule@adiyaman.edu.tr](mailto:flule@adiyaman.edu.tr)

## 1. Giriş

Ülkemizde tarım makineleri imalat sanayi giderek üretim kalitesini arttırmaktadır. Traktörlerden çim biçme makinelerine, toprak işleme aletlerinden ekim makinelerine, sulama ekipmanlarından hasat-harman makinelerine kadar birçok makine üretilmekte ve Avrupa ülkeleri dahil olmak üzere dünyada yaklaşık 100 ülkeye ihraç edilmektedir (Yaltrık 2005).

Tarımsal üretimde, verimin artırılmasında tarımsal alet ve makinelerin önemi anlaşılmış olduğundan son yıllarda ülkemizde tarım alet ve makinelerinin imalatına hız verilmiştir. Eş zamanlı olarak İmal edilen tarım makinaları ve teçhizatında kullanılan metalik malzemelerin sürtünmeli kısımlarda çalışmakta olduğundan malzeme ömürleri dikkate alınması, cihazların çalışma ömürlerinin uzaması, kalite standartlarının yükselmesi ile ilgili tarım iş makinalarında önemli etkenlerdendir. Bundan dolayıdır ki tarım makinelerinin, kullanılma amacına uygun olarak tarımsal üretime katkısının iyi olması istenmektedir.

Malzeme bilimindeki hızlı gelişmeler, tarım makineleri imalatında kullanılmak üzere üretilen malzemelerin ısıl işlem kimyasal içerik değiştirilebilirlik gibi teknik özelliklerinin ve kullanım kolaylığı ve ömürlerinin uzun olması istenmektedir. Ancak imalatta kullanılan malzemelerin tarımsal koşullara uygun karakteristikler göstermesi ile erişilebilir, ucuz, tamir onarım ve bakım gibi teknik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Malzemesi uygun teknik özelliklere sahip malzemelerden imal edilmiş tarım alet ve makineleri, çok daha uzun ömürlü olmaktadır (Cingöz, 2008).

Son kullanıcı olarak sahada çalışan tarım makine operatörlerinin, uzun süre kullanabilecekleri verimli, arıza yapmadan minimum sorunla çalışan uzun ömürlü makineler tercih etmektedir. Bunun için kaliteli makine olarak tanımlanan ve üretilen aparat ve cihazların kalite faktörü, cihaz tasarımı ve malzeme seçimi çok önemlidir. Malzeme seçiminin ilk aşaması, kullanım şartlarına uygun malzemenin analizinin yapılması gerekmektedir. İmalatçılar bu konuda hassasiyetle davranmalı ve malzeme seçimini doğru yapmalıdırlar. Aynı zamanda eş zamanlı imal atelye ve fabrikalarda entegre imalat akışının yanı sıra çalışan kalifiye elemanların da tarım alet ve makinelerindeki imalat hataları üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır.

Aşınma; sonuçlarını hissettirmeden oluşan ve oluşurken doğrudan ve dolaylı problemleri de beraberinde getiren mekanik bir olaydır. Genellikle makinede ki hasarların %62'si kullanım hatasından, %38'i teknik eksiklikten doğduğu tahmin edilmektedir. Aşınma %38'lik gruba girmektedir (Ulusoy 1981).

Metinoğlu ve ark. 2006 yılında Toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınmasının yakıt, güç ve zaman gereksinimi üzerine etkileri adlı çalışmada pulluk ve çizeldeki uç demirlerinin aşınma değerlerini saptamışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda bu uç demirlerinin işlevsel özelliklerini kaybedene kadar kullanılmaya devam edilmesinin ekonomik açıdan faydalı olacağını bildirmişlerdir (Metinoğlu ve ark. 2006). Bayhan (1996), çizel imalatı yapan firmaların uç demiri, yaylı kültivatör+döner tırmık kombinasyonlarında kullanılan uç demirlerinin aşınması ve ayrıca aşınmaya etkili olan bazı faktörlerin (ısıl işlem, toprak nemi, toprak penetrasyon direnci, uç demir bileme şekli ve toprak çeşidi) etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda çizel üreten firmaların tamamının malzeme seçiminde hata yaptığını saptamış, aynı zamanda bu firmaların uç demiri olarak kullandıkları malzemeye uygun olan ısıl işlemi uygulamadıklarını açıklamıştır.

Çelikler demir karbon alaşımları olup, diğer bazı alaşım elementlerini de bileşimlerinde bulundurur. Çok farklı bileşimde veya değişik ısıl işlem uygulamalarına tabi tutulmuş binlerce çelik türü vardır. Çeliklerin mekanik özellikleri içerdikleri karbon miktarından önemli ölçüde etkilenir ve karbon miktarı çoğunlukla %1'in altındadır (Bindal ve ark., 2013)

Abrasif aşınma yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sanayii uygulamalarında en sık karşılaşılan mekanik hasarlara genelde abrasif aşınmalar sebep olmaktadır. Bu tip aşınma; madencilik uygulamalarında, toprak kazıma alet ve makinalarında, minerallerin işlenmesinde, tarım aletlerinde ve diğer 13 pek çok uygulamalarda meydana gelmektedir (Misra ve Finnie, 1982).

Genel anlamda abrasif aşınma bir metal yüzeyin abrasif aşınması o yüzeyin aşındırıcı sert parçacıklarla veya kendisinden daha sert pürüzlü bir karşı metal yüzeyle bir yük etkisi altında veya birbirlerine göre zıt yönlerde yüzey boyunca kayma temasında bulunmaları durumunda yüzeyinden malzeme parçacıklarının kopması veya yer değiştirmesi şeklinde tarif edilir (Venkatesan vd, 1997; Axen ve Zum Gahr, 1992; Hutchings, 1992; Vjih, 1975; Khruschov, 1974).

Tarım alet ve makine imalatında birçok alanda ST37 ve ST52 standart çelik kullanılmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında bu çeliklerin çalışma ortamlarında sürtünmeye maruz kalmasına rağmen aşınma özellikleri ile ilgili yetersiz çalışmanın olduğu ve yerel imalatçılarla yapılan görüşmelerde bu çelikleri üreticiden veya toptancı firmadan katalog ürün olarak aldıkları ve ihtiyaca göre kullandıkları, kimyasal içeriğinin veya aşınma testinin yapıp yapılmadığını bilmediklerini bildirmişlerdir. Bu nedenlerden dolayı demir çelik sanayinden alınan ve yerel tarım makinaları imalatçısından temin edilen ST52 ve ST37 ayrıca standart dışı üç çeşit çelik malzeme alınarak yapısal durumu incelenmiş ve pin on disk kuru aşınma testine tabi tutulmuştur (Koç ve Demirel, 2019).

Çalışmada kullanılan standart dışı çelik, ST37 ve ST52 çelikler makalede sırasıyla 1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu numeneler olarak adlandırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan materyal Tarım makineleri imalatı yapan firmanın demir-çelik fabrikası hadde ünitesinde çekilerek imal edilen 1 Nolu, 2 Nolu ve 3 Nolu numuneli çeliklerinin Adıyaman Üniversitesi TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri atölyesinde bulunan cihazlarla teste tabi tutulmuştur.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Teste tabi tutulan 1 Nolu, 2 Nolu ve 3 Nolu numuneli çelikler laboratuvar ortamında çeşitli işlemlerden geçirilmiştir. 10mm kalınlığındaki parçalar 35 mm çapında CNC Plazma kesim cihazında kesilerek deney için kaba numuneler elde edilmiştir (Şekil 9). Kesilen kaba numuneler mekanik ve meteorografik muayeneler için hassas işlemler yapılarak yüzey pürüzlülüğü giderilmiştir. Numuneler spektrometre cihazı ile numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespitinde kullanılan spektrometre (Figure 1. The spectrometer used to determine the analysis of alloyed contents of samples)

Zımparalama ve parlatma işlemi yapılan numuneler önceden hazırlanmış olan  $C_2H_5OH+HNO_3$  kimyasal içerikli solüsyona 10 saniye daldırılarak dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlanan numunelerin meteorografik yüzey görüntüleri mikroskop altında 20X ve 100X büyüklüklerinde görüntüleri çekilerek Şekil 2’de verilmiştir. Dağlanan numuneler aşınma testine alınmadan önce Şekil 3’deki zımparalama ve parlatma makinesinde yüzey pürüzlülüğü en asgari düzeye düşene kadar 500 Devir/dk hızla işlemler yürütülmüştür. Farklı kum büyüklükleri ile kaplı olan P100-P1200 aralığındaki numaralı zımpara kağıtlarında zımparalama işlemi yapılmıştır. Her zımpara kağıdında 5-10 dakika arasında işlenmiştir (Şekil 2). Zımparalama işlemi bittikten sonra parlatma bölümüne alınarak örnekler parlatılmıştır. Burada çuha kullanılarak 1 mikron pasta numuneler üzerine sürülerek parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.

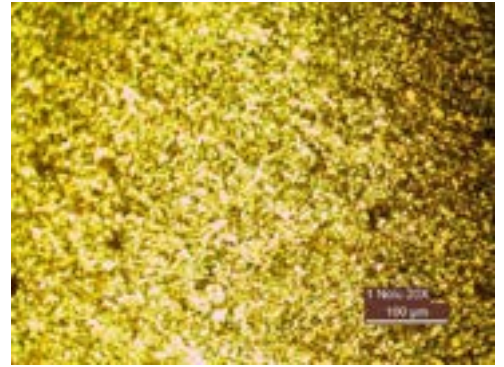


Şekil 2. Zımparalama ve parlatma cihazı (Figure 2. Sanding and polishing device)

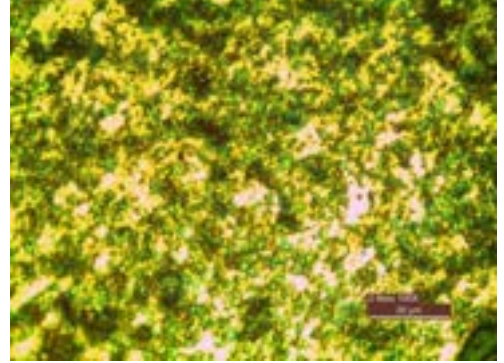
Yapılan dağlama işlemi sonucu metalografik yapıları incelenmek üzere Leica marka optik metal mikroskobunda yüzey taraması yapılarak aşınma testi öncesi malzemelerin 20X ve 100X büyütmede alınan optik mikroskop (Şekil 3) görüntüleri Şekil 4a,b,c’de verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası meteorografik yüzey görüntülerinin alındığı mikroskop (Figure 3. A microscope that takes meteorological surface images of samples before and after abrasion)

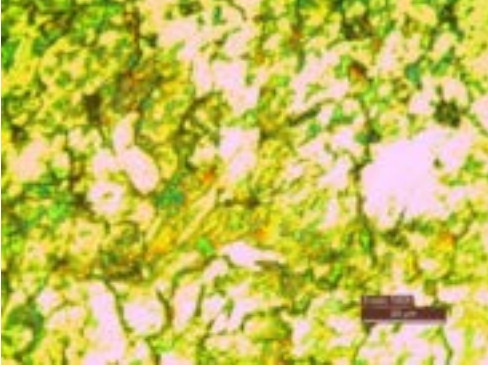


a (1 nolu numune)



b (2 nolu numune)



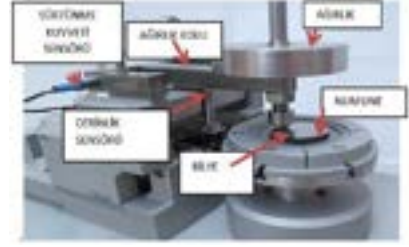


c (3 nolu numune)

Şekil 4(a,b,c). 1-2-3 nolu numunelerin aşınma öncesi 20X ve 100X Meteorografik yüzey görüntüleri (Figure 4(a,b,c). 20X and 100X Meteorological surface images of samples 1-2-3 before wear)

## 2.2. Aşınma Deneyi

Zımparalama ve parlatma işleminden geçirilen numuneler Tribometer T10/20 model ve markalı cihazda pin on disk aşınma testleri yapılmıştır. Cihaz 300 rpm kayma hızı ve 500 m'ye ayarlanarak koşturulmuştur. Farklı yüklerde uygulanan aşınma testi için aşındırıcı malzeme olarak standart 6 mm çapında çelik bilye (TS 100Cr6 esaslı bilye çeliği) kullanılmıştır. 10N, 20N ve 30N olmak üzere üç farklı yük uygulanarak, sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı Şekil 5'te verilmiştir.

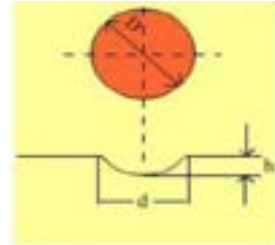


Şekil 5. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı (Figure 5. The tester used in the abrasion test)

Farklı yükler (10N, 20N ve 30N) uygulanan 1,2 ve 3 nolu numunelerin aşınma testi sonrası iz derinliğini hesaplamak için eşitlik 1 kullanılmıştır. Optik mikroskop altında işleme alınan parçaların sürünme iz genişlikleri belirlendikten sonra eşitlik 1 yardımıyla iz derinlikleri hesaplanmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan aşınma derinliği hesaplama yöntemi Şekil 6'da verilmiştir (Koç ve Demirel, 2019)..

$$h = \frac{D^2 - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 1 ( Şekil 6)}$$

( h: iz derinliği, D: Bilye dış çap, d: iz genişliği)



Şekil 6. Aşınma testlerinde kullanılan aşınma derinliği hesaplama yöntemi (Figure 6. The method of calculating the depth of abrasion used in wear tests)

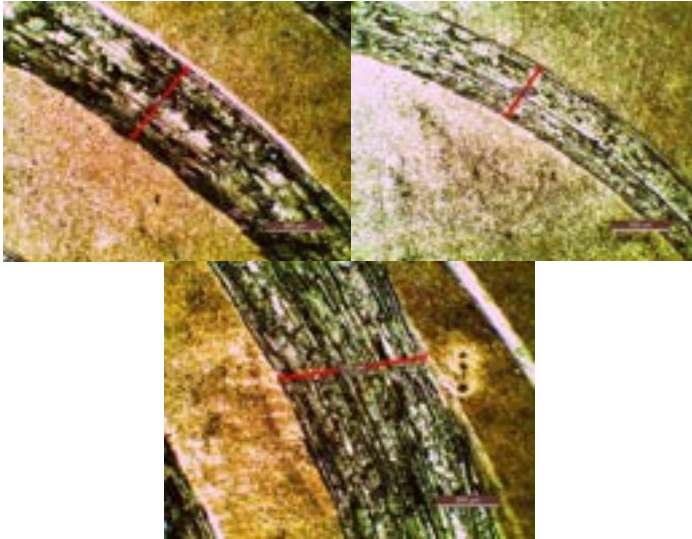
Numuneler Spektrometre ile numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespit edilerek Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde 1 nolu malzemede demir oranı %98.826, 2 nolu malzemede % 98.176 ve 3 nolu malzemede %98.473 olduğu ayrıca her üç metalik elementte de görüldüğü üzere az alaşımlı düşük karbonlu çelik olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Numunelerin spektrometre ile ölçülen analiz sonuçları (Table 1. The results of the analysis of the samples measured by spectrometer)

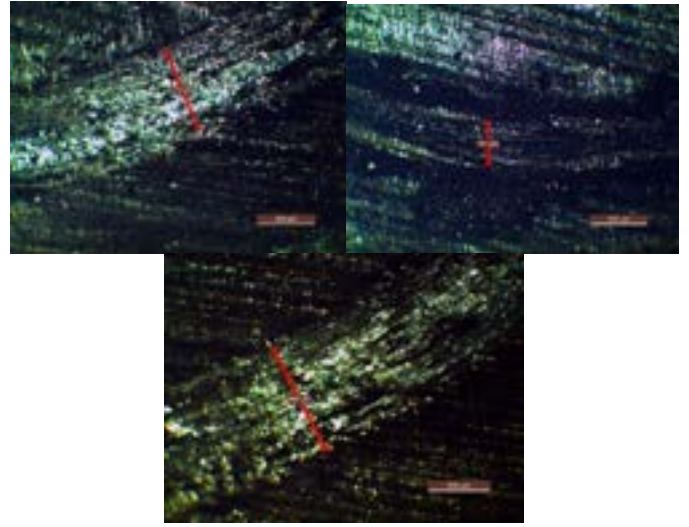
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	Nb%	Al%	Cu%	Co%	B%	Ti%
1 Nolu	0.097	0.047	0.546	0.0130	0.010	0.050	0.012	0.076	0.008	0.022	0.227	0.003	0.0005	0.001
2 Nolu	0.148	0.025	1.392	0.0126	0.014	0.037	0.004	0.045	0.018	0.024	0.041	0.003	0.0005	0.007
3 Nolu	0.106	0.157	1.002	0.0166	0.010	0.037	0.005	0.051	0.012	0.028	0.033	0.002	0.0005	0.013

	V%	W%	Sn%	Ca%	Ce%	La%	Mg%	Pb%	As%	Sb%	Zn%	Zr%	Fe%
1 Nolu	0.000	0.009	0.004	0.0035	0.02	0.005	0.0037	0.005	0.017	0.017	0.012	0.001	98.826
2 Nolu	0.000	0.010	0.001	0.0015	0.002	0.005	0.0042	0.004	0.017	0.013	0.001	0.001	98.176
3 Nolu	0.0000	0.009	0.001	0.0052	0.002	0.005	0.0037	0.004	0.018	0.011	0.001	0.001	98.473

Malzemelerin 10, 20 ve 30 N yükler altında yapılan aşınma testleri sonrası optik mikroskopta görüntülenen aşınma iz görüntüleri Şekil 7 a, b ve c'de verilmiştir. Aşınma testi sonrası alınan görüntüler yük arttıkça iz genişliğinin ve iz derinliğinin arttığı görülmektedir.



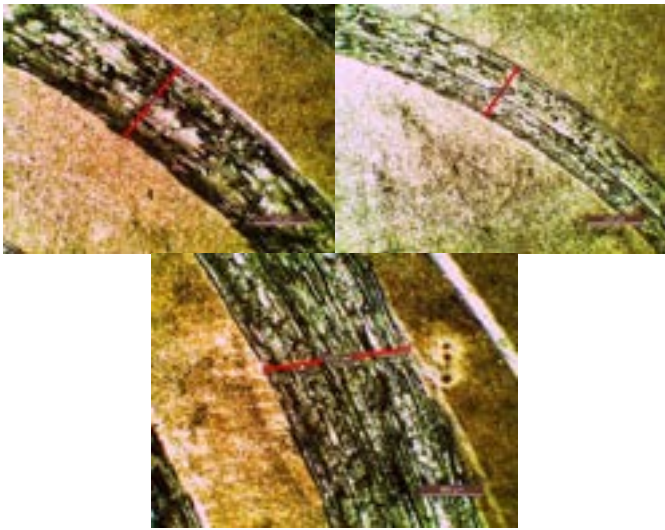
a



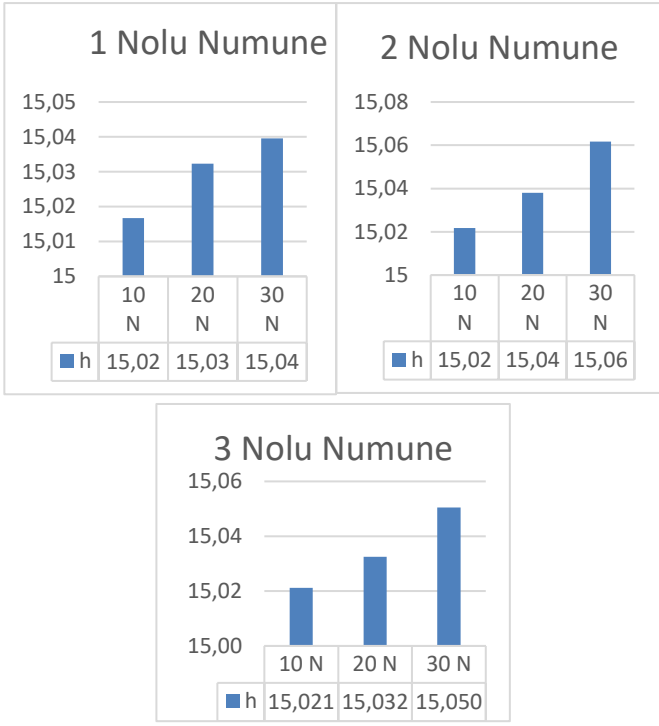
c

Şekil 7 a,b,c. Farklı yükler uygulanan numunelerin aşınma iz görüntüleri (a: 1 Nolu numune, b:2 Nolu numune, c: 3 Nolu numune) [Figure 7 a,b,c. Wear trace images of samples with different loads applied (a: sample No. 1, b: sample No. 2, c: sample No. 3)]

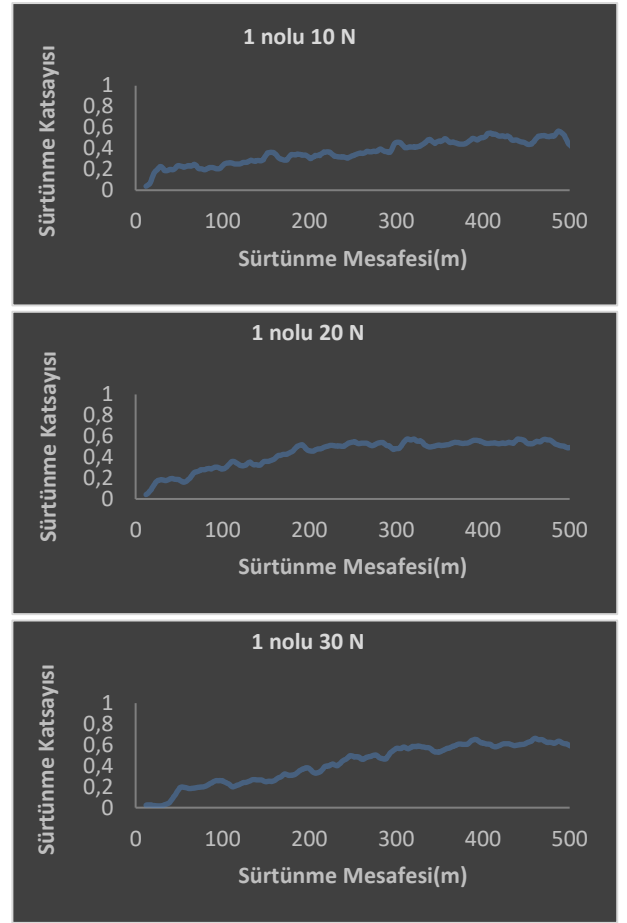
Farklı yükler uygulanan 1, 2 ve 3 nolu numelerinin aşınma işlemi sonucu iz yükseklikleri Şekil 8'de, numunelerin görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde numunelere uygulanan aşınma yükleri dıştan içe doğru artırılarak uygulanmıştır. Aşınma izlerine bakıldığında yükün azalması ile birlikte aşınma iz genişlediğinin azaldığı görülmektedir.



b

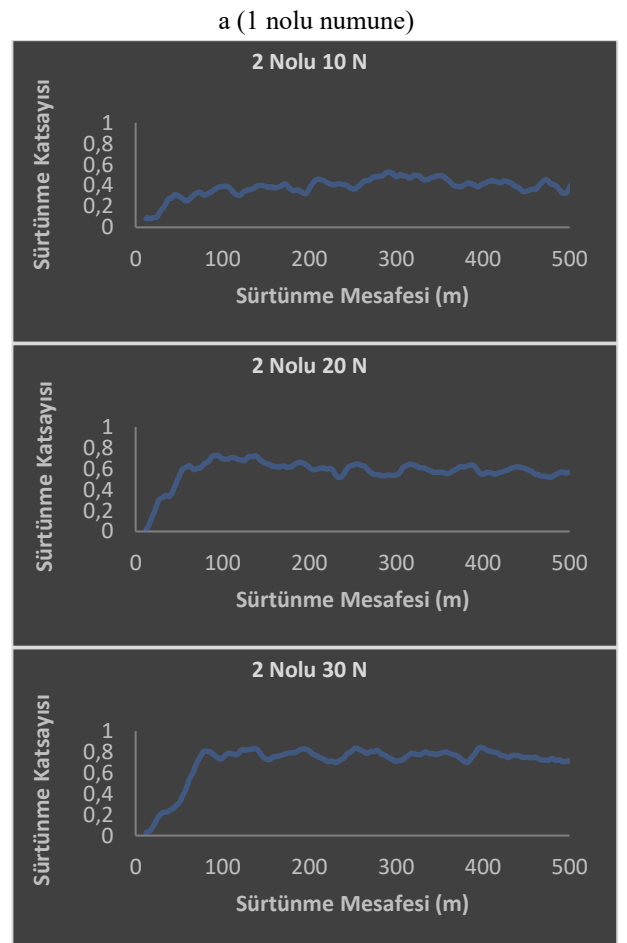


Şekil 8: Farklı yükler uygulanan numunelerin iz derinlikler (h)  
[Figure 8. Trace depths of samples applied to different loads (h)]

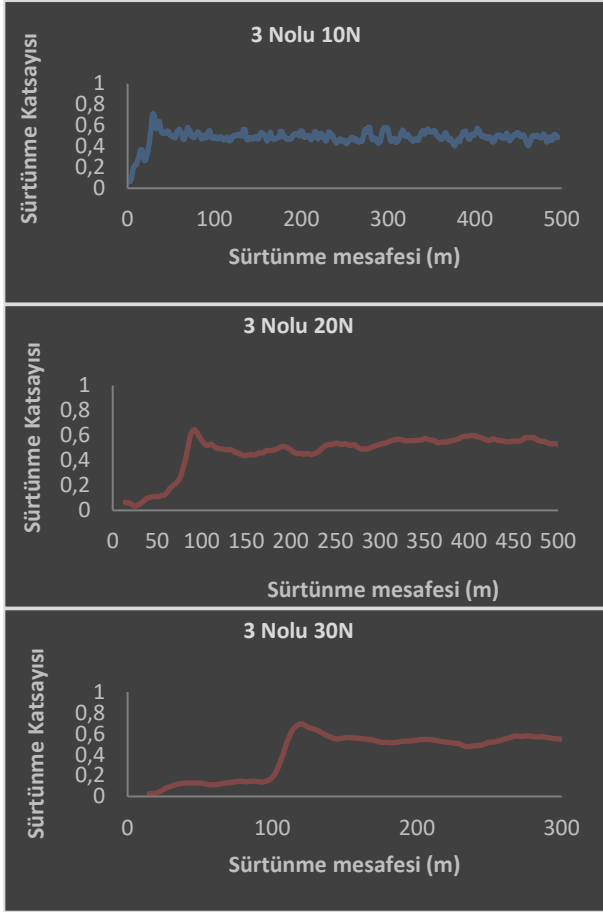


Şekil 9: Farklı yükler uygulanan 1, 2 ve 3 nolu numunelerinin görüntüleri (Figure 9. Images of samples 1, 2 and 3 with different loads applied)

Aşınma testleri sonrası sürtünme katsayısı-Koşurma mesafesi grafikleri Şekil 10 a,b,c'de verilmiştir.



b (2 nolu numune)



c (3 nolu numune)

Şekil 10 a,b,c. Aşınma testleri sonrası sürtünme katsayısı-koşturma mesafesi (Figure 10 a, b, c. Coefficient of friction after wear tests-running distance)

Şekil 10 incelendiğinde anlaşılacağı gibi en yüksek sürtünme katsayısı 3nolu malzeme için 30N yük uygulandığında gözlemlenmektedir. Diğer grafiklerle kıyaslandığında uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısı değerin de de artış gözlemlenmiştir. Ayrıca başlangıç sürtünmelerinde yine düşük yükte aşınma stabil değeri erken mesafelerde gözlenmektedir.

#### 4. Sonuç

Tarım makineleri imalatında kullanılan 1, 2 ve 3 no'lu çeliklere farklı yüklerde aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri sonucunda iz genişliği bütün numunelerde 10 N yük uygulanması sonucu sırasıyla 0.401, 0.507 ve 0.519 mm ölçülürken 30 N yük altında iz genişlikleri sırasıyla 0.944, 1.466 ve 1.202 mm olarak ölçülmüştür. İz derinliği ise sırasıyla 10 N yük uygulanması sonucunda 15.017, 15.021 ve 15.02 mm iken 30 N'da ölçülen iz yükseklikleri sırasıyla 15.040, 15.062 ve 15.051 mm olarak ölçülmüştür. Numunelere uygulanan farklı yüklerin aşınma cihazında 500m koşturulması sonucunda farklı iç genişliği ve iz derinliği bıraktığı gözlemlenmiştir.

Uygulanan yüklerle iz derinlikleri karşılaştırıldığında her üç numunede 10 N yük ile en az iz derinliği ile talaş kaldırma gözlemlenmiş, 30 N'luk yükte ise en yüksek iz derinliği ile birlikte talaş kaldırılması gözlemlenmiştir.

En fazla aşınma 2 nolu numunenin 30N yük altında 15.0617µm olduğu, en az ise 1 nolu numunede ise 15.04 µm

olarak gözlemlenmiştir. Bu yükler karşılaştırıldığında aşınma iz derinliklerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu değerler laboratuvar ortamında hassas ölçümler alınarak ölçülmüştür.

Ancak sahada çalışma şartlarının değişmesi ile küçük farklılıklar gözlenebilir. Yüklerin azalması ile aşınma iz derinlikleri orantılı olarak benzerlik göstermektedir.

Numunelerin sürtünme katsayıları diyagramları incelendiğinde 1 nolu numune için aşınma başlangıç değeri ilk 0-50m'de tırmanmaya başlamış daha sonraki değerleri stabil olarak gözlemlenmiştir. 2 nolu numunede ise 50-75m aralığında tırmanmaya başlamış daha sonraki değerleri stabil olarak gözlemlenmiştir. 3 nolu numunede ise düşük yükte (10N) kaymanın stabil hale gelmesi 0-50m de gözlemlenirken 20 ve 30N yüklerde kaymanın stabil hale gelmesi 100-125m aralığında gözlemlenmiştir.

#### Kaynakça

- Yaltırık A (2005). Avrupa Birliği Genişleme Sürecinde Türkiye Tarım Makineleri İmalat Sektörünün Değerlendirilmesi. [www.zmo.org.tr/etkinlikler](http://www.zmo.org.tr/etkinlikler). Erişim 10.03.2022
- Cingöz S., 2008. Tahıl Ekim Makinaları İmalatında Kullanılan Malzemeler ve Bu Malzemelerin Karakteristik Özelliklerinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- Ulusoy, E., 1981. Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınması Üzerinde Araştırmalar. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:390
- Metinoğlu F., B. Çakmak., Y. Balcı., M. E. Ulusoy. 2006, Toprak İşleme Alet Ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınmasının Yakıt, Güç Ve Zaman Gereksinimi Üzerindeki Etkileri., Tarım Bilimleri Dergisi 2 (2), 173-179, 2006
- Bayhan, Y., 1996. Trakya Bölgesinde İmal Edilen Bazı Toprak İşleme Aletlerinin Uç Demirlerindeki Aşınma Ve Aşınmaya Etkili Bazı Etkenlerin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tekirdağ
- Bindal C., K. Genel., M. Demirkol., R. Artır., M. Bakkal., A. Parasız., 2013. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (William D. Callister, David G. Rethwisch: Çeviri Editörü Kenan Genel), 8. Baskıdan Çeviri, ISBN:978-605-133-418-9
- Misra, A. and Finnie I., "A review of the abrasive wear of metals", Journal of Engineering Materials and Technology, 104 (2): 94-101 (1982).
- Venkatesan, K., Subramanian C. and Summerville E., "Three-Body abrasion of surface engineered die steel at elevated temperatures", Wear, 48 (5): 129-138 (1997).
- Axen, N., and Zum Gahr K. H., "Abrasive wear of tic-steel composite clad layers on tool steel", Wear, 157 (4): 189-201 (1992).
- Hutchings, I. M., "Surface Engineering In Tribology, chapter 8, in: tribology: friction and wear of engineering materials", Edward Arnold Pub., London, 273 (1992).
- Vijh, A. K., "The influence of solid state cohesion of metals an non-metals on the magnitude of their abrasive wear resistance", Wear, 35 (2): 205-209 (1975).
- Khrushchov, M. M., "Principles of abrasive wear", Wear, 28 (4): 69-88 (1974)



# Böbrek Görüntülerinde Filtreleme Tekniği Kullanarak Kist Belirlenmesi

Aziz İlyas Öztürk<sup>1</sup>, Osman Yıldırım<sup>2</sup>, Yavuz Ateş<sup>3</sup>, Ali Kuru<sup>4</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2350-5880), azizozt@yahoo.com

<sup>2</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8900-3050), osmanyildirim@arel.edu.tr

<sup>3</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4168-0861), atesyavuz@hotmail.com

<sup>4</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7681-8659), kuru\_ali@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 12 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 10 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086788)

**ATIF/REFERENCE:** Öztürk, A. İ., Yıldırım, O., Ateş, Y. & Kuru, A. (2022). Böbrek Görüntülerinde Filtreleme Tekniği Kullanarak Kist Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 198-204.

## Öz

Böbrek kistleri, böbrek içinde veya yüzeyinde meydana gelen içi sıvı dolu keseciklerdir. İnsan böbreğinde yaygın olarak görülmektedir. Yaş ilerledikçe böbrek kistlerinin oluşması artar. Böbrekte bulunan taşlar kistlerin oluşmasında bir faktördür. Böbrek kistleri hipertansiyona sebebiyet verebileceği gibi böbrek yetmezliğine ve böbrek fonksiyonlarının yerine getirilememesine neden olabilir. Böbrek kisti tespitinde en yaygın yöntem bilgisayarlı tomografi yöntemidir. Bu çalışmada böbrek kistinin yeri kenar belirleme filtresi ve sobel filtresi kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Değerler ilk önce filtrelerin 3x3 orjinal kernel matris kullanılarak belirlenmiş daha sonra bu matrislerin değerleri değiştirilerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Böbrek Kisti, Kenar Belirleme Filtresi, Sobel Filtresi

## Cyst Detection Using Filtering Technique In Kidney Images

### Abstract

Kidney cysts are fluid-filled sacs that occur inside or on the surface of the kidney. It is common in the human kidney. The incidence of kidney cysts increases with age. It is a factor in the formation of stone cysts in the kidney. Kidney cysts can cause hypertension as well as kidney failure and failure of kidney functions. The most common method for detecting kidney cysts is computed tomography. In this study, the location of the kidney cyst was tried to be determined by using edge detection filter and Sobel filter. The values were first determined by using the 3x3 original kernel matrix of the filters, and then the values of these matrices were changed to obtain the best results.

**Keywords:** Kidney Cist, Edge Detection Filter, Sobel Filter.

\* Sorumlu Yazar: [azizozt@yahoo.com](mailto:azizozt@yahoo.com)

## 1. Giriş

Doku, insanların nesneleri tanıması için temel bir ipucudur. Bilgisayarlı görme ve uygulamalarında doku araştırmaları çok önemli bir yer teşkil eder. Son otuz yılda da gelişmeye açık bir konu olmuştur.

Doku bölütleme, pikselleri doku özelliklerine göre sınıflandırarak tek bir dokuyu görüntü düzleminde farklı dokular arasındaki sınırları lokalize etmeyi amaçlar. Değişmeyen doku analizleri son yıllarda artan önemi nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir.

Görüntü analizi teknikleri birçok tıbbi uygulamada önemlidir. Uygulamalar, normal dokuyu anormal dokudan ayırt etmek gibi çeşitli sınıflandırma görevleri için kullanılan görüntüden özelliklerin otomatik olarak çıkarılmasını içerir. Belirli sınıflandırma kurallarına göre, çıkarılan öznelikler verinin morfolojik özelliklerini, renklerini veya belirli dokusal niteliklerini belirler ( Chen ve ark., 1998 ).

Görüntü bölütleme, birçok görüntü analizi ve bilgisayarlı görme uygulamasında çok önemli olduğundan küçük lokasyonlardaki ortalama gri seviyedeki veya renkteki farklılıklar tek başına görüntü bölütleme için her zaman yeterli değildir. Bunun yerine, komşu piksellerin gri değerlerinin uzamsal düzenlemesindeki farklılıklara, yani dokudaki farklılıklara bakılmalıdır. Dokusal ipuçlarına dayalı bir görüntüyü bölütleme problemi, doku bölütleme problemi olarak adlandırılır.

Böbreklerde birçok kist meydana gelebilir. Bu da böbreklerin büyümesine sebep olabilir. Böbreklerin 40-50 cm kadar büyüklüğe erişebildikleri gibi 10 kiloluk ağırlığa kadar da çıkabilirler. Böbrekler büyümelerine rağmen normal büyüklüklerini de koruyabilirler ( Gabow, 1993 ).

Herhangi bir belirti göstermemelerine rağmen böbrek kistleri, hastalarda ağrı, hipertansiyon, hematüri, obstrüksiyon veya kist rüptürü yani kistin içindeki sıvının artması gibi semptomlara sebep olabilmektedir ( Porpiglia ve ark,2009; Vaidyanathan ve ark., 2009 ).

Yaş ilerledikçe artan böbrek kisti hastalıkları içinde en sık karşılaşılan basit kistlerdir. Basit kistler tek olabildiği gibi çoklu da olabilir. Toplumda bildirilme oranı % 7-10 arasında olup erkeklerde kadınlara oranla iki kat fazla görülür ( Terrada ve ark., 2008; Chang ve ark., 2007 ).

Böbreğinde polikistik bulunan kişilerde idrarında kanla beraber aşırı ağrının bir diğer nedeni de kist yırtılmasıdır. Temasta buldukları kanallara açılmaları nedeniyle idrarda kana ve şiddetli ağrıya yol açabilirler. Kist içindeki sıvı nedeni ile meydana gelen ağrı parmakla gösterilebilecek bir yerde tespit edilebilmesine rağmen ender vakalarda ağrı, karın ve omuzlarda da hissedilebilir ( Odabaşı, 2007 ).

Böbrek dış yüzeyindeki kist rüptürleri, bu rüptürlere bağlı olarak kanamalar meydana getirebilir. Kişi bu gibi bir durumda sürekli bir bögür ağrısından şikayet edebilir. Polikistik böbrek hastalarında böbrek taşları ağrıya sebep olur. Bu taşlar gaz sancısı yani kolik tarzı ağrıyı meydana getirebilir. Taş bulunan bu hastalarda böbreğin işlevi bulunmayanlara göre bozuktur (Odabaşı, 2007 ).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde filtreleme yöntemleri görüntü işlemede özellikle tıbbi görüntüleme önemli bir yer teşkil etmektedir.

MR cihazlarından alınan beyin görüntülerinde Kenar Belirleme Filtreleme yöntemiyle tümör incelemesinde bulunulmuştur ( Yıldız ve ark., 2018 ).

Mr cihazlarından elde edilen beyin görüntülerini Kenar Belirleme Filtreleme, Gaussian Filtreleme kullanılarak beyin tümörü tespit edilmiştir. Verilerden alınan sonuçlar ile öğrenme yöntemleri test edilmiştir ( Arıöz ve ark., 2016 ).

Veri kümesi kullanılarak Gabor Filtreleme'den geçirilen meme görüntülerinde kanser tespiti yapıp öğrenme algoritmalarında doğruluk derecelendirmesi yapılmıştır (Bagdigen ve ark., 2019).

Bu çalışmada böbrek kistlerinin tespiti için filtreleme yöntemi önerilmektedir. Altı farklı filtreleme yöntemi kullanılarak bu filtrelerin 3x3 kernel matris değerleri piksel formatına indirgenerek noktasal olarak karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda kisti Sobel Filtre saptamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Veri Tabanı

Bu çalışmada böbrek kistlerini belirlemek için BT görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır . Veriseti İstanbul İYİTEM Görüntüleme Merkezi'ne ait GE Marka Brightspeed BT cihazından alınmıştır. 1,25 mm kesit kalınlığı olan görüntüler kullanılmıştır. Bu veri kümesinde 1018 böbrek BT görüntüsü bulunmaktadır. Veri setinde 708 böbrek kisti olan ve 310 böbrek kisti olmayan görüntü yer almaktadır. Veri kümesine ait örnek resimler şekil 1 ve şekil 2' de gösterilmiştir. Şekil 1'de kontrast madde kullanılarak elde edilmiş bir görüntü Şekil 2'de ise kontrast madde kullanılmadan elde edilen görüntü vardır. Kontrast madde organlar tarafında damarlar yoluyla emilir ve tümörlü hücrelerde parlamaya neden olur. Kistte ise şekil 1'de görüldüğü gibi parlamaya sebep olmaz.



Şekil 1.Kontrastlı BT Görüntüsü ( Figure 1. Contrast-enhanced CT Image )



Şekil 2.Kontrastsız BT Görüntüsü ( Figure 2. Non-contrast CT Image )

Bu çalışmada Kenar Belirleme ve Sobel Filtreleme yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle kurulum paketleri için openCV, scikit-image, skimage, math, numpy, kütüphaneleri Python ortamında kurularak görüntü işleme süreçlerinde resimler tek bir boyuta indirgenip RGB olarak gri renk ortamına dönüştürülmüştür. 3x3 matris kullanılarak piksel görüntü formatıyla noktasal veriler elde edilmiştir. Kullanılan filtre yöntemleri kenar belirleme-1, kenar belirleme-2, gaussian, üst sobel, alt sobel, sağ sobel ve sol sobeldir.

### 2.1.1. Alçak Geçiren ve Yüksek Geçiren Filtre

Görüntüde ayrıntıları geliştirmek veya ondan bazı bilgiler çıkarmak için Alçak Geçiren ve Yüksek Geçiren iyi bilinen iki filtredir. Alçak Geçiren Filtre bir Gauss yumuşatıcı gibi bulanık görüntü oluşturur, diğer yandan Yüksek Geçiş Filtresi keskin bir görüntü üretmek için parlak ve karanlık piksel arasındaki kontrastı artırır. Alçak frekansları geçirirken yüksek frekansları azaltan filtreye alçak geçiren filtre denir. Alçak geçiren filtre genellikle yumuşatma için kullanılır. Yüksek frekansları etkilemeyen filtreye ise yüksek geçiren filtre denir. Keskinleştirme için genellikle yüksek geçiren filtreler kullanılır.

Görüntü işleme ve filtrelemede en önemli teknik evrişimdir, evrişim dijital görüntünün orijinal bilgisini evrişim çekirdeği ile boyutsal evrişim olarak sarmak anlamına gelen bir ifadedir ( Singh ve ark, 2014 ). Kamera veya tarayıcı ile dijital bir fotoğraf çektiğimizde, genellikle görüntüler gürültülü olur. Gürültü her zaman pikselden piksele hızla değişir çünkü her piksel kendi bağımsız gürültüsünü üretir. Bu yüzden görüntü detayının iyileştirilmesi gerekir, bu iyileştirme birçok görüntü filtresi efekti gerektirir ( Wang ve ark, 2014 ).

### 2.1.2. Gaussian Filtre

Gauss filtreleri, ağırlıkları bir Gauss fonksiyonunun şekline göre seçilen doğrusal yumuşatma filtrelerinin bir sınıfıdır. Gauss yumuşatma filtresi, normal dağılımdan çekilen gürültüyü gidermek için çok iyi bir filtredir. Gauss fonksiyonları, görüntü işlemede faydalı olan özelliklere sahiptir. Bu özellikler, Gauss yumuşatma filtrelerinin hem uzamsal hem de frekans alanları açısından etkili düşük geçişli filtreler olduğunu, uygulanmasının verimli olduğunu ve pratik görüş uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini gösterir.

İki boyutta, Gauss fonksiyonları dönele simetriklerdir. Bu, filtre tarafından gerçekleştirilen yumuşatma miktarının her yönde aynı olacağı anlamına gelir. Genel olarak, bir görüntüdeki kenarlar önceden bilinen belirli bir yöne yönlendirilmeyecektir; sonuç

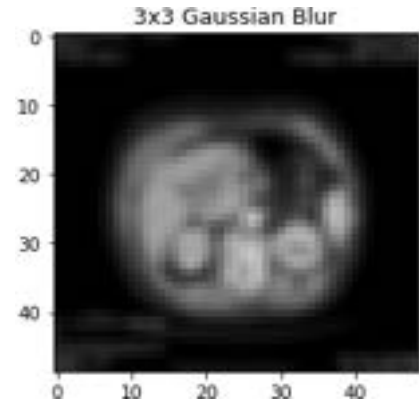
olarak, bir yönde diğerinden daha fazla yumuşatmak için bir neden yoktur. Dönele simetri özelliği, bir Gauss yumuşatma filtresinin sonraki kenar algılamayı herhangi bir belirli yönde saptırmayacağı anlamına gelir ( Jain ve ark, 1995 ).

Bir Gauss'un Fourier Dönüşümü, frekans spektrumunda tek bir yükseltiye sahiptir. Bu özellik bir Gauss'un Fourier Dönüşümü'nün kendisinin bir Gauss olduğu gerçeğinin doğrudan bir sonucudur. Görüntüler genellikle istenmeyen yüksek frekanslı sinyallerle (gürültü ve ince doku) bozulur. Kenarlar gibi istenen görüntü özellikleri, hem düşük hem de yüksek frekanslarda bileşenlere sahip olacaktır. Bir Gauss'un Fourier dönüşümündeki tek yükseltisinde, istenen sinyallerin çoğu korunurken, düzleştirilmiş görüntünün istenmeyen yüksek frekanslı sinyallerin katkılarıyla bozulmayacağı anlamına gelir. Bir Gauss filtresinin genişliği ve dolayısıyla yumuşatma derecesi (sigma) ile parametrelendirilir ve (sigma) ile yumuşatma derecesi arasındaki ilişki çok basittir. Daha büyük (sigma), daha geniş bir Gauss Filtresi ve daha fazla yumuşatma anlamına gelir. İstenen görüntü özelliklerinin aşırı bulanıklığı (çok fazla yumuşatma) ile gürültü ve ince doku nedeniyle yumuşatılmış görüntüdeki aşırı istenmeyen değişiklik (çok az yumuşatma) arasında istenilen görüntüyü elde etmek için yumuşatma derecesini ayarlar ( Jain ve ark, 1995 ).

3x3 Gaussian filtre matris değeri

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıda yazılı olan matris değeri uygulandığında aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

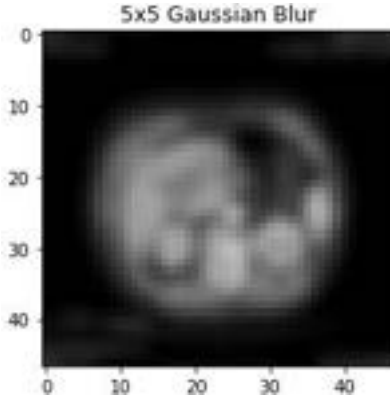


Şekil 3. Gaussian Blur 3x3 (Figure 3. Gaussian Blur 3x3)

5x5 Gaussian filtre matris değeri

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıda yazılı olan matris değeri uygulandığında aşağıdaki sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 4. Gaussian Blur 5x5 (Figure 4. Gaussian Blur 5x5)

### 2.1.3. Kenar Belirleme Filtresi

Görüntülerdeki kenarlar, farklı yoğunluk, doku, renk veya diğer görüntü özelliklerine sahip bölgeler arasındaki geçişler olarak tanımlanır ( Pratt, 1978 ). Birkaç yaygın kenar türü, bölgeleri farklı yoğunluklarda ayırır. Kenarlar, alıta yatan görüntü nesnelere tanım vererek görüntü içeriklerini tanımlamaya yardımcı olabilir. Kenar algılama hedefine ulaşmak, bölütleme, sınıflandırma ve örüntü veya nesne tanıma gibi bilgisayarlı görme algoritmalarındaki hesaplamaları basitleştirebilir.

Karmaşık imajları analiz ederken, mutlak gri seviyelerine ilişkin bilgileri atarak ve yalnızca görüntüde değişikliklerin meydana geldiği yerlerin kaydını tutarak işlenecek veri miktarını basitleştirmek genellikle yararlı olabilir. Birkaç modern teori, görüntü eşleştirme ve nesne tanımadan önce algılama operatörleri ile görüntülerin ön işlenmesine dayanır. Bu nedenlerden dolayı kenar algılama çoğu zaman birçok görüntü işleme prosedürünün ilk aşamalarından biri olarak kabul edilir ( Marr ve Hildreth, 1980. Marr,1976 ).

Doku sınırı tespiti, imajdan elde edilen öznelik görüntülerine uygulanan basit bir kenar algılama yöntemi ile yapılır. Bu yöntem, çeşitli doku örnekleri üzerinde çalışır ve dikkatle kontrol edilen özelliklere sahip sentetik dokuların yanı sıra doğal dokuları da ayırt edebilir.

Görüntü işleme ilk aşamada nesnelere yapısını ve özelliklerini tahmin etmek için görüntülerdeki özellikleri tanımlar. Kenarlar böyle bir özelliktedirler ve görüntüdeki yerel değişiklikler olup görüntüleri analiz etmek için kullanılır. Kenarlar tipik olarak bir imajdaki iki farklı bölge arasında bulunan sınırda oluşur. Kenar algılama, genellikle görüntülerden bilgi kurtarmanın ilk adımıdır. Önemi nedeniyle kenar tespiti aktif bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir ( Jain ve ark., 1995 ).

Görüntüdeki kenar, genellikle görüntü yoğunluğundaki veya görüntü yoğunluğunun birinci türevindeki bir süreksizlikle ilişkili olan, görüntü yoğunluğundaki bir yerel değişikliktir. Görüntü yoğunluğundaki süreksizlikler, görüntü yoğunluğunun süreksizliğin bir tarafındaki bir değerden karşı taraftaki farklı bir değere aniden değiştiği basamaklı süreksizlikler veya görüntü yoğunluğunun aniden değiştiği çizgi süreksizlikleri olabilir. Ancak daha sonra kısa bir mesafe içinde başlangıç değerine döner. Düşük frekanslı bileşenler veya çoğu algılama cihazı tarafından sağlanan yumuşatma nedeniyle, gerçek sinyallerde nadiren keskin süreksizlikler bulunur. Basamak kenarları rampa kenarları haline gelir ve hat kenarları, yoğunluk değişikliklerinin anlık olmadığı ancak sonlu bir mesafe boyunca meydana geldiği çatı kenarları haline gelir ( Jain ve ark., 1995 ).

### 2.1.4. Sobel Filtresi

Sobel Algoritması, görüntü kenar tespiti için önemli bir yöntemdir. Sobel Operatörü'nü sıkça kullanılan diğer birçok kenar algılama operatörü ile karşılaştırarak ve klasik Sobel Operatörü'ü üzerinde daha fazla çalışma yapıldığında, bu operatörün avantajı hızlı algılama hızıdır, bu arada gürültüyü yumuşatma ve bastırmada da etkilidir. Ayrıca, Sobel Operatörü'nün kenar algılama üzerinde iyi bir etkisi vardır.

Sayısal görüntü işlemede kenar özelliği imajın önemli özelliklerinden biridir ve görüntü işleme, görüntü tanıma ve bilgisayarla görmenin önemli bir parçasıdır. Görüntü kenarı algılamanın sonuçları, daha sonraki görüntü işleme ve görüntü tanımayı doğrudan etkiler. Son yıllarda, kenar algılama teknolojisi, dijital görüntü işleme teknolojisinde önemli bir araştırma konusu haline geldi. Bilimin gelişmesiyle ve araştırmacılar, kenar algılama ve kenar algılamanın değerlendirilmesi için bazı yöntemler önermişlerdir. Aynı zamanda, bu kenar algılama teknikleri, bilgisayarla görme ve görüntü tanıma alanına uygulanmakta ve bu da kenar algılama teknolojisinin uygulamasını giderek daha yaygın hale getirmektedir ( Xinfu ve Jiaomin, 2003 ). Yıllar geçtikçe, görüntü bölütlemesi giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Binlerce bölütleme algoritması öne sürülmüştür. Bit eşik yöntemi, kenar algılama yöntemi ve bölgesel büyüme yöntemi olarak ikiye ayrılabilir ( Zhang ve Fang, 2016 ). Kenar algılama yöntemi şunları içerir: birinci dereceden diferansiyel kenar algılama operatörü, Roberts Operatörü, Prewitt Operatörü, Laplacian-Gauss Operatörü ve Sobel Operatörü'nü içerir.

Filtreler yaygın olarak 3x3 matris boyutu tipindedir. Filtre matrisinin niteliği büyüdükçe komşu değerlerin hesaplanması gereğinde fazla olacağından yapılan işlemin hacmi artar, ince ayrıntılar yok olur. Dolayısıyla büyük boyutlu filtreler tercih sebebi değildir.

Sobel Operatörü bir imajın hatlarına karşılık gelen yüksek frekans bölgelerini yani keskin kenarları belirler. Geleneksel Sobel operatörü, birinci türevi temel alan bir kenar algılama operatörüdür, sırasıyla yatay ve dikey kenarları algılayan iki yönde 3x3 kenar algılama şablonuna sahiptir.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel Filtresi Yatay Yön

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel Filtresi Dikey Yön

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 5' de verilen görüntü üzerinde böbrekte bulunan kist belirlenmeye çalışılmıştır. Kist Şekil 6' da kırmızı ile yuvarlak içine alınmıştır.





Şekil 5. Kist'li Görüntü ( Figure 5. Cyst Image )



Şekil 6. İşaretlenmiş Kistli Görüntü ( Figure 6. Marked Cystic Image )

Şekil 5'de imaj python kodlama kullanılarak filtreden geçirilmiştir. Kullanılan filtreler, gaussian, edge detection yani kenar belirleme, bottom sobel, top sobel, left sobel, right sobeldir. Aşağıda verilen matris değerleri için Şekil 5'in filtreli imaj sonuçları Şekil 7'de, Şekil 8'de ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

Kenar Belirleme -1 filtre matris değeri;

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Kenar Belirleme -2 filtre matris değeri;

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Bottom Sobel filtre matris değeri

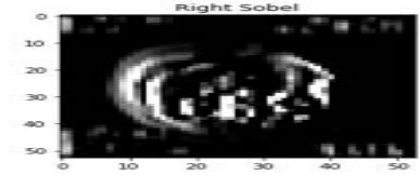
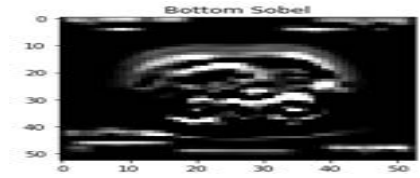
$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Top sobel filtre matris değeri

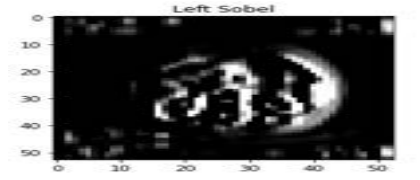
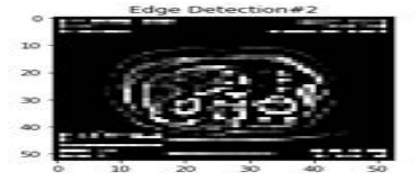
$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Left Sobel filtre matris değeri

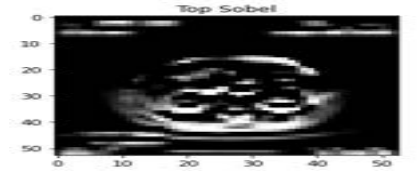
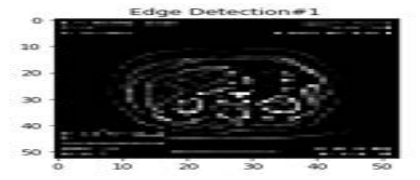
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$



Şekil 7. Bottom Sobel-Right Sobel ( Figure 7. Bottom Sobel- Right Sobel )



Şekil 8. Edge Detection#2- Left Sobel ( Figure 8. Edge Detection#2-Left Sobel )



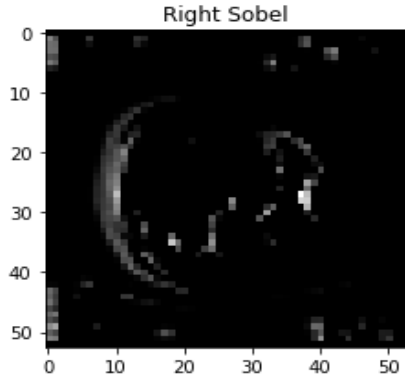
Şekil 9. Edge Detection#1-Top Sobel ( Figure 9. Edge Detection#1 – Top Sobel )

Python ile yazılan koda matrislerin değerleri değiştirildiğinde elde etmek istediğimiz bölgenin Right Sobel Filtre ile belirlenmiştir.

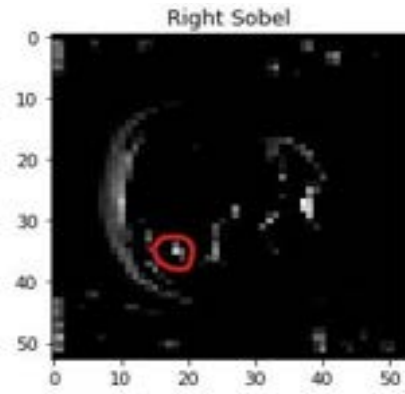
Uygulanan matris değeri şu şekildedir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Elde edilen sonuç çıktısı ise Şekil 10'da gösterilmiş olup Şekil 11'de kırmızı ile işaretlenmiştir.



Şekil 10. Uygulanan Matris Değeri Sonrası İmaj ( Figure 10. The Image After Applying The Matrix )



Şekil 11. Kırımızı ile İşaretlenmiş Kist İmajı ( Figure 11. Cyst Image Marked in Red )

#### 4. Sonuç

Görüntü analizi teknikleri birçok tıbbi uygulamada önemlidir. Genel olarak uygulamalar, hasarlı dokuyu ayırabilmek gibi çeşitli sınıflandırma görevleri için kullanılan görüntüden özelliklerin ayrılmasıyla ilgilidir. Belirli sınıflandırma görevine bağlı olarak, çıkarılan öznelikler görüntünün morfolojik özelliklerini, renk özelliklerini veya belirli dokusal özelliklerini yakalar. ( Tuceryan ve Jain, 1993 )

Hesaplanan dokusal özellikler, kullanılacak uygulama alanı ile yakından ilişkilidir. Doku özellikleri kullanılarak akciğer hastalığının sınıflandırılması incelenmiştir ( Sutton ve Hall, 1972 ).

Farklı tipteki beyaz kan hücrelerini ayırt etmek için çeşitli birinci mertbe değerleri (bir bölgedeki ortalama gri seviye gibi) ve ikinci mertbe değerleri (gri seviye oluşum matrisleri gibi) çıkarılmıştır ( Landeweerd ve Gelsema, 1978 ).

Bu çalışmada böbreklerde bulunan kistlere odaklanılmış ve sınıflandırmak üzere altı çeşit filtreleme yöntemi kullanılmıştır. Kenar belirleme filtreleri kullanılmış olup filtrelerde 3x3 kernel matrisi kullanılarak piksel formatına indirgenmiştir. 3x3 filtreleme matrisi kullanılarak görüntüler piksel formatına indirgenerek noktasal olarak kist tespit edilmiştir. Bu matrislerin orjinal kernel değerleri kullanıldığında kisti belirleyen filtrenin Right Sobel olduğu tespit edilmiştir. Right Sobel'e verilen

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

matris değeri kistin yerinin belirlenmesinde belirgin rol oynamıştır. Görüntü işlemenin her geçen gün sağlık sektöründe daha da önemli bir hale gelmesi ile filtreleme yöntemi kullanılarak gözden kaçabilecek noktalar çok aza indirgenmektedir. Böbreklerde kistin patlaması sonucu kanda enfeksiyona sebep olabileceği gibi taş oluşumuna da sebebiyet verebilir. Bu taşlar böbrekte ağrılara ve idrar yolu enfeksiyonlarına neden olabilir. Böbrek kistlerinin sebebiyet verebildiği diğer sağlık sorunu ise hipertansiyon olabilir. Hipertansiyon sonucu kişide kalpte çarpıntı ve baş ağrısı olabilir. Erişkin hastaların %60'ı çocukların ise %30'unda böbreklerdeki kist nedeni ile böbrek yetersizliği olmadan hipertansiyon görülebilir ( Gabow, 1993 ).

Kistlerde oluşabilecek kistin içindeki kanamalar, bulaşma veya taş oluşumuna bağlı olarak akut ağrılara neden olabilir. Enfekte kistler de ağrılara yol açabilir. Kist enfeksiyonunun en belirgin bulgusu ani başlayan bögür ağrısı ve hastadaki ani ateş yükselmesidir ( Gibson ve ark., 1998; Bajwa ve ark., 2001 ).

Günümüzde tıbbi görüntüleme klinik uzmanlar için daha da önem kazanmaktadır. Hem tanı zamanını kısaltmada hem de klinik uzmanların dikkatinden kaçabilecek ayrıntılar bile filtreleme algoritmaları sayesinde tespit edilebilmektedir.

Literatür incelemelerinde kullanılan imajlar akciğer, beyin ve meme tümörü ayrıca pandemi nedeni ile Covid 19 ağırlıklı akciğer görüntüleridir. Right Sobel Filtreleme kullanılarak böbrek kisti incelemesine rastlanılmamıştır.

MR ve BT cihazlarında görüntülerin analizi için birçok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalar cihazlarda çekim yapılan doku üzerinde klinik uzmanların isteği doğrultusunda kullanılır. Örnek olarak nöronal aktivite sebebi ile beyinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların oluşturduğu sinyal çeşitliliğine dayanarak Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme ( FMRG ) yapılmaktadır. Görsellik, işitme vb. uyarılara hastanın beyinde verdiği uyarılar FMRG ile takip edilir ( Batur, 2020 ).

BT görüntüleme sistemlerinde bu çalışma yazılımın sisteme entegre edilmesi ile uygulama olarak kullanılabilir. Kullanılan uygulama ile böbrekte bulunan kistin 3x3 filtreleme matrisi ile piksel boyutuna indirgenerek noktasal olarak kist tespit edilebilir. Ayrıca klinik uzmanların klinik dışında görüntüleri incelemelerine olanak tanıyan iş istasyonları bulunmaktadır. Bunlara PACS ( Picture Archiving And Communication Systems - Görüntü Saklama ve İletişim Sistemleri ) denilmektedir. Bu sistemler gerek şehirler arası gerekse ülkeler arası imajların gönderimini sağlamaktadır. Bu çalışma iş istasyonlarında da kullanıldığında klinik uzmanlarının klinik dışında da görüntüleri inceleme olanağı verecektir.

#### Kaynakça

- Chen C. H., Pau L. F., Wang P. S. P., (1998). The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition), World Scientific Publishing Co. 215.
- Gabow PA.,(1993). Autosomal Dominant Polycystic Kidney Disease. N Engl J Med.329.322-342
- Porpiglia F., Fiori C., Billia M., (2009). Retroperitoneal Decortication of Simple Renal Cysts vs Decortication with Wadding Using Perirenal Fat Tissue: Results of A Prospective Randomized Trial. BJU Int. 103. 1532-1536.
- Vaidyanathan S., Hughes PL., Oo T., Soni BM., (2008). Spontaneous Rupture of An Infected Renal Cyst and External

- Drainage Through A Lumbar Surgical Scar in A Male Patient with Cervical Spinal Cord Injury: A Case Report. *J Med Case Rep.* 2. 154.
- Terada N., Arai Y., Kinukawa N., Terai A., (2008). The 10-Year Natural History of Simple Renal Cysts. *Urology.* 71. 7-12
- Chang CC., Kuo JY., Chan WL.,(2007). Prevalence and Clinical Characteristics of Simple Renal Cysts. *J Chin Med Assoc.* 70. 486-491
- Odabaşı A.R., (2007). Otozomal Dominant Polikistik Böbrek Hastalığında Renal Bulgular. *Türk Nefroloji Diyaliz ve Transplanstasyon Dergisi.* 16. 12-17.
- Yıldız G., Yıldız D., (2018). Morfolojik İşlemler ve Kenar Algılama Yöntemler Vasıtasıyla Beyin Tümör Yeri Tespiti ve Tümör Alan Hesabının Yapılması. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies.* 2(2) ,39-42
- Arıöz U., Güçer S., (2016). Beyin MR Görüntülerinden Tümör Tespiti İncelenmesi. *Tıp Teknolojileri Kongresi.* Antalya, Türkiye. 27-29 Ekim 2016.
- Bagdigen M.E., Bilgin G., (2019). Histopatolojik Görüntülerde Uzamsal Öznitelikler Vasıtasıyla Meme Kanseri Tespiti ve Derecelendirilmesi. *Tıp Teknolojileri Kongresi.* 331-334,Aydın,Türkiye. 3-5 Ekim 2019
- Singh S. and Prakash N. R., (2014). Modified Adaptive Median Filter for Salt & Pepper Noise, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering.*3. 1.
- Wang W., Swamy M. N. S. and Ahmad M. O. (2014) RNS Application for Digital Image Processing, 4th IEEE international workshop on System-on-chip for Real-time Application, 77-80.
- Jain R., Kasturi R., Schunk B.R., (1995). *Machine Vision.* McGraw – Hill, Inc. , 124-127
- Jain R., Kasturi R., Schunk B.R., (1995). *Machine Vision.* McGraw – Hill, Inc. , 124-127
- Jain R., Kasturi R., Schunk B.R., (1995). *Machine Vision.* McGraw – Hill, Inc. , 140.
- Jain R., Kasturi R., Schunk B.R., (1995). *Machine Vision.* McGraw – Hill, Inc. , 140.
- Pratt,W.K., (1978). *Digital Image Processing.* Newyork, Wiley-Interscience.
- Marr, D. ve Hildreth, E.C. (1980). The Theory of Edge Detection. *Proc. Roy. Soc. London B.* 207. 187-207
- Marr D. (1976). *Early Processing of Visual Information.* Computer Vision Systems; Newyork: Academic Press . 61-80
- Porcello, L.J., Massey, N.G., Innes, R.B. ve Marks, J.M. (1976). Speckle Reduction in Synthetic Aperture Radars. *J. Opt. Soc. Amer.*66.1305-1311
- Xinfu, L. ve Jiaomin, L. ,(2003). Edge Detection on Arc Image of Low Voltage Apparatus. *The Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics.* 02-05 Kasım 2003
- Zhang, C.C, ve Fang, J.D., (2016). Edge Detection Based on Improved Sobel Operator. *International Conference on Computer Engineering and Information Systems. Advances in Computer Science Research, (ACSR).* 52.129-132.
- Tuceryan, M., Jain A.K., (1993). Texture Analysis. *The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision.* 235-276
- Sutton, R. ve Hall, E. L., (1972). Texture Measures for Automatic Classification of Pulmonary Disease. *IEEE Transactions on Computers.* 21.667-676
- Landeweerd, G. H. ve Gelsema E. S., (1978). The Use of Nuclear Texture Parameters in the Automatic Analysis of Leukocytes. *Pattern Recognition.* 10. 57-61.
- Gibson P., Watson ML., (1998). Cyst Infection in Polycystic Kidney Disease: A Clinical Challenge. *Nephrol Dial Transplant.* 13. 2455-2457.
- Bajwa ZH., Gupta S., Warfield CA., Steinman TL., (2001). Pain Management in Polycystic Kidney Disease. *Kidney Int.* 60. 1631-1644



# Trambüs Sisteminin Seçimi ve Uygulama Koşullarının Değerlendirilmesi: Malatya Örneği

Tacettin Geçkil<sup>1</sup>, Bahadır Karabaş<sup>2</sup>, Ceren Beyza İnce<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, [tacettin.geckil@inonu.edu.tr](mailto:tacettin.geckil@inonu.edu.tr), ORCID: 0000-0001-8070-6836

<sup>2</sup> 2'nci Ordu Komutanlığı, [karabasbaha@gmail.com](mailto:karabasbaha@gmail.com), ORCID: 0000-0003-0416-9121

<sup>3</sup> İnönü Üniversitesi, [c.beyzaince@gmail.com](mailto:c.beyzaince@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6385-0964

(İlk Geliş Tarihi 11 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 22 Temmuz 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1101681)

**ATIF/REFERENCE:** Geçkil, T., Karabaş, B. & İnce, C. B. (2022). B Trambüs Sisteminin Seçimi ve Uygulama Koşullarının Değerlendirilmesi: Malatya Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 205-217.

## Öz

Günümüzde, şehirlerdeki nüfus artışına bağlı olarak kent içi toplu ulaşım talebinin artması nedeniyle ekonomik, sürdürülebilir ve yenilikçi teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kent içi toplu ulaşım sistemlerinden biri olarak Trambüs, şehir içi yolcu taşımacılığında kapasitesinin yüksek olması ve enerji tüketimi açısından ekonomik olması nedeniyle, modern çağın elektrikle çalışan, sürdürülebilir ve çevre dostu bir toplu taşıma aracıdır. Trambüs, diğer toplu taşıma araçları ile karşılaştırıldığında düşük ilk yatırım maliyeti ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, diğer fosil yakıtlı toplu taşıma araçlarına kıyasla daha uzun sürede periyodik bakıma ihtiyaç duyması, düşük bakım maliyetleri, kesintisiz hizmet sunması ve işletme maliyetleri açısından avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, 2015 yılında faaliyete geçen Trambüs sistemi, 2013-2015 yılları arasındaki veriler ve seçim kriterleri incelenerek, Malatya kent içi ulaşımı için uygunluğunun diğer şehirler için örnek teşkil etmesi bakımından araştırılması amaçlanmıştır. Trambüs sisteminin seçim kriterleri ve kullanıma başlandığı ilk 5 aylık veriler sonucunda Malatya şehri için uygun bir seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kent İçi Ulaşım, Toplu Taşıma Sistemleri, Metrobüs, Trambüs.

## Selection of Trambus System and Evaluation of Application Conditions: Malatya Example

### Abstract

Today, due to the increase in the demand for urban public transportation due to the population growth in cities, there is a need to use economic, sustainable and innovative technologies. Trambus, as one of the urban public transportation systems, is a sustainable and environmentally friendly public transportation vehicle of the modern age, powered by electricity, due to its high capacity in urban passenger transportation and being economical in terms of energy consumption. Trambus stands out with its low initial investment cost when compared to other public transportation vehicles. In addition, it provides advantages in terms of needing periodic maintenance for a longer period of time, low maintenance costs, uninterrupted service and operating costs compared to other fossil fuel public transportation vehicles. In this study, it was aimed to investigate the suitability of the trambus system, which became operational in 2015, by examining the data and selection criteria between 2013 and 2015, in terms of being an example for other cities for Malatya urban transportation. As a result of the selection criteria of the trambus system and the first 5 months of use, it has been concluded that it is a suitable choice for Malatya city.

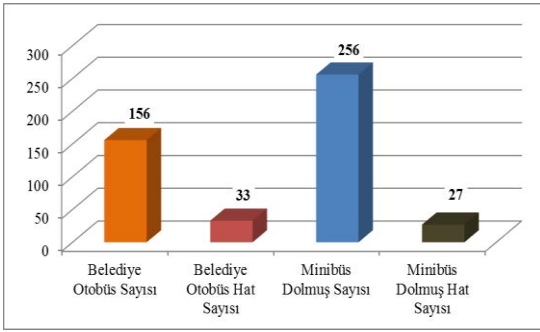
**Keywords:** Urban Transportation, Public Transport System, Metrobus, Trambus.



### 3. Trambüs Sisteminin Seçimi ve Yöntem

#### 3.1 Malatya Toplu Taşıma Sisteminin Bazı Özellikleri

Malatya ilinin 2013 yılı koşullarındaki toplu taşıma hizmetleri, Malatya Belediyesine ait 33 hatta 156 otobüslük filo ile bir Belediye şirketi olan MOTAS tarafından yapılmıştır. Otobüs hatlarının tümü kent merkezi ile bağlantılıdır. Ancak, merkezde sonlanan hat sayısı sınırlıdır. Hatların çoğunda kentin bir yönünden merkeze gelen, merkezi geçip, diğer yönde devam eden ring güzergâhları izlenmektedir. Otobüslerin hareket kontrolü, kent merkezinden yapılmaktadır. Hatların uzunluğu 7,5 km ile 52 km arasında değişmektedir. Uzun hat olarak nitelendirilebilecek grupta üç hat bulunmaktadır. Bu hatlar batı yönünde Organize Sanayi Bölgesine, doğu yönünde Üniversite yerleşkesine ve Kapıkaya'ya hizmet vermektedir. Ayrıca Malatya'da 27 hatta 256 minibüs dolmuş bulunmaktadır. Minibüs hatları, ulaşımın %50'sini karşılamaktadır ve tümünde güzergâhlar merkez uçludur. Tüm hatların merkez durak alanları kent merkezinde bulunmaktadır. Hatların 12 tanesi kentin batısına, 4'ü doğusuna, 7'si güneyine, 4'ü kuzeyine hizmet vermektedir. Hat sayısına paralel olarak minibüslerin çoğunluğu da kentin batısına (sanayi bölgesi) çalışmaktadır [3]. Malatya ilinin 2013 yılına ait toplu taşıma sistemi hat ve araç sayısı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Malatya İlinin 2013 Yılına Ait Toplu Taşıma Sistemi Hat ve Araç Sayısı

Ayrıca, Malatya şehir merkezinde toplu taşıma faaliyetlerinin, bireysel taşıt sayısının fazla olması nedeniyle toplu taşımanın yavaş olduğu, düzensiz kentleşme nedeniyle fazla sayıda düzensiz karayolu yapıldığı, bunun da toplu taşıma planlamasını zorlaştırdığı belirlenmiştir [5]. Bunun yanında, mevcut toplu taşıma sisteminin çağın şartlarına uygun konforda olmadığı, belirli saatler (mesai başlangıcı ve bitişi) ve bölgeler dışında toplu taşıma yolcusunun az olmasından dolayı, toplu taşıma gelirinin düşük olduğu, bu sebeple toplu taşıma mütebbisinde azalma olduğu, toplu taşıma ihtiyacının belirli bölgelerde yoğunlaştığı [3], bölgelerin özellikle MAŞTİ-İnönü Caddesi-İnönü Üniversitesi ve MAŞTİ-Çevreyolu-İnönü Üniversitesi arasında bulunan bölgenin ihtiyaç arz ettiği tespit edilmiştir.

#### 3.2 Toplu Taşıma Sistemlerinin Araştırılması

Malatya kent içi ulaşım için toplu taşıma sistemi araştırılırken, şehir merkezinin doğu ve batı yönünde uzandığı, şehrin batısında MAŞTİ (Otogar) ve doğu yönünde İnönü Üniversitesinin bulunduğu hatta tek yönde yaklaşık olarak saatte 8.000-10.000 yolcu kapasitesi [4] olduğu göz önüne alınarak toplu sistemi araştırması yapıldığı belirlenmiştir. Yapılan araştırmada MAŞTİ-Çevreyolu-İnönü Üniversitesi (1.alternatif) ve MAŞTİ-İnönü Caddesi-İnönü Üniversitesi (2.alternatif) arasında bulunan bölgenin alternatifli olarak ele alındığı görülmüştür. Araştırma kapsamında ele alınan sistemler ve karşılaştırma kriterleri aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

##### 3.2.1 Metro Sistemi

Günümüzde şehir içi toplu ulaşım sistemleri arasında en yüksek yolcu kapasitesine sahip ulaşım sistemi olarak kabul edilen Metro sistemleri, dünyadaki pek çok büyük şehirde ana toplu ulaşım sistemi olarak çalıştırılmaktadır [2]. Bu sistemler, saatlik yolcu kapasitesi 100.000 yolcu olan yüksek yolcu kapasitesine sahip olan sistemlerdir. Büyükşehirlerde en yüksek yolculuk taleplerinin tespit edildiği hatlarda Metro sistemleri tercih edilmektedir [10]. Bu bakımdan Malatya şehrinin ulaşım faaliyeti tek yönde yaklaşık olarak saatte 8.000-10.000 yolcu kapasiteli [4] olarak tespit edildiğinden, Malatya için Metro sisteminin yolcu kapasitesi bakımından çok fazla olduğu değerlendirilmiştir.

##### 3.2.2 Hafif Raylı Sistem

Dünyada ve ülkemizde birçok uygulaması bulunan hafif raylı sistemler, şehir içi raylı toplu taşımacılık sistemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu sistemlerin ortalama kapasitesi saatte 35.000 yolcudur [11]. Ayrıca, bu sistemin yaygın olarak kullanılması, sürdürülebilir ve çevre hassasiyetine sahip olması sebebiyle Malatya için geleceğe yönelik olarak kapasite bakımından uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Ancak, Kayseri hafif raylı sisteminin ilk etabının 2004-2009 yılları arasında [12], Gaziantep hafif raylı sisteminin ilk etabı 2008-2011 yılları arasında tamamlanması [13], söz konusu sistemin tam kapasitesinin uzun ve zorlu inşaat süresi sonucunda faaliyete geçebileceği değerlendirilmiştir.

##### 3.2.3 Sıkıştırılmış Doğal gaz (CNG) Otobüs Sistemi

Türkiye ve birçok ülkede, yakıt ekonomisi ve çevre bilinci nedeniyle CNG kullanan otobüs sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistem, ülkemizde birçok büyükşehirde kullanılmaktadır. Ayrıca bu sistemin mevcut otoyol sistemini kullanması, ilk yatırım maliyetlerini azaltan bir unsur olarak görülmüştür. Ancak, bu otobüslerin CNG ile çalışmasından dolayı bakım, onarım, işletme ve yedek parça maliyetlerinin diğer sistemlere nazaran çok yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca bu sistemde, her ne kadar diğer fosil yakıtlı sistemlere nazaran daha az olsa da, CO<sub>2</sub> salınımı söz konusudur [14]. Ayrıca, sistemin CNG yakıtı kullanmasından dolayı dışa bağımlı olması nedeniyle sürdürülebilir olmadığı değerlendirilmiştir.

##### 3.2.4 Bataryalı Otobüs Sistemi

Bataryalı otobüslerin elektrik ile çalışması nedeniyle enerji tüketimi bakımından ekonomik olduğu, çevre ve hava kirliliğinin

önlenmesi bakımından avantajlar sağladığı öngörülmüştür. Ancak, araştırmanın yapıldığı 2013 tarihinde, bataryalı otobüslerin Türkiye’de sınırlı kullanımının bulunması, ağır olması ve güç sorunlarının bulunduğu [15] tespit edilmiştir. Ayrıca, ağırlıkları nedeniyle yollara zarar verebileceği ve bunun ek maliyetler getirebileceği değerlendirilmiştir.

### 3.2.5 Metrobüs (Dizel Otobüs Sistemleri) Sistemi

Ülkemizde fosil yakıt kullanan körüklü dizel otobüs sınıfında yer alan Metrobüs sistemlerinin lastik tekerlekli sistemler arasında kalite ve yolcu kapasitesi olarak ihtiyaca cevap verebileceği değerlendirilmiştir. Ancak, bu sistemlerin tercihi yolda (kendine ait bir yol) çalışır şekilde genel bir uygulamaya sahip olmasından (İstanbul örneği gibi) dolayı mevcut yolları daraltabileceği ve trafik yükünü arttırabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, literatürde [15] dizel yakıt kullanan Metrobüs sistemlerinin, kullanım ömürlerinin Trambüs sistemine göre daha az olduğu, yüksek yakıt ve bakım maliyetlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bunların dışında, dizel yakıt kullanan bu sistemlerin gaz emisyon salınımlarının fazla olduğu, çevreye zarar verdiği, dizel yakıt kullanması bakımından da dışa bağımlı ve sürdürülebilir bir sistem olmadığı değerlendirilmiştir.

### 3.2.6 Trambüs Sistemi

Toplu taşıma sistemi olarak Trambüs, Dünya genelinde 1930’ların sonunda çok yaygın olarak kullanılmış olmasına rağmen Türkiye’de ilk kez 1947’de kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla birçok şehirde bu sistemlerin yerine, ucuz olması sebebiyle dizel otobüslerin kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Ancak, 1970’li yıllarda meydana gelen petrol krizi sebebiyle fosil yakıt kullanılmayan sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. Böylece, sürdürülebilir yani zaman içinde tükenmeyen kaynakların kullanıldığı toplu taşıma sistemlerinin oluşturulması amaçlanmıştır [16].

Günümüzde kullanılan elektrikli körüklü otobüs sınıfında yer alan Trambüs sisteminin, Dünya üzerinde 40.665 araç, Avrupa da ise 1893 araç ile yaygın bir şekilde kullanıldığı [17], çalışan sistemlerin özellikle yarıdan fazlasının Avrupa ve Asya ülkelerinde olduğu tespit edilmiştir. Avrupa kıtasında İsviçre ve İtalya’nın bu sistemi kullanan ülkelerin başında geldiği görülmektedir.

Tablo 1’de Dünyada ve Avrupa da Trambüs sistemini kullanan kıtalar ve ülkeler görülmektedir.

**Tablo 1:** Dünyada ve Avrupa da Kullanılan Trambüs Sistemleri [17]

Dünyada Kullanılan Trambüs Sistemleri		Avrupa Kullanılan Trambüs Sistemleri	
Kıta	Araç Sayısı	Ülke	Araç Sayısı
Doğu Avrupa	4.482	Avusturya	131
Batı Avrupa	1.893	Belçika	20
Avrasya	26.666	Fransa	199
Kuzey Amerika	1.926	Almanya	104
Güney Amerika	828	Yunanistan	350
Afrika	0	İtalya	388
Avustralya	60	Hollanda	48
Asya	4.810	İsviçre	618
<b>Toplam</b>	<b>40.665</b>	<b>Toplam</b>	<b>1.858</b>

Malatya Belediyesi tarafından tercih edilen Bozankaya firması tarafından üretilen Trambüs sistemi, elektrikle çalışan, körüklü araç sınıfında bulunan hem tramvaylarla hem de otobüslerle ortak özellikleri bulunan bir araçtır. Trambüsler, otobüsler gibi tekerlekler üzerinde hareket eder ve elektrik iletimi için çift kablo kullanırlar. Bu taşıtların kaportaları otobüslere benzer şekilde üretim aşamasından geçmekle beraber, taşıtlar 400 voltun üzerinde düz akımla çalışan elektrik motoruyla hareket ettirilmektedir. Trambüslerin motorları azami seviyede sessiz ve güçlü olmasıyla dikkat çekmektedir. Vasıtalarda debriyaj ve gaz pedalı bulunmaz ve gaz pedalı yerine, akım geçişini ayarlayarak sürati yükselten reosta ismi verilen özel bir pedal bulunur. Araçlarda bulunan bataryalar sayesinde vasıtalar elektrik kesintilerinden ve vasıta üstünde bulunan kabloların temassızlığından etkilenmemektedir. Günümüz şartlarında üretilen ve Şekil 4’de görülen yeni Trambüsler elektrik enerjisi ile birlikte zorunlu durumlarda dizel yakıtı da kullanabilmektedir [18].



Şekil 4: Trambüs Genel Görünümü [18]

Trambüs sistemleri bazı özellikleri ile Tramvay ve Metrobüs sistemleriyle de benzerlik göstermektedir. Trambüsler karma trafik ve tahsisli yollarda sinyalizasyon öncelikli olarak çalışabilmektedir. Çeşitli uzunluklarda üretilen Trolleybüs araçları 12-18-21-24-30 metre uzunluklarında olabilmektedir. 30 metrelik araçlar ile yaklaşık 275 kişilik (6 kişi/m<sup>2</sup>) araç kapasitesi sağlanabilmekte, sık sefer aralıkları ile bir yönde saatte 15.000 yolcu taşınabilmektedir. Ayrıca kış şartlarında tekerlek ve asfalt arasındaki sürtünme katsayısının düşmesinden dolayı oluşan patinaj problemi, çift tahrik verebilme kabiliyeti sayesinde ya azaltılmakta ya da tamamen ortadan kaldırılabilir. Özellikle eğimin %6'dan fazla olduğu bölgelerde Trambüs sistemleri daha avantajlıdır. Trambüsler, %12-15 eğimleri rahatlıkla çıkabilmektedir [18]. Ayrıca, Trambüslerin çalışma ses seviyesinin en fazla 65 dBA'ya çıktığı, bir ofis ortamında gürültü seviyesinin 60 dBA seviyelerinde olduğu [4] düşünüldüğünde ürettiği gürültü ve elektrikle çalışmasının çevrenin korunması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir. Trambüslerin genel teknik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Trambüslerin Genel Teknik Özellikleri [18]

Özellikler	Değerler
Araç Boyu	24700 mm
Araç Genişliği	2550 mm
Araç Yüksekliği	3467 mm
Araç Ağırlığı	23700 kg
Azami Hız	65 km/Saat
Çıkabileceği Maksimum Eğim	18%
En Küçük Dönüş Çapı	23,2 Metre
Araç Nominal Gücü	2x250 kW
Kapı Sayısı	5 adet
Toplam Yolcu Kapasitesi	221 (48 Oturan, 173 Ayakta)
Gürültü Seviyesi	65 dB(A)

### 3.3 Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Seçilmesi

Malatya kent içi toplu taşıma sistemi için tek yönde yaklaşık olarak saatte 8.000-10.000 yolcu kapasitesi [4] olduğu göz önüne alınarak toplu taşıma sistemi araştırmasında, Malatya kent içi toplu taşıma sistemi için uygun olduğu düşünülen Metrobüs, Trambüs ve hafif raylı sistem için karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada yolcu kapasitesi (yolcu/saat), yakıt maliyetleri (TL/km), çevresel hassasiyet (yakıt emisyonu), mevcut koşullara uygunluk, sistemin taşınabilirliği (ihtiyaç kalmadığında taşınma durumu), yolcu konforu, yapım süresi, araç kullanım ömrü, bakım maliyetleri ve arıza sıklığı konuları daha önceki yapılan çalışmalar ışığında analiz edilmiştir. Bu karşılaştırmada varılan sonuçlar ve değerlendirmeler Tablo 3'de özetlenmiştir.



**Tablo 3:** Toplu Taşıma Sistemlerinin Genel Karşılaştırması [5,14,15,17].

	Metrobüs	Trambüs	Hafif Raylı
<b>Yolcu Kapasitesi</b>	10.000-	10.000-	35.000
<b>Yakıt Maliyeti</b>	0,66	0,28	0,24
<b>Çevresel (Partikül)(g/km)</b>	0,47	0	0
<b>Mevcut Koşullara Uygunluk</b>	Uygun (Mevcut Otoyolda)	Uygun (Mevcut Otoyolda)	Uygun Değil (Sisteme ait raylı hat)
<b>Sistem</b>	Taşınabilir	Taşınabilir	Taşınamaz
<b>Yolcu Konforu</b>	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
<b>Yapım Süresi</b>	Kısa	Orta	Uzun
<b>Araç Kullanım</b>	15-20 Yıl	26-34 Yıl	30-40 Yıl
<b>Bakım</b>	Yüksek	Düşük	Düşük
<b>Arıza Sıklığı</b>	Yüksek	Düşük	Düşük

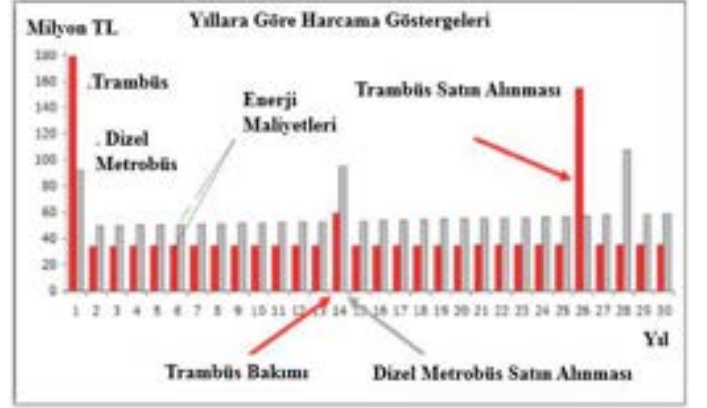
Malatya şehri için düşünülen toplu taşıma sistemi olarak istenen kriterlere uygun olan, birçok bakımdan birbirine yakın özellikler ve avantajlar gösteren hafif raylı sistem ve Trambüs sistemi için ilk yatırım maliyetlerini kıyaslama gereği hissedilmiştir (Tablo 4). Ayrıca kapasite bakımından ihtiyacın çok üstünde olan Metro sistemi bilgi maksatlı ve raylı sistem olma özelliği ile kıyaslamaya dâhil edilmiştir.

**Tablo 4:** Toplu Taşıma Sistemlerinin İlk Yatırım Maliyetleri [19]

Sistem Tipi Maliyeti	Maliyeti (Milyon ABD Doları /Km)
Trambüs (Özel yollu otobüs)	3-13
Hafif Raylı Sistem	13-40
Metro (Hemzemin - Viyadük)	30-100
Metro (Yeraltı)	45-320

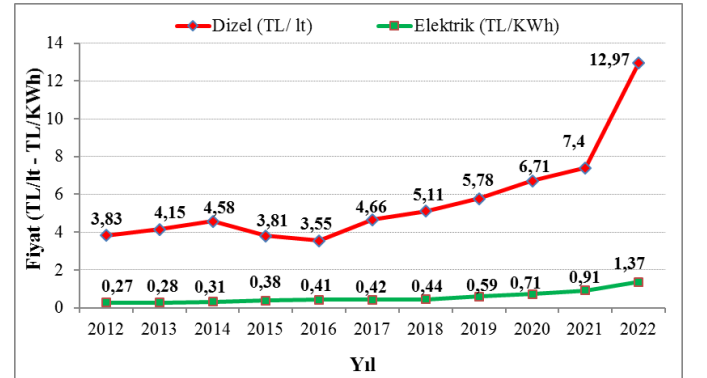
Karşılaştırma neticesinde ilk yatırım maliyeti olarak Trambüs sisteminin, lastik tekerlekli özel yollu otobüs sistemi olarak değerlendirildiği, raylı sistemlerden daha ekonomik olduğu ve aradaki farkın büyük olduğu, seçimin bu kriterler göz önüne alınarak yapıldığı düşünülmüştür. Ayrıca, Trambüs sistemi sürdürülebilirliği ve ekonomik açıdan birçok üstünlüğü barındırırsa bile, ekonomik bir yatırım olarak mevcut sistemin modernize hali olarak düşünülen Metrobüs sistemi ile kıyaslanması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu bakımdan Trambüs ve Metrobüsler sistem kullanım ömürleri göz önüne alınarak 30 yıllık bir periyot için kıyaslanmıştır. Yapılan inceleme neticesinde literatürde [15] ilk yatırım maliyeti olarak Trambüs sisteminin dizel Metrobüslere göre maliyetinin fazla olsa dahi, yıllık enerji maliyetlerinin daha düşük olması ile öne

çıktığı, Metrobüslerin dizel otobüs sınıfında olması sebebiyle, 14 yıl kullanım ömrünün olduğu, Trambüsün ise 26 yıl kullanım ömrü olduğu belirtilmiştir. Yıllara göre bu iki sistemin harcama göstergeleri Şekil 5’de görülmektedir.



**Şekil 5:** Yıllara Göre Trambüs ve Dizel Otobüsün Harcama Göstergeleri [15].

Ayrıca, 2012 ve 2022 yılı arasında TL/kwh ve TL/lt olarak fiyat artışlarının kıyaslamasında, dizel yakıtın ve elektriğin çeşitli dönemlerde farklı oranlarda artış gösterdiği tespit edilmiştir. Elektrik enerjisinin dışa bağımlı olmaması ve yerli kaynaklarla üretilmesi, dizel yakıtının ise dışa bağımlı olması nedeniyle, elektrik ile çalışan sistemlerin uzun vadede avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Dizel ve elektrik fiyatlarının 2012-2022 arasındaki artış grafiği Şekil 6’da verilmiştir.



**Şekil 6:** Dizel Yakıt ve Elektrik Fiyatlarının Artışı 2012-2022 [20,21]

Çevresel hassasiyet bakımından Metrobüs ve Trambüs için karşılaştırma yapıldığında, Trambüsün elektrikli olması sebebiyle doğrudan zararlı gaz salımı yapmadığı ancak dolaylı gaz salımını yaptığı Tablo 5’de görülmektedir. Ayrıca, gürültü kirliliği bakımından literatürde [16] Metrobüsün 80-90 dBA, Trambüsün ise 60-70 dBA arasında ses yayılımının olduğu görülmüştür.

**Tablo 5:** Zararlı Emisyonların Dizel Metrobüs ile Trambüs İçin Karşılaştırması [17]

	Doğrudan Zararlı Salınım		Dolaylı Zararlı Salınım		
	Dizel Metrobüs (g/km)	Elektrikli Trambüs (g/km)	Dizel Metrobüs (g/km)	Elektrikli Trambüs (g/km)*	Elektrikli Trambüs (g/km)**
SO <sub>2</sub>	1,07	0	1,7	0,86	0,43
NO <sub>2</sub>	23,6	0	24,2	1,31	0,66
CO	0,47	0	4,8	0,61	0,31
CO <sub>2</sub>	1204	0	1314	912	456
Partikül	0,47	0	0,5	0,25	0,13

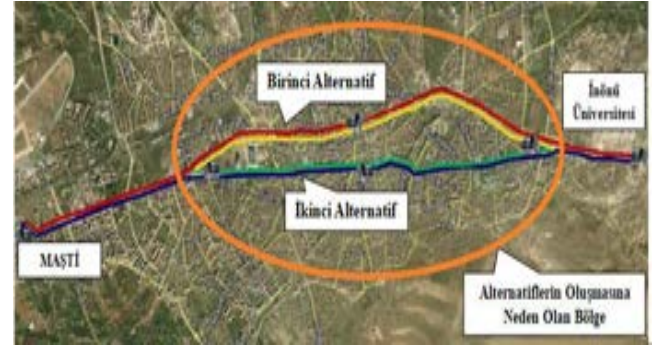
\* Fosil Yakıtlı Elektrik Santralinden Üretilen Elektrikçi Kullanan Sistem

\*\* Hidroelektrik Santralinden Üretilen Elektrikçi Kullanan Sistem

Yapılan analizler neticesinde Malatya toplu taşıma ihtiyacının giderilmesi bakımından Trambüs sisteminin, Dünya ve Avrupa çapında birçok benzer uygulamasının olması, yerli teknoloji ve üretici imkânının bulunması, düşük ilk yatırım maliyeti, hızlı inşaat sürecinin olması, düşük yakıt ve işletme maliyeti, uzun araç ömrünün bulunması, diğer sistemlere göre daha çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması nedeniyle uygun olacağı değerlendirilmiştir.

#### 4. Trambüs Sistemine Ait Bulgular ve Değerlendirmeler

Malatya kent içi ulaşım için toplu taşıma sistemi araştırılırken, şehir merkezinin doğu ve batı yönünde, MAŞTİ (Otogar) ve doğu yönünde İnönü Üniversitesi arasında toplu taşımayı sağlayacak, MAŞTİ-Çevreyolu-İnönü Üniversitesi (1.alternatif) ve MAŞTİ-İnönü Caddesi-İnönü Üniversitesi (2.alternatif) arasında inceleme yapıldığı görülmüştür. Bu iki alternatifte tek yönde yaklaşık olarak saatte 8.000-10.000 yolcu kapasitesi [4] olduğu göz önüne alınmıştır. Burada alternatiflerin oluşmasının nedeninin İnönü Caddesi ve Çevre yolunun yolcu kapasitesinin birbirine yakın ve güzergâh olarak aynı istikamette olmasıdır. Güzergâh çalışması yapılan bölgeler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7: Toplu Taşıma Sistemi Güzergah Alternatifleri

#### 4.1 Trambüs Hattı İçin Güzergah Değerlendirilmesi

##### 4.1.1 Birinci Güzergah Alternatifi

MAŞTİ-İnönü Caddesi-İnönü Üniversitesi güzergahında, İnönü caddesi bölümünden Trambüs güzergahının geçirilmesi düşünülmüştür. Ancak, söz konusu caddenin genişliği, trafik yoğunluğu ve inşaat süreci göz önüne alındığında, bu güzergahın seçilmesi durumunda proje süresi ve bedelinin artabileceği öngörülmüştür. İnönü caddesinin Trambüs yapılması durumundaki görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir. Yapılan kıyaslamalar neticesinde ikinci güzergah alternatifinin incelenmesine karar verilmiştir.



Şekil 8: Birinci Alternatif İçin İnönü Caddesinin Planlanan Görünümü [15]

##### 4.1.2 İkinci Güzergah Alternatifi

MAŞTİ-Çevre yolu-İnönü Üniversitesi güzergahı, ilk alternatifin uygun görülmemesi sebebiyle daha detaylı

incelenmiştir. Bu kapsamda, ilk çalışmalarda Trambüs hattının çevre yolunun sol kesiminde kendine tahsisli bir yolda çalışması planlanmış, fakat inşaat maliyetleri ve yapım süresinin uzaması göz önüne alınarak, yolun sağında Trambüs hattının

oluşturulmasına karar verildiği anlaşılmıştır. Ayrıca bu tercih nedeniyle yolun daralmayacağı ve trafik akışına ek bir yük

getirmeyeceği öngörülmüştür. MAŞTİ-Çevre Yolu- İnönü Üniversite planlanan görünüm için Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: MAŞTİ-Çevre Yolu- İnönü Üniversite Güzergahı İçin Planlanan Görünümü [15].

## 4.2 Trambüs Hattı Yapım Faaliyetleri

Güzergahın MAŞTİ - Çevre Yolu - İnönü Üniversite olarak belirlenmesinden sonra, Mayıs 2013 tarihinde ihaleye çıkılmış, ihale sonucunda Bozankaya firması 19,6 milyon Avro ile ihaleyi kazanmıştır. Trambüs hattının yapımına 21.06.2013 tarihinde başlanmış ve 11.03.2015 tarihinde tamamlanmıştır. Söz konusu hatta toplam 54 istasyon, 37,4 km hat uzunluğu, 9 trafo merkezi ve 1576 enerji iletim direği kullanılmıştır [15].

### 4.2.1 Enerji İletim Direkleri (Katener) ve Kablosunun Montaj Süreci

Trambüs hattında araçların kullandığı elektrik hat gerilimi 750 V DC olan ve katener adı verilen ana Trambüs enerji iletim kablosu ile sağlanmaktadır. Bu hattın kullanılması maksadıyla 10 metre yüksekliğinde 1576 katener direği, 80.200 metre katener kablosu ve 4 makas noktası (MAŞTİ, Emeksiz, Mişmiş Park, Araştırma Hastanesi) kullanılmıştır. Şekil 10'da katener ekipmanları görülmektedir.



Şekil 10: Katener Ekipmanları

### 4.2.2 İstasyonların İnşaat Süreci

Malatya Trambüs sistemi için toplam 54 istasyon yapılmıştır. Bu istasyonların 39 adeti 35 metre uzunluğunda, 2 adeti 30 metre uzunluğunda, 13 adeti 25 metre uzunluğunda

yapılmıştır. Her istasyon için 24 saat kontrol sağlayan bir güvenlik kamera sistemi bulunmaktadır. Turnikelerin her istasyon için engellilerin kullanıma uygun dizayn edildiği görülmüştür. Şekil 11'de istasyon detayları verilmiştir.



Şekil 11: İstasyon Detayları

### 4.2.3 Transformatörlerin İnşa Süreci

Trambüs hattında toplam 9 trafo merkezi ve 3 ana besleme noktası ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamaktadır. Sistemin enerjisi Keban Barajından ve Kahramanmaraş transformatöründen karşılanmaktadır.

### 4.2.4 Trambüs Sisteminin Test Faaliyetleri

Trambüs araçları ve yapımı tamamlanan hat için test sürüşleri 2014 Ağustos'ta yolcu olmadan tamamlanan bölümlerde başlatılmıştır ve Mart 2015'e kadar devam etmiştir. Yolcu ile yapılan testlerden önce Trambüs kum torbaları ile denenmiştir. Sistem tüm hava koşullarında test edilmiştir. Ayrıca aracın hızlandırılması, aracın kalkış, durma ve çekiş testleri enerji hattı ile birlikte yapılmıştır [15]. Şekil 12'de Trambüs'ün test aşamaları görülmektedir.



Şekil 12: Trambüsün Test Aşamaları

Trambüs sistemi, ekonomik ve fiziki sebeplerden dolayı diğer araçlarla aynı yolu kullanmıştır. Bu nedenle birçok sorunun test aşamasında meydana geldiği görülmüştür. Bu sorunlardan en önemlileri Trambüs hattına park yapılması, aşırı yüklü araçların gabari yüksekliğini aşması nedeniyle enerji

hatlarına zarar vermesi, araçların Trambüse öncelik vermemesi, enerji iletim direklerine araçların çarpması vb. olarak tespit edilmiştir. Şekil 13'de Trambüs sisteminin testi esnasında karşılaşılan sorunlar görülmektedir.

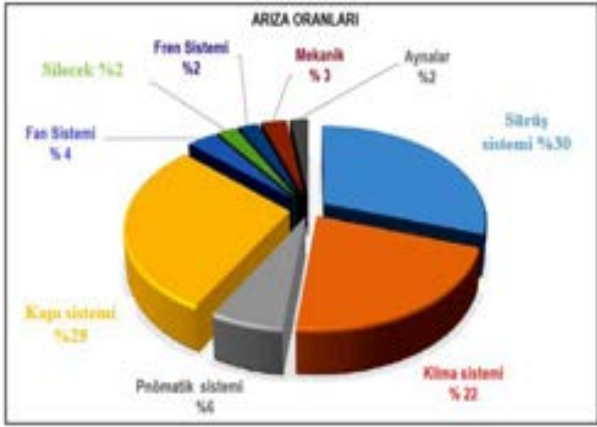


Şekil 13: Trambüs Sisteminin Testi Esnasında Karşılaşılan Sorunlar

Ayrıca, deneme safhasında Trambüs araçlarında toplam 1589 hata veya arıza tespit edilmiştir. Bunların %30'u sürüş

sistemi, %22'si klima sistemi, %6'sı pnömomatik sistem, %29'u kapı sistemi, %4'ü fan sistemi, %2'si silecek, %3'ü mekanik ve

%2'si ayna kaynaklı arızalar olmuştur. Tespit edilen arızaların sadece %27'si hizmetin durmasına sebep olmuştur [15]. Şekil 14'de arıza çeşitlerine göre % oranları görülmektedir.



Şekil 14: Trambüs Araçlarında Test Aşamasında Karşılaşılan Arızalar

### 4.3 Trambüs Sisteminin Kullanıma Açılması

Malatya Trambüs sistemi, yapılan testlerden sonra 30.03.2015 tarihinde hizmete başlamıştır. Sistemin öne çıkan bazı detayları; çalışma saatleri, sefer süresi, sefer aralığı, km'deki yolcu sayısı, enerji tüketimi ve km'deki enerji maliyeti verileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Malatya Trambüs Sisteminin Öne Çıkan Bazı Özellikleri

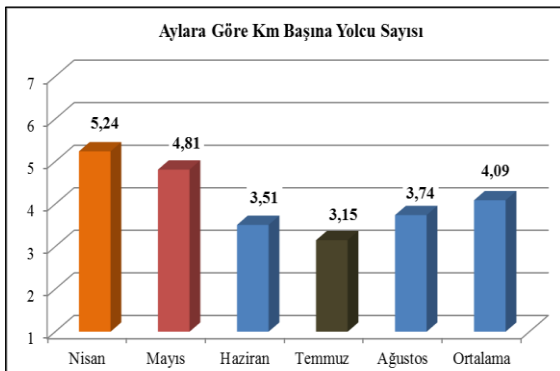
Özellikler	Uygulama / Tespitler
Çalışma Saatleri	06.00 – 23.00
Sefer Süresi	90 dakika
Sefer Aralığı	15 dakika
Km'deki Yolcu Sayısı	4,09
Enerji Tüketimi	2,9 kwh/km
Km Başına Enerji Maliyeti	0,28 Avro

### 4.3.1 Trambüs Sistemindeki Yolcu Sayısı ve Profili

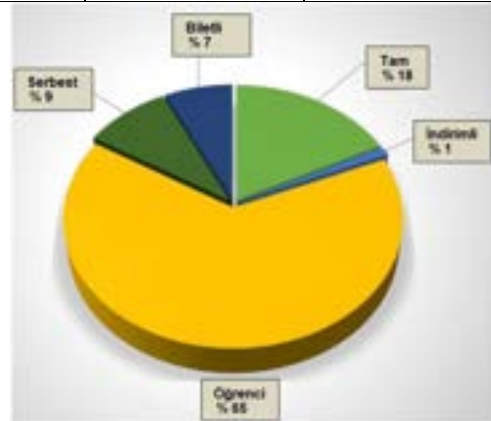
Malatya Trambüs sistemindeki 5 aylık kullanım süresinde aylık ortalama 438.302, toplamda ise 1.741.028 yolcu taşınmıştır [15]. Ayrıca, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ayları için aylık yolcu sayısı, günlük yolcu sayısı, araç başına günlük yolcu sayısı, sefer sayısı, sefer başına yolcu sayısı saptanmıştır. Nisan ve Mayıs aylarında okulların açık olması sebebi ile daha fazla araç ile hizmet verildiği, yaz döneminde ise yolcu sayısının düşmesi ile birlikte yeterli görülen araç sayısı ile hizmet verilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir. Tablo 7'de araç başına ve sefer başına yolcu sayısı ve Şekil 15'de aylara göre km başına yolcu sayısı görülmektedir. Ayrıca, Trambüs sistemini kullanan yolcu profilinin %9'unun serbest, %7 biletli, %18 tam, %1 indirimli ve %65 öğrenci olduğu Şekil 16'da görülmektedir. Öğrencilerin fazla olması, araştırılan aylar göz önüne alındığında seçilen hattın amacına uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 7: Araç ve Sefer Başına Düşen Yolcu Sayısı

Aylar	Aylık Yolcu Sayısı	Günlük Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı	Araç Başına Günlük Yolcu Sayısı
Nisan	434.033	14.468	80	181	1808
Mayıs	438.302	14.139	80	177	1767
Haziran	318.563	10.619	68	156	1517
Temmuz	249.308	8.042	68	118	1340
Ağustos	300.822	9.704	68	143	1617



Şekil 15: Aylara Göre Km Başına Yolcu Sayısı



Şekil 16: Yolcu Profili

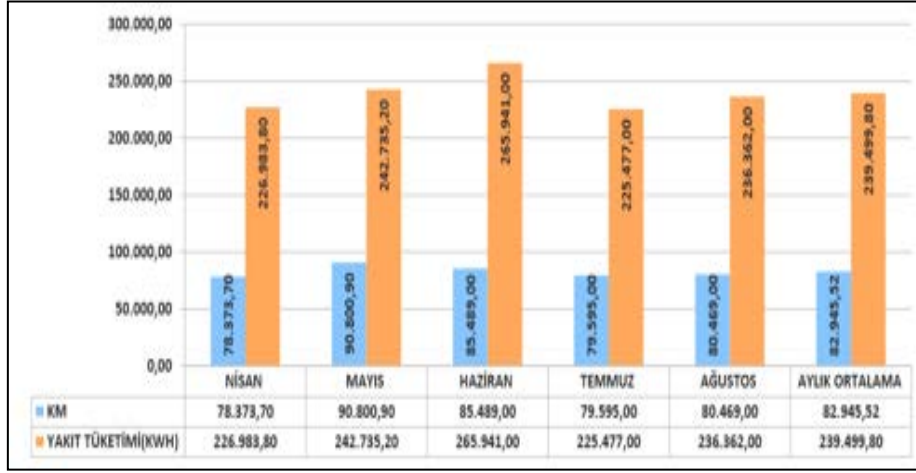
### 4.3.2 Trambüs Sistemindeki Sefer Gerçekleştirme Oranı

Toplu ulaşım sistemlerindeki en önemli kriterlerinden biri olan sefer gerçekleştirme oranları için Malatya Trambüs sistemindeki 5 aylık kullanım süresince inceleme yapılmıştır [15]. Yapılan incelemede planlanan sefer saatleri 06:00-23:00, sefer sıklığı 15 dakika, sefer süresi 85-100 dakika olarak öngörülmüştür. İncelenen Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında toplam 10.615 sefer planlanmış ve 10.604 sefer gerçekleştirilmiştir. Sefer sayısı gerçekleşme oranı %99 olarak tespit edilmiştir.

### 4.3.3 Trambüs Sisteminde Aylara Göre Km Başına Yakıt Sarfiyatı

Malatya Trambüs sistemindeki 5 aylık kullanım süresince, aylara göre yakıt sarfiyatının tespitinde aylık yolcu sayısının en düşük olduğu Temmuz ve Ağustos ayları için yapılan

incelemede, Temmuz ayında 79.595 km için 100.706,53 TL, Ağustos ayında ise 80.469 km için 107.826,25 TL yakıt maliyeti belirlenmiştir. Sadece bu aylar dikkate alındığında yakıt sarfiyatı maliyeti km başına ortalama 1,3 TL olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 5 ay için yapılan incelemede 414.727 km için 395.174,00 TL yakıt maliyeti ve yakıt sarfiyatı bedeli km başına ortalama maliyet 0,95 TL olarak tespit edilmiştir (ortalama kur [22] 1 Avro 2,90 TL olarak alınmıştır). Bu kapsamda Trambüs sisteminin aylara göre km'de yakıt tüketimi (kwh) olarak Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17: Aylara Göre Km Başına Yakıt Sarfiyatı

### 4.3.4 Mevcut Dizel Otobüs Sistemi ile Trambüs Sisteminin Yakıt ve Sürücü Giderlerinin Karşılaştırılması

Malatya kent içi ulaşım sistemi olarak kullanılan dizel otobüs sistemi ile Trambüs sistemi, 5 aylık süre içerisinde taşınan, 1.741.028 yolcu sayısı esas alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır [15]. Yapılan karşılaştırmada 1.741.028 yolcu taşımak için, Trambüs sisteminin 414.727km yol gitmesi gerektiği, yakıt tüketiminin 395.174,00TL, sürücü giderlerinin 181.125,00TL ve toplam maliyetin ise 576.344,00TL olduğu tespit edilmiştir. Aynı yolcu sayısı için dizel otobüs sisteminin

829.454km yol gitmesi gerektiği, yakıt sarfiyatının 1.381.039,00TL, sürücü giderlerinin 362.250,00TL ve toplam maliyetin ise 1.743.289,00TL olacağı hesaplanmıştır. Karşılaştırma neticesinde 5 aylık bir süreç için 1.166.945,00TL'lik bir kazanç olduğu, Trambüs araçlarının kapasitesinin fazla olmasının ve yakıt cinsinin bu karşılaştırmada önemli bir etken olduğu ve dolayısıyla Trambüs sisteminin mevcut dizel yakıtlı sistemlerden çok daha ekonomik olduğu görülmektedir. Bulunan bu sonuçlara göre, yakıt tüketiminde %72 ve sürücü giderlerinde %50 oranlarında tasarruf sağlandığı, belirlenen bu sonuçların literatürde [4] belirtilen tasarruf oranlarıyla (%75) örtüştüğü görülmektedir. Yakıt ve sürücü giderlerinin karşılaştırılması Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 8: Yakıt ve Sürücü Giderlerinin Karşılaştırılması

Dizel Otobüs-Trambüs Sisteminin Yakıt ve Sürücü Giderlerinin Karşılaştırılması (5 Aylık)						
Araç Türü	Kilometre	Yakıt Tüketimi (KWH-LT)	Birim Fiyat (KWH-LT)	Yakıt Tüketimi (TL)	Sürücü Giderleri (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Dizel	829.454,00	373.254,00	3,70 TL	1.381.039,00 TL	362.250,00	1.743.289,00
Trambüs	414.727,00	1.197.499,00	0,33 TL	395.174,00 TL	181.125,00	576.344,00 TL
Fark	414.727,00	-	-	985.865,00 TL	181.125,00	1.166.945,00

### 4.3.5 Trambüs Sisteminin Kullanılmasının Öncesi ve Sonrasının Karşılaştırılması

Trambüs sisteminin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte Malatya kent içi ulaşım sisteminde revizyon yapılmıştır. Bu kapsamda ulaşım hatlarından Şoför Okulu-Üniversite (2B), Şire Pazarı-Üniversite (17A), Şire Pazarı-Araştırma Hastanesi (16A), Şire Pazarı-Araştırma Hastanesi- Cankoç (16C) hatlarından 2 hat

kaldırılmış, Şire Pazarı-Araştırma Hastanesi-Üniversite (16B), Cankoç-Araştırma Hastanesi (16C) hatları revize edilmiştir [15]. Bu revizyon sayesinde Nisan-Ağustos 2015 tarihleri arasında personel ve yakıt giderleri hesaplanarak aylık ve yıllık maliyetler hesaplanmış (Tablo 9, Tablo 10), yıllık 2.843.784,00 TL tasarruf sağlandığı ve tasarruf oranının %51 oranında olduğu belirlenmiştir (ortalama kur [22] 1 Avro 2,90 TL olarak alınmıştır).

**Tablo 9:** Trambüs Sisteminin Öncesindeki Maliyetler

Trambüs Öncesi											
Hat No	Araç Sayısı	Personel Sayısı	Sefer Sayısı	Hat Uzunluğu	Günlük Yol	Günlük Yakıt Tüketimi	Günlük Yakıt Tüketimi	Aylık Yakıt Tüketimi	Aylık Personel Maliyeti	Aylık Toplam Maliyet	Yıllık Toplam Maliyet
	(adet)	(adet)	(adet)	(km)	(km)	(Lt)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)
2B	6	48	44	44,65	1966	924	3.604	108.106	101.913	443.826	5.325.912
17A	12		124	23,72	2941	1529	5.965	178.947			
16A	2		27	22,43	606	315	1.228	36.845			
16C	1		13	25,2	328	154	600	18.015			
Toplam	21		208	116	5841	2922	11.397	341.913			

**Tablo 10:** Trambüs Sisteminin Sonrasındaki Maliyetler

Trambüs Sonrası												
Hat No	Araç Sayısı	Personel Sayısı	Sefer Sayısı	Hat Uzunluğu	Günlük Yol	Günlük Yakıt Tüketimi	Günlük Yakıt Tüketimi	Günlük Yakıt Tüketimi	Aylık Yakıt Tüketimi	Aylık Personel Maliyeti	Aylık Toplam Maliyet	Yıllık Toplam Maliyet
	(adet)	(adet)	(adet)	(km)	(km)	(Lt)	(Kw)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)
T1	9	41	80	37,5	3000	-	8700	2.784	83.52	87.354	220.261	2.643.132
16B	8		29	25,7	745	388		1.511	45.344			
16C	1		24	4,8	115	35		135	4.043			
Toplam	18		133	68	3860	423		4.430	132.907			

T1: Trambüs hattı

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Malatya il merkezinde bulunan toplu taşıma ihtiyacının çağın şartlarına uygun ekonomik, sürdürülebilir ve çevre hassasiyeti bakımından üst düzey bir sistem tarafından giderilmesi maksadıyla 2013 yılından itibaren çalışmalar başlatılmıştır. Bu amaçla, söz konusu ihtiyaca cevap verebileceği değerlendirilen sistemler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sistemler arasında Metrobüs, Trambüs ve hafif raylı sistemler öne çıkmıştır. Malatya Trambüs sisteminin, genel değerlendirme süreci ve kullanıma başlandığı 5 aylık süreç (2015 yılı Nisan ve Ağustos arası) göz önüne alındığında diğer sistemlere nazaran;

ilk yatırım maliyeti, yapım süresinin kısalığı, yakıt tüketimi ve personel maliyeti bakımından daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Ancak, Malatya Belediyesince yapılan kayıtlandırma neticesinde, 5 aylık süreç için maliyet analizlerinde sadece yakıt tüketimi ve personel giderleri bakımından analizler yapılabilmemiş, diğer giderler (bakım, onarım ve amortisman vb.) ele alınamamıştır. Diğer taraftan Trambüs sisteminin çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği bakımından, en yakın alternatifi olan fosil yakıtlı sistemlere kıyasla ekonomik olarak çok daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Bu bakımdan, kent içi ulaşım sistemleri revizyon gereken kentler için raylı sistemlerden ilk yatırım maliyeti olarak daha uygun, fosil yakıtlı sistemlerden

yakıt maliyetleri, işletme giderleri, yenileme maliyetleri, çevresel hassasiyet ve sürdürülebilirlik bakımından daha üstün olduğu düşünülen Trambüs sisteminin uygulanmasının ülke ekonomisine uzun ve kısa vadede katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Malatya il merkezinde bulunan toplu taşıma ihtiyacının karşılanması için 2013-2015 yılları arasındaki şartlar, seçim kriterleri ve uygulama sonuçlarının incelendiği bu çalışmada, Trambüs sisteminin Malatya şehri için o gün ki şartlar altında uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, söz konusu sistemin kullanım süresi ve günümüz şartları ele alınarak daha ayrıntılı ve geniş kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

## 6. Referanslar

- [1] Acar İ.H., (2004), Kentlerimiz İçin Metrobüs Çözümleri, İnşaat Mühendisleri Odası, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3188.pdf>, sayfa 2 (Erişim tarihi 03.01.2022)
- [2] Baştürk,G. (2014), Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri İle Karşılaştırılması, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı.
- [3] Doğan, F.(2014), Kent İçi Toplu Taşıma Sistemleri ve Malatya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Yücel, M. ve Gültaş,P. (2015), Yeşil Lojistik: Yeşil Ulaşım Hizmetleri Malatya Büyükşehir Belediyesi Örneği, Akademik Yaklaşımlar Dergisi, Cilt: 6 Sayı:2.
- [5] Kılıç, İ. (2019), Tramvay Trolleybüs Tercihinin Malatya Örneğinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Anonim (2022a), <http://www.malatya.gov.tr/nufus-ve-idari-yapi> (Erişim Tarihi:03.01.2022)
- [7] Anonim (2022b), <https://www.malatya.bel.tr/malatya/> (Erişim Tarihi: 04.01.2022)
- [8] Anonim (2022c), <http://cografyaharita.com/haritalarim/4lturkiye-mulki-idare-haritasi4.png>(03.01.2022)
- [9] Anonim (2022d), <https://www.nufusu.com/il/malatya-nufusu> (Erişim Tarihi: 03.01.2022)
- [10] Evren G. (1996), Kentsel ulaşımında raylı sistemler, 1. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, sayfa 272-297.
- [11] Kölük E. (2005), Demiryollarının Ülkemizde ve Dünyadaki Gelişimi, TCDD Eğitim Merkezi Yayınlanmamış Ders Notları, Ankara.
- [12] Anonim (2022e), <https://www.kayseri.bel.tr/rayli-sistem-sube-mudurlugu> (Erişim Tarihi: 04.01.2022)
- [13] Anonim (2022f), <https://www.gaziulas.com/Icerik.aspx?ID=19> (Erişim Tarihi: 04.01.2022)
- [14] Acun, M.F. (2020), Trambüs Toplu Taşıma Sisteminin Ulaşım ve Çevre Etkilerinin Belirlenmesi: Malatya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] Uruk, S., ve Tamgacı, E. S. (2015). Malatya trambüs(trolleybüs) sisteminin incelenmesi, Transist-2015 Bildiri Kitabı, 251-264.
- [16] Anonim (2022g), <http://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/6/ego-genel-mudurlugu-tarihcesi>(Erişim Tarihi: : 04.01.2022)
- [17] Tica, S., Filipovic, S., Zivanovic, P., & Bajcetic, S. (2011). Development Of Trolleybus Passenger Transport Subsystems In Terms Of Sustainable Development and Quality Of Life In Cities. International Journal For Traffic And Transport Engineering , 1 (4), 196-205.
- [18] Anonim (2022h), <http://www.bozankaya.com.tr/wp-content/uploads/2019/04/Trambus-katalog.pdf>
- [19] Levinson , H.S., Zimmerman, S., Clinger, J., Gast, J., Rutherford, S. and Bruhn, E., (2003) Bus rapid transit, Volume 2: Implementation Guidelines, TCRP (Transit Cooperative ResearchProgram) Report 90, sayfa 233.
- [20] Anonim (2022i), <https://www.tppd.com.tr/tr/gecmis-akaryakit-fiyatları> (Erişim Tarihi: 08.01.2022)
- [21] Anonim (2022j), <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-fiyatları/> (Erişim Tarihi: 08.01.2022)
- [22] Anonim (2022u), [https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/201507/Jul\\_tr.html](https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/201507/Jul_tr.html) Erişim Tarihi: : 04.01.2022





# Zonguldak İli Çaycuma İlçesinin Geleneksel Cızlama Ekmeği Üzerine Bir Araştırma

Nuran Erdem<sup>1\*</sup>, Süleyman Gökmen<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Aksaray Üniversitesi, Güzelyurt Meslek Yüksek Okulu, Aksaray, Türkiye, (ORCID:0000-0002-7012-9251), [nuran.erdem42@gmail.com](mailto:nuran.erdem42@gmail.com)

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9623-5469), [sugokmen42@hotmail.com](mailto:sugokmen42@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 16 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 6 Temmuz 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1104611)

**ATIF/REFERENCE:** Erdem, N. & Gökmen, S. (2022). Zonguldak İli Çaycuma İlçesinin Geleneksel Cızlama Ekmeği Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 218-228.

## Öz

Ekmeğin tarihçesi on iki bin yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Ekmek, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de beslenmede ilk sırada yer almaktadır. Ekmek, lif kaynağı olmasının yanı sıra yüksek karbonhidrat, mineral, vitamin ve yağ içeriği bakımından insan sağlığına yarar sağlamaktadır. Türkiye, kültürel varlığı ve tarihi geçmişi ile birçok geleneksel gıdanın üretilmesine imkansağlayan büyük bir zenginliğe sahiptir. Bu geleneksel gıdalardan biri de Çaycuma’nın geleneksel Cızlama ekmeğidir. Yörede, yalnızca mısır unu ile yoğrularak mayalanan ekmeğe "kartlaç" adı verilmektedir. Buğday unu, mısır unu, maya ve tuz ile yoğrulan akışkan kıvamdaki hamurun fermentasyonu bırakılarak, taş sac’ta pişirilmesi ile elde edilen ekmeğe ise ‘‘Cızlama ekmeği’’ denilmektedir. Bu çalışmanın amacı, yörede yaşayanlarla yapılan yüz yüze görüşmeler ve araştırmalara dayanılarak, Zonguldak’ın temiz hava ve doğal güzelliklere sahip yeşil ilçesi Çaycuma’nın geleneksel Cızlama ekmeği, bileşenleri, hazırlanışı ve pişirilmesi konularında bilgi vermek ve yöresel ekmeği endüstriyel ekmeklerle bazı kalite özellikleri (pH, küll, nem, renk ve duyuşsal özellikler) açısından karşılaştırmaktır. Fermente ekmeği yuvarlak, dışbükey özellikteki taş "sac" üzerinde pişirilmektedir. Hamur formülasyonunda, yörede doğal yöntemlerle yetiştirilen buğday ve mısırlar kullanılmaktadır. Bileşimi, üretim prosesi ve pişirme parametrelerindeki farklılık, geleneksel ekmeğe üstün tekstürel ve duyuşsal özellikler kazandırmıştır. Yapılan analizlerden duyuşsal parametreler açısından ekmeği içi rengi ve kabuk renginde farklılık ( $p<0.05$ ) bulunmuş, diğer parametrelerde istatistiksel önem tespit edilememiştir ( $p>0.05$ ). Cızlama ekmeğinin, renk değerlerinden  $a^*$  ve  $b^*$  parametreleri, pH değeri, nem ve küll içeriği yüksek bulunmuş ve elde edilen değerlerin istatistiksel bakımdan önemli ( $p<0.05$ ) olduğu belirlenmiştir. Tüm bunlardan dolayı Cızlama ekmeğinin duyuşsal kalite olarak kabul edilebilirliği ve mineral içeriğinin yüksek olması nedeniyle endüstriyel olarak bu ekmeğinin üretilbileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Cızlama ekmeği, Fermentasyon, Mısır unu, Geleneksel gıda, Zonguldak, Çaycuma.

## A Study on Traditional Cızlama Bread of Çaycuma District, Zonguldak Province

### Abstract

The history of bread goes back to twelve thousand years ago. Bread takes the first place in nutrition in Turkey as it is in the whole world. Bread, which is a source of fiber, provides a positive health contribution in terms of high carbohydrate, mineral, vitamin and fat content. Turkey, with its cultural assets and historical background, has a great wealth that enables the production of many traditional foods. One of these traditional foods is the traditional Cızlama bread of Çaycuma. In the region, the bread that is fermented only by kneading with corn flour is called "kartlaç". The bread obtained by leaving the dough in fluid consistency kneaded with wheat flour, corn flour, yeast and salt for fermentation and baking on stone hair is called "Cızlama bread". The difference in composition, production process and baking parameters have given traditional bread superior textural and sensory properties. The aim of this study is to give information about the local Cızlama bread, its components, preparation and cooking of Çaycuma, the green district of Zonguldak, which

\* Sorumlu Yazar: [nuran.erdem42@gmail.com](mailto:nuran.erdem42@gmail.com)

has clean air and natural beauties, based on face-to-face interviews with the people living. In addition, Cızlama bread is compared with industrial breads in terms of some quality characteristics (pH, ash, moisture, color and sensory properties). Fermented bread is baked on a round, convex "sheet" made of stone. Wheat and corn grown in the region by natural methods are used in dough formulation. The difference in composition, production process and baking parameters have given traditional bread superior textural and sensory properties. From the analyzes made, there was a difference ( $p < 0.05$ ) in bread crumb color and crust color from sensory parameters and no statistical significance was determined in other parameters ( $p > 0.05$ ). Color values ( $a^*$  and  $b^*$  parameter), pH, moisture and ash content were found to be high in Cızlama bread and the obtained values were determined to be statistically significant ( $p < 0.05$ ). Because of all these, it has been concluded that this bread can be produced industrially due to the acceptability of Cızlama bread as sensory quality and its high mineral content.

**Keywords:** Cızlama bread, Fermentation, Corn flour, Traditional food, Zonguldak, Çaycuma.Xxxx, Xxxx, Xxxx.

## 1. Giriş

Tarihçesi on iki bin yıl öncesine kadar uzanan ekmeğin (Emeksizoglu, 2017), lif kaynağı olmasının yanı sıra yüksek karbonhidrat, mineral, vitamin ve yağ içeriği bakımından insan sağlığına yarar sağlamaktadır (Hasselbalch ve ark., 2010). Ekmek, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de beslenmede ilk sırada yer almaktadır. Besleyici ve doyurucu olması, kolay temin edilebilmesi, nötr tat ve aromaya sahip olması, çeşitli gıdaların yanına katık edilebilmesi, fiyat avantajı ve evlerde üretilen çok sayıda çeşidinin bulunması gibi nedenlerle özellikle tahıllı dayalı bir beslenmenin yaygın olduğu ülkemizde vazgeçilemeyen gıdalar arasında bulunmaktadır. Tüketici talepleri, ülkemizin çeşitli yörelerinde üretilen geleneksel ekmeğin çeşitleri üzerine artan çalışmalar doğrultusunda bu ekmeklerin sektöre kazandırılması ile ekmeğin sektöründe her geçen gün artan çeşitlilik ve yaşanan rekabet sonucu pazar büyümeye devam etmektedir (Erdem ve Karakaya, 2020).

Kişi başına yılda ortalama 200-300 kg ekmeğin tüketimi gerçekleştirilen ülkemizde; insanların tükettikleri günlük enerjinin %66’sı tahıllardan, bu oranın %56’lık kısmı ise yalnızca ekmekten karşılanmaktadır (Keçeli, 2013). Tarihte, ekmeğin üretim teknolojisi, gıda üretim teknolojileri arasında ön sıralarda yer almaktadır. Ekmeğin üretiminin kayıt altına alınması, ekmeğin üretim teknolojisinin geliştirilmesi, geleneksel ekmeklere ait veri kaybının engellenmesi ülke ekonomisine de olumlu katkı sağlayacaktır (Erdem ve ark., 2017). Tüketilen ekmeğin çeşidi ve miktarı; aktivite, alışkanlık, sağlık durumu, günlük enerji gereksinimi ve çalışma koşullarına göre değişim göstermektedir.

Fermentasyon, formülasyon, şekil, büyüklük, özgül hacim, kabuk ve ekmeğin içi özellikleri gibi unsurlardan dolayı dünya genelinde üretimi yapılan çok sayıda ekmeğin çeşidi bulunmaktadır (Elgün ve Ertugay, 2000). Bazı ülke isimleri, kendilerine özgü ekmekleri ile birlikte anılmaktadır (Qarooni, 1996). Francala ekmeği, sandviç ekmeği ve tava ekmeği gibi dünyada üretilen; bazlama, yufka, göçmen ve pide ekmeği gibi ülkemizde üretilen ekmeğin çeşitleri bulunmaktadır. Ayrıca, mısır, çavdar, yulaf ve kepek gibi çeşitli tahılları ile üretilen ekmekler bulunmaktadır (Özer, 1998; Gencer, 2011; Arlı ve Işık, 1994). Özellikle bazı bölgelerimizde (Karadeniz Bölgesi) mısır unu, ekmeğin yapımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şahin, 2001). Karadeniz yöresinin sahip olduğu kültürel değerlerinden biri de, temel gıda olarak kabul edilen mısırdır (Şişman, 2009). Mısır, yüksek nişasta içeriğinden dolayı gıda, kimya, ilaç ve tarım endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, dünyanın en önemli hammaddelerinden biridir (Miano, 2017). Mısır ekmeği, genellikle mısır unu, tuz ve su ile hazırlanan, mayasız hamur ile yapılmaktadır. Ancak Batı Karadeniz’in bazı yörelerinde (Sinop, Türkeli, Kastamonu, İnebolu) mayalı hamur ile yapılmaktadır (Arlı ve Işık., 1994).

Temel bir gıda maddesi olan ekmeğin, ana bileşenleri buğday unu, maya, tuz ve suyun belirli miktarlarda karıştırılarak yoğrulması, elde edilen hamurun belirli bir süre fermentasyona bırakılması ve pişirilmesi ile elde edilmektedir (Elgün ve Ertugay, 2000). Un bileşimi proteinler, karbonhidratlar, lipitler, mineral maddeler, vitaminler, su ve enzimlerden oluşmaktadır. Her biri farklı önem ve işleve sahip olan bu bileşenlerin, un içerisindeki miktarları ve birbirlerine oranları çeşitli faktörlere göre değişiklik göstermektedir (Lazsisty, 1986; Pyler, 1988).

Bazı ekmeklerin üretiminde kullanılan ekşi hamur buğday, çavdar veya diğer tahılların su ile karıştırılarak laktik asit fermentasyonuna tabi tutulması sonucu elde edilmektedir (Erkmen, 2010). Ekşi hamur yönteminin temeli; normal kültür mayalarının yanında havadan ve kullanılan bileşenlerden gelen yabancı mayaların, laktik, asetik ve sitrik asit bakterilerinin faaliyet gösterdiği bir hamur parçasını, bir sonraki hamurda maya olarak kullanmaya dayanmaktadır (Göçmen ve ark., 2006). Ekşi hamur mayasında *Saccharomyces cerevisiae*, çeşitli mikroorganizmalarla özellikle laktik asit bakterileri ile kompleks bir karışım halinde bulunmaktadır (Corsetti ve ark., 2001; Gobetti, 1998; Gül ve ark., 2005; Meignen, 2001; Akgün, 2007). Ekşi hamur yöntemi ile ekmeğin üretimi yaygın olmamakla birlikte, günümüzde Anadolu’da kullanılmaya devam edilmektedir (Bircan ve ark., 2017). Yöntem sayesinde daha fazla hacim artışı, daha güçlü aroma, daha iyi ekmeğin iç yapısı ve daha uzun raf ömrü gibi kazanımlar sağlanmaktadır (Akgün, 2007; Baykara, 2006; Boz ve ark., 2008; Gül ve ark., 2005; Kotancılar ve ark., 2006; Plessas ve ark., 2011).

Türkiye’de; hammadde ve katkı maddeleri, üretim prosesi ve pişirme yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle, pek çok ekmeğin çeşidi yer almaktadır (Koca ve Yazıcı, 2014; Kasar ve ark., 2021). Ekmekler genel olarak mayalı ve mayasız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İlk grup bazlama, ebeleme, fodla, gilik, gömeç, gübaya, halka, kakala, lavaş, pıt pıt, pobuc, saç ekmeği, somun, tandır ekmeği, tepsi ekmeği gibi birçok farklı çeşidi bulunan mayalı ekmeklerdir. Mayalı ekmekler; un, su, tuz ve maya ile yoğrulmuş hamurun fermentasyonu ve belirli bir süre dinlendirildikten sonra şekil verilerek, pek çok farklı yöntemle pişirilmesi ile elde edilmektedir. Mayasız ekmekler ise; un, su ve tuz ile yoğrulmuş hamurun, oklava ile açılarak şekillendirilmesi ve çeşitli yöntemlerle pişirilmesi ile üretilmektedir (Arlı ve Işık, 1994).

Geleneksel fermente ürünlerin birçoğunda, doğal veya başlatıcı kültür kullanılmaktadır. Fermentasyon sürecinde, Doğu ve Güneydoğu Asya ülkelerinde ip ve misel şeklindeki küfler yaygın olarak kullanılmakta; Afrika, Avrupa, Avustralya ve Amerika’da ise bakteri ve bakteri+maya karışımları kullanılmaktadır. Himalaya geleneksel gıdalarında ise küf, maya

ve bakteri gruplarının tamamını içeren fermente ürünler yer almaktadır (Tamang, 2010). Trabzon ekmeği, Vakfikebir ekmeği, İspir ekmeği ve Afyon ekmeği gibi ekmekler, üretildikleri yörelerin adlarıyla anılmaktadır. Bunlardan, mayalı yapılan, büyük ve yuvarlak Afyon ekmeğinin içine, bayatlamasını engellemek amacıyla patates katılmaktadır (Zülfikar, 2012). Çukurova başta olmak üzere Türkiye'nin birçok yöresinde üretilen, çok sayıda yassı ekmeğ/pide çeşidi bulunmaktadır (Coşkuner ve ark., 2011). Kocaeli iline bağlı Gebze ilçesinin köylerinde üretilen ekşi hamur mayalı ekmeğ, sık ve homojen gözeneklere sahip olup, üretiminde gıda katkı maddesi kullanılmamaktadır (Şen, 2018). Lavaş ekmeği (Acem ekmeği) Erzurum'a ait, tandırlarda üretilen geleneksel bir ekmeğ çeşididir (Bayoğlu, 2014). Şanlıurfa'nın tırnaklı ve açık ekmeğ hamuru un, su, maya ve tuz ile hazırlanmaktadır. İki ekmeğ çeşidi arasındaki fark, maya miktarı ve prosesden ileri gelmektedir (Köten ve Ünsal, 2007). Türkiye'de tüketilen geleneksel ekmeğ çeşitlerinden nohut ekmeği, nohudun su içerisinde fermente edilmesiyle elde edilen nohut mayasından yapılmaktadır. Nohut mayalı ekmeğ, ülkemizde yaygın olarak Ege, Trakya ve kısmen de İç Anadolu ve Akdeniz'in bazı bölümlerinde üretilmektedir. Ayrıca Batı Makedonya ve Kuzey Yunanistan'da da bilinmekte ve geleneksel olarak üretilmektedir (Ozer ve ark., 2010; Tuncel ve ark., 2010). Mısır'da üretilen Balady ekmeği, çift katlı, daire şeklinde olup, yüksek sıcaklıkta çok kısa sürede pişirilmektedir. İran'da ekşi hamur ile hazırlanan Şangak ekmeği üzerine, pişirilmeden önce haşhaş ve susam serpilmektedir. Pakistan, Hindistan ve Çin'in bazlamaya benzeyen Chapati (Roti, Çapati) ekmeği kızgın sac üzerinde pişirilmektedir (Faridi, 1988).

Cumhuriyet sonrası kurulan ilk il olan ve Batı Karadeniz'de yer alan Zonguldak; kömür madeni ile stratejik bir konuma ulaşmıştır (Özer ve ark., 2018). Cumhuriyetin ilk yükseköğretim kurumuna sahip olması, Karadeniz'de kıyısı bulunan ülkelerle deniz ticareti ve kömür ocaklarının oluşturduğu "iki katlı şehir" görünümü (Yüksel, 2016; Özer ve ark., 2018) gibi nedenlerle kendine özgü bir kimliğe sahiptir. Kuzu kestanesi, Osmanlı çileği, dağ çileği, fesleğen, nane, ahlat, zılbıt (kabalak), acı mantar, buğday, mısır, bakla, fasulye, karayemiş, döngel (muşmula), ovaz, bal kabağı, ısırgan, fındık, ceviz, ebeğümeci, barbunya, bakla ve karalahana Zonguldak mutfağının başlıca gıdaları arasında yer almaktadır (Nöraşin, 2014; Işkın ve Sarıışık, 2019). Uçsuz bucaksız yeşillikteki 392 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahip Çaycuma, Zonguldak'a 45 km uzaklıkta olup Ereğli ve Merkez ilçeden sonra en büyük ilçedir. Sanayinin kuruluşu ve gelişimi bakımından birçok avantaja sahip olup uygun arazi şartları ve gelişmiş ulaşım ağı önem arz etmektedir (Koday ve ark., 2015). İlçede Ramazan ve Kurban bayramlarında, en az 20 çeşit geleneksel yemek ile misafir ağırlanması dikkat çekmektedir. Kömeç, kaygana, gözleme, kabak böreği, kölemez, ıslama, köy pilavı geleneksel ekmeğ ve hamur işleri arasında yer almaktadır. "Cızlama (Cizleme)" ve "Serme", yöre halkı tarafından tüm öğünlerde tüketilen geleneksel ekmeklerdir.

Son yıllarda, geleneksel gıdalar ile bunların üretim teknolojileri, bileşim ve biyoaktif özelliklerine olan ilgi artmaktadır. Kentleşmenin büyük bir hızla devam etmesi, ulaşım için gerekli olan zamanın artması, kadının çalışma hayatındaki rolünün artması, evde yemek hazırlamaya gereken zamanın ayrılamaması ve ev dışında beslenmenin yaygınlaşması gibi nedenlerle, evde hazırlanan gıdaların içeriği değişmiş ve toplum

geleneksel alışkanlıklardan uzaklaşmaya başlamıştır. Tüm bu gerekçeler nedeniyle, değişmesi ve/veya unutulması muhtemel olan geleneksel gıdaların tanıtılma ve farklı tekniklerle endüstrileştirilme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Geleneksel gıdaların sürdürülebilirliği için orijinal özelliklerinin muhafaza edilerek, karakteristiğine zarar verilmeden gerçekleştirilebilecek, ürün işleme tekniklerinde yapılabilecek inovasyonlara gerek duyulmaktadır (Erdem ve ark., 2020). Türkiye, kültürel varlığı ve tarihi geçmişi ile geleneksel gıda çeşitliliği bakımından büyük bir zenginliğe sahiptir. Geleneksel ürünlerden biri de Çaycuma'nın geleneksel Cızlama ekmeğidir. Çaycuma'da yaşayan halk, ekmeğ gereksinimini kendi çabalarıyla karşılamaktadır.

Temiz hava, sınırsız yeşillik ve doğal güzellikleri yönüyle önemli bir potansiyele sahip olan Çaycuma'nın Cızlama ekmeği ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu araştırmanın amacı; yöre halkıyla gerçekleştirilen görüşmeler ve bilgi alışverişi yoluyla, Zonguldak ilinin Çaycuma ilçesine ait Cızlama ekmeği ve geleneksel ekmeğın bileşiminde kullanılan hammaddeler, üretim prosesi, pişirme yöntemi hakkında bilgi vermek ve bazı kalite özelliklerini belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın 1. aşamasında Cızlama ekmeğın özelliklerinin belirlenmesi için anket çalışması düzenlenmiştir. Çalışmanın 2. aşamasında ise yörede yaşayan ve geleneksel ekmeğ yapımına devam eden bir haneden 10 adet Cızlama ekmeği (aynı formülasyon) temin edilmiştir. Yöredeki bir satış noktasından temin edilen 10 adet beyaz ekmeğ ile Cızlama ekmeğın bazı kalite özellikleri analiz yapılarak karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Materyal

Materyal, Zonguldak ili Çaycuma ilçesinde günümüzde halen hazırlanmakta olan Cızlama ekmeğidir. Çalışmada veriler, Çaycuma'da doğmuş ve yaşamaya devam eden, kaynak olabilme özelliklerine sahip, gönüllü 30 yaş ve üzerindeki 14 kişi ile yüz yüze görüşülerek ve ayrıca literatür taraması yapılarak toplanmıştır. Kaynak kişilere Cızlama ekmeğın bileşimi, üretim aşamaları ve tüketim şekline ilişkin sorular sorulmuş ve veriler görüşme formuna kaydedilmiştir. Araştırmacı tarafından kaynak kişilerden izin alınarak ses ve görüntü kayıtları da alınmış olup araştırmadan elde edilen veriler betimsel analizlerle değerlendirilmiştir. Bu amaçla kullanılan görüşme formunda kullanılan sorular Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Görüşme formu

Sorular
Cızlama ekmekte kullandığınız malzemeler ve bu malzemelerin miktarları ile ilgili bilgi verir misiniz?
Cızlama ekmeğın pişirilmesini açıklar mısınız?
Ekmeğın pişirilmesi aşamasında kullanılan alet, ekipmanlar ve yakıtlarla ilgili bilgi verir misiniz?
Cızlama ekmeğ yapmayı nasıl ve kimden öğrendiniz?
Cızlama ekmeğın tüketimi hakkında bilgi verir misiniz?

## 2.2. Metod

### 2.2.1. Renk Tayini

Ekmek örneklerinin dış yüzeylerine ait renk yoğunlukları (CR-400 MinoltaCo, Osaka, Japan) kromometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir.  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri üç boyutlu renk ölçümünü esas alan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIELab (CommisionInternationale de I'E Clairage) tarafından verilen kriterlere göre uygulanmıştır Ekmeklerin ön ve arka yüzeylerinden toplam 3 paralelli olarak ölçüm yapılmıştır (Hunt ve ark., 1991; Elgün ve Ertugay, 2002).

### 2.2.2. Kül Tayini

AACC Method 08-01'e göre organik maddeler yakılmış ve kalan inorganik madde miktarı tespit edilerek gerçekleştirilmiştir (Elgün ve Ertugay, 2002).

### 2.2.3. Nem Tayini

AACC Method 44-01.01'e göre gravimetrik olarak yapılmıştır (Elgün ve Ertugay, 2002).

### 2.2.4. pH Tayini

pH değerleri AOAC Metod No: 981.12'ye göre belirlenmiştir. 10 g örnek 90 ml saf su ile homojenize edildikten sonra pH metre ile direkt değer okunarak, pH tayini gerçekleştirilmiştir. Analize başlamadan önce uygun tampon çözeltileri (4.0, 7.0 ve 10.0'luk) ile kalibre edilen dijital pH metre ile 0.01 hassasiyette okumalar yapılmıştır (Elgün ve Ertugay, 2002).

### 2.2.5. Duyusal Analiz

Ekmek örneklerinin duyusal analizleri yörede yaşayan 10 panelistin katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme sırasında, ağızda oluşan tatları nötrlemek amacıyla, su kullanılmıştır. Panelistler tarafından ekmeklerin çeşitli özellikleri (tat, aroma, gözeneklilik, ekmek içi rengi, ekmek kabuğu rengi, ekmek içi sertlik, genel kabul edilebilirlik), kendilerine verilen ölçeğe (1 ile 9 arasında, 1: oldukça kötü, 9: mükemmel) göre değerlendirilmiştir (Elgün ve Ertugay, 2002).

### 2.2.6. İstatistiksel analizler

JMP 5.0.1 programı kullanılarak örnekler arasındaki farklılık %95 güven aralığında belirlenmiştir.3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

## 3.1. Ekmek Üretimi ve Tartışma

Yörede ekmek pişirilmesinde; yuvarlak, taştan imal edilmiş, dışbükey özellikte "sac" kullanılmaktadır (Şekil 1). Bu sacın üretimi, Kastamonu ve Bartın civarlarındaki kayalık bölgelerde yapılmaktadır. Sac ilk kullanım esnasında, ateşte biraz ısıtıldıktan sonra, üzeri yağlı bezle birkaç kere yağlanmaktadır (Özcan, 2022). Ekmek pişirilmesi amacıyla kullanılan taş

sacların, metalden yapılan saclara göre daha dayanıklı olduğu ve ekmeğe ekstra bir lezzet verdiği belirtilmiştir (Mazaklı, 2022; Ünsal, 2022c; Ünsal, 2022e). Geleneksel ekmek, ticari olarak satışa sunulmamakta olup yapımı anne, babaanne ve anneanne gibi yaşlı ilerlemiş aile büyüklerinden öğrenilmiştir. En az dört kuşaktır yapılmakta olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1. a. Taş sac ve sacın ekmek pişirilmesinde kullanımı  
b. Sacı taştan imal edilmiş sac sobası ve sobanın ekmek pişirilmesinde kullanımı

Pişirme işleminden önce sac, bitkisel sıvı yağ yağlanmaktadır. Bu işlem "sürgeç" olarak isimlendirilen gereç ile, sacın ateş üzerinde ısıtılmasının ardından yapılmaktadır. Sürgeç yapımı, temiz pamuklu bir bez parçasının dört-beş kez katlanarak etrafının dikilmesi ve bir konserve tenekesi içerisine doldurulması ile gerçekleştirilmektedir. Sac üzerine dökülen ekmek hamurunun, homojen bir şekilde sac üzerine yayılmasında "kevsür" adı verilen gereç kullanılmaktadır. Ağaç malzemenen imal edilmiş "mislac" ve metal malzemenen imal edilmiş "eysiran" adı verilen, uç kısmı üçgen şeklindeki gereç ile ekmeğin pişme kontrolleri, çevrilmesi ve saçtan alınması işlemleri gerçekleştirilmektedir (Şekil 2) (Ünsal, 2022b; Ünsal, 2022ç; Ünsal, 2022e; Yarbaşı, 2022).



Şekil 2. a. Mislac, eysiran ve kevsür  
b. Sürgeç

a. Mislac (Sacda pişirilen ekmeği çevirmeye yarayan tahta araç);  
Eysiran (Kazan veya teknedeki hamuru kazımak, kesmek ve sacda

*pişen ekmeğin pişme kontrolleri için kullanılan metal araç); Kevşür (Sac üzerine dökülen hamurun yayılması için kullanılan metal araç); b. Sürgeç (Sacın yağlanması için kullanılan gereç)*

Türkiye’de yetişen tahıllar içerisinde buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahip bitki mısırdır (Şahin, 2001). Kafkasya’dan Anadolu’ya göç eden Muhacirler ve Karadeniz’in doğusundaki Lazlar, Gürcüler ve Çerkezlerin temel gıdalarından biri mısırdır (Kuzucu, 2006). Mısır unu, bu bölgelerde ekmeğin üretimi, hamur işleri, et ve balık yemekleri, çorba ve kek gibi gıdalarda kullanılmakta olup önemli bir konuma sahiptir (Yolkolu Öksüz, 2016).

Karadeniz’in tipik ürünlerinden biri olan mısır, Çaycuma yöresinde de önemli bir yere sahip olup çeşitli gıdalarda kullanılmaktadır. Yörede, yalnızca mısır unu ile yoğrularak mayalanan ekmeğe "kartlaç" adı verilmektedir (Özcan, 2022). Belirli oranlarda buğday unu ve mısır unu kullanılarak yoğrulan mayalı ekmeğe ise "Cızlama" denilmektedir (Tablo 2). Mısır unu oranı, arzuya göre daha yüksek olabilmektedir. Kullanılan buğday ve mısır unları, kimyasal gübre ve ilaç kullanılmaksızın, doğal hayvan gübresi ile yörede yetiştirilen buğday ve mısırlardan elde edilmektedir (Mazaklı, 2022; Ünsal, 2022f; Ünsal, 2022h).

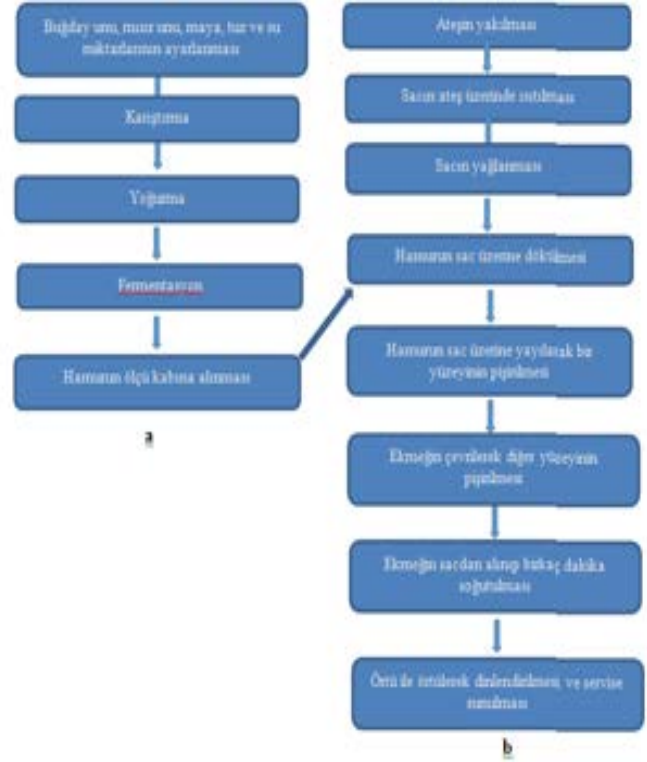
Tablo 2. Cızlama ekmeğin formülasyonu

Cızlama Ekmeğin Formülasyonu	
Malzeme Adı	Miktarı
Buğday unu	5000 g
Mısır unu	3000 g
Tuz	75 g
Ekşi maya	500 g
34-40 °C su	13 L
Ayçiçek yağı	100 ml

Ekmeğin hamuru formülasyonunda kullanılan tuz, ekmeğe lezzet vermekle birlikte, proteazların etkisini azaltarak glutenin (öz) yumuşamasını engellemektedir. Fermantasyonda maya aktivitesi; hamurda gaz oluşumu ve olgunlaşma üzerine etkili olup, ekmeğin içi su aktivitesini düşürmekte, mikrobiyal bozulmayı geciktirmekte ve raf ömrü artışına katkı sağlamaktadır (Blanshard ve ark., 1988; Elgün ve Ertugay, 2002). Kullanılan su; hamur bileşenlerinin karışımı ve kimyasal etkileşimini sağlayan, ihtiyaç duyulan visko-elastik yapıyı oluşturan, fermantasyonu başlatan ve sürdüren, son ürün kalitesi üzerinde etkili olan temel bir bileşendir. Ayrıca hamurda tuz, şeker ve çözünen proteinler gibi hidrofilik bileşenleri çözüdüren ve suda çözünmeyen proteinleri hidrate ederek gluten oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Kent, 1984; Elgün ve Ertugay, 2002; Coskuner, 2003). *Saccharomyces cerevisiae*, tek hücreli bir mikroorganizma olup basit şekerleri fermente etmektedir. Fermantasyon sonucu oluşan CO<sub>2</sub> gazı ile hamurun kabarmasını, diğer fermantasyon ürünleri ile hamurun olgunlaşmasını ve aroma oluşumunu sağlamaktadır (Kent, 1984; Pyler, 1988; Ünal, 1991).

Fermantasyon çok eski yıllardan beri uygulanmakta olan bir gıda üretim ve koruma yöntemidir (Tamang ve Kailasopaty, 2010). Fermantasyon amacıyla gıdalarda, çeşitli mikroorganizmalar (bakteri, maya ve mantarlar) ve enzimler kullanılmaktadır (Kabak ve Dobson, 2011). Pişirme işlemi ile

ekmeğin hamurunda birçok kimyasal olay meydana gelmektedir. Proteinler doğal yapısını kaybetmekte, şekerler karamelize olmakta, karbondioksit genişlemekte ve ekmeğin kabarmaktadır. Ekmeğin dış yüzeyinde meydana gelen su kaybı ve proteinlerin yapısını oluşturan aminoasitler ile indirgen şekerler arasındaki reaksiyon sonucu, ekmeğin kabuğu oluşmaktadır (Cengiz, 2019).



Şekil 3. Cızlama ekmeğin üretim akış şeması

a. Hamur hazırlığı

b. Pişirme

Buğday ve mısırların yörede doğal yöntemlerle yetiştirilmesi, ekşi maya, akışkan kıvamlı hamur, doğal yakıt (odun, çalı vb.), özel taş sac; geleneksel ekmeğin üstün tekstürel ve duyuşal özellikler kazanmasında önemli unsurlardır.

Üç ayaklı üçgen biçimindeki demir sacayak üzerine ekmeğin konulmaktadır. Sac sobası kullanılacak ise yakıtın koyulacağı ayrı bir bölme bulunmaktadır. Yakıt olarak yörede yetişen çeşitli çalılar, erik, elma, armut vb. ağaçlardan elde edilen odunlar kullanılmaktadır. Pişirme esnasında, yöre odunlarından kaynaklı duman kokusu ekmeğe tutsü aroması kazandırmaktadır. Cızlama ekmeğin üretim akış şeması Şekil 3’de, üretim aşamaları ise Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Cızlama ekmeğın üretim aşamaları

1. Hamur hazırlama 2. Sobanın hazırlanması 3-4. Hamurun sobaya konulması 5-6-7-8-9. Ekmeğın pişirilmesi, ters-düz edilmesi 10. Ekmeğın servis edilmesi.

Hamurun fermente edilmesi ile elde edilen Cızlama ekmeğı, bileşimindeki hammaddeler, üretim prosesi ve pişirme parametrelerindeki farklılığa bağılı olarak diğerk ekmeğ çeşitlerinden ayrılmaktadır. Yöreye özgü taş sac, ekmeğın tekstürü, lezzeti ve kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır.

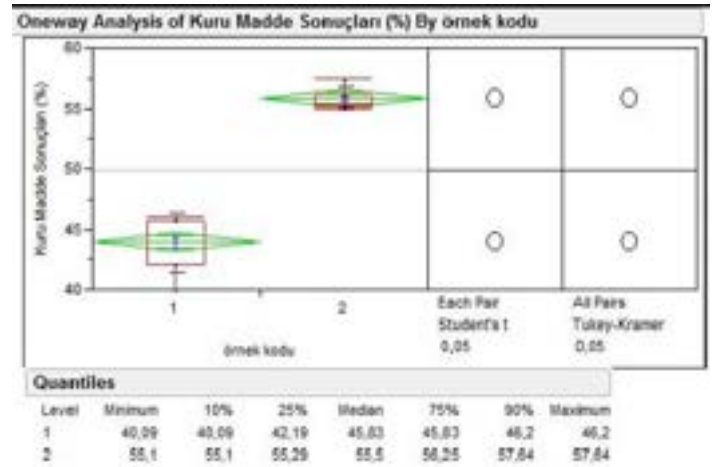
Hamur yapımında; derin bir yoğurma kabı içerisine buğday unu, mısır unu, maya ve tuz alınarak karıştırılmaktadır. Önceki dönemlerde Cızlama ekmeğ hamurunun fermentasyonu için ekşi hamur kullanılmakta iken, günümüzde hazır maya da kullanılmaktadır. Karışımın üzerine, yavaş bir şekilde ılık su ilave edilirken, yoğurma kabının kenar bölümünden yoğrulmaya başlanmaktadır. Kek hamuru kıvamına kıyasla, daha akışkan kıvamda bir hamur elde edilmektedir. Yoğurma işleminin ardından, kapağı kapatılan yoğurma kabı, ılık bir ortama alınmaktadır. Battaniye veya kalın bir örtüyle sarılarak, yaklaşık 1 saat fermentasyona bırakılmaktadır. Mayalanma esnasında, pişirme işlemleri için gerekli hazırlıklar gerçekleştirilmektedir. Yakılan ateş üzerine konulan ekmeğ sacı, pişirme sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Pişirme işlemi öncesi, sac üzerine yağ dökülmekte ve sac süreç yardımıyla yağlanmaktadır. Pişirilen her ekmeğın ardından, bu işleme devam edilmektedir. Ekmeğ hamurunun sac üzerine dökülmesi amacıyla, 750 mL hacminde bir tas kullanılmaktadır. Bu işlem için kullanılmak üzere, yöre halkı tarafından mutfaklarda 750 mL'lik uygun bir tas belirlenmektedir. Fermentasyon işlemi tamamlanan hamur tas içerisine alınarak, ısınmış ekmeğ sacı üzerine dökülmektedir. Kevşür yardımı ile hamur, sac üzerine yayılmaktadır. Sıcak taş sacın üzerinde pişmeye başlayan ekmeğ hamurunda, sıcaklık ve fermentasyon etkisi ile gözenekler oluşmaya başlamaktadır. Eysıran ile pişme kontrolleri yapılan ekmeğ, mısılac ile

çevrilmektedir. Diğerk yüzeyi de pişen ekmeğ, mısılac ile sactan alınarak çığıya konulmaktadır. Zonguldak bölgesinde Cızlama ekmeğınin saklandığı ağaçtan örülmüş yayvan sepetlere "çığı" denmektedir. Sactan alınan sıcak Cızlama ekmeğ üzerine, bitkisel sıvı yağ sürülüp tuz serpilerek yapılan tüketim şekli, yöre halkı tarafından sevilen yaygın bir tüketim şeklidir. Ayrıca sıcak ekmeğe tereyağ sürülerek de tüketilmektedir. Ekmeğler soğuyuncaya kadar üzeri temiz bir örtü ile kapatılarak dinlendirilmektedir. Pişirilen ekmeğler, tüm öğünlerde yemeklerin yanında servis edilmektedir (Arabacı, 2022; Akyüz, 2022; Güngör, 2022; Mazaklı, 2022; Ünsal, 2022a; Ünsal, 2022b; Ünsal, 2022c; Ünsal, 2022ç; Ünsal, 2022d; Ünsal, 2022e; Ünsal, 2022g; Yarbaşı, 2022).

## 3.2. Fizikokimyasal Analiz Sonuçları ve Tartışma

### 3.2.1. Nem Analiz Sonuçları

Örneklerin nem içerikleri (Şekil 5) arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli ( $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Cızlama ekmeğı örneklerinin nem içeriklerinin %50'nin üzerinde olduğu, kontrol örneklerinin ise %45 seviyelerinde kaldığı belirlenmiştir. Bu farklılığın temel nedeninin kullanılan hammaddeler, ekmeğ prosesi ve pişirme gibi farklılıklar olduğu düşünülmüştür. Nem içeriğı bayatlamının bir göstergesi olup ekmeğ örnekleri bayatladıkça nem kaybetmekte, iç yapı daha sert ve kolay parçalanabilir bir hal almaktadır (Uluöz,1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Cızlama ekmeğın nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle, bayatlama süresinin gecikeceğı ve böylece raf ömrünün uzayacağı kanaatine varılmıştır.

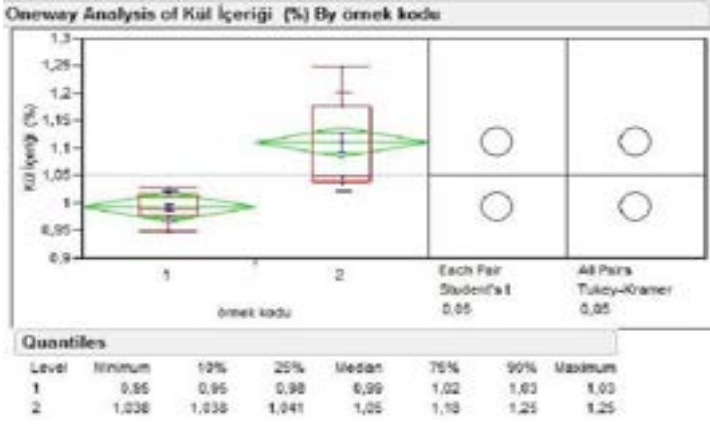


1: Kontrol 2: Cızlama ekmeğ

Şekil 5. Örneklerin nem içerikleri (%)

### 3.2.2. Kül Analiz Sonuçları

Ekmeğ örneklerinin kül içerikleri (Şekil 6) arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli ( $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Cızlama ekmeğ örneklerinin kül içeriğinin ortalama %1.2'nin üzerinde olduğu, kontrol örneklerinin kül içeriğinin ise %1'in altında olduğu tespit edilmiştir.



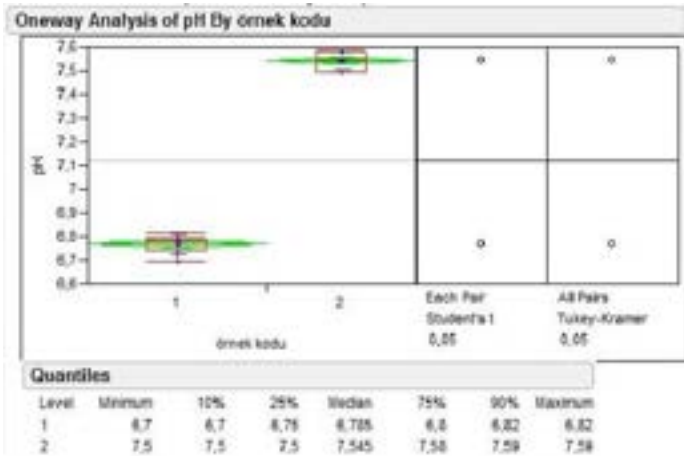
1: Kontrol 2: Cızlama ekmekek

Şekil 6. Örneklerin kül içerikleri (%)

Ekmekek esmerleştikçe ve kepek karışıkça kül miktarı artmaktadır (Uluöz,1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Ayrıca ekmekekde kül miktarının artması ile besin değeri artmaktadır. Bu nedenle Cızlama ekmeğinin besin değeri yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.2.3. pH sonuçları

Ekmekek örneklerinin pH değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ( $p < 0.05$ ) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Cızlama ekmeği örneklerinin ortalama pH değeri 7.5 olduğu, kontrol örneklerinin pH değerlerinin ise 6.8 olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise hammaddedeki farklılık ve fermentasyon prosesinin son ürünün pH değerlerinde değişikliğe neden olduğu düşünülmüştür. Yapılan bir çalışmada, elma kaynaklı ekşi maya ekmekeklerinin, incir kaynaklarından elde edilen ekmekeklerle göre farklılıklar gösterdiği rapor edilmiştir. Aynı ekşi maya konsantrasyonu ile üretilen ekmekek örneklerinin pH değerlerinin, tercih edilen kaynağa ve kullanılan konsantrasyonlara göre farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir.



1: Kontrol 2: Cızlama ekmekek

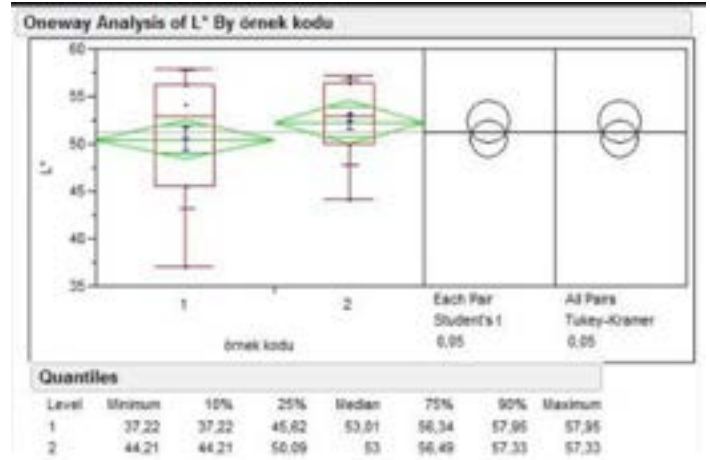
Şekil 7. Örneklerin pH değerleri

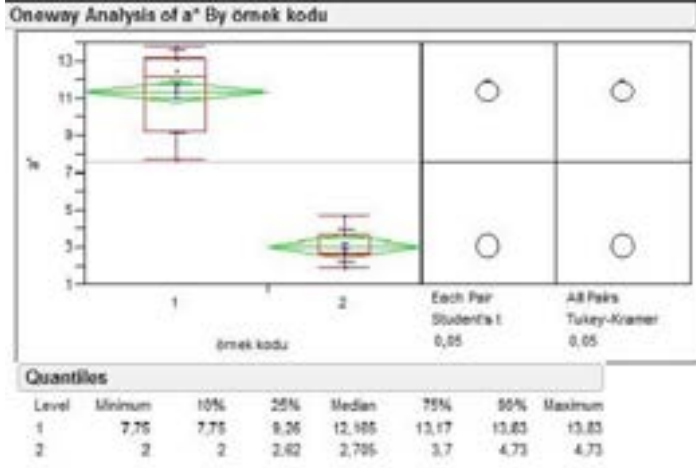
Diğer bir çalışmada ise pişirme sırasında (220°C) maya ve laktik asit bakterilerinin inaktivasyona uğraması ile depolama

sırasında pH değerinin değişmediği belirtilmiştir (Uluöz,1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Tüm bu nedenlerden dolayı pH değerindeki farklılığın, üretim yöntemine ve hammaddede kaynaklarının farklılığına bağlı olduğu görülmektedir.

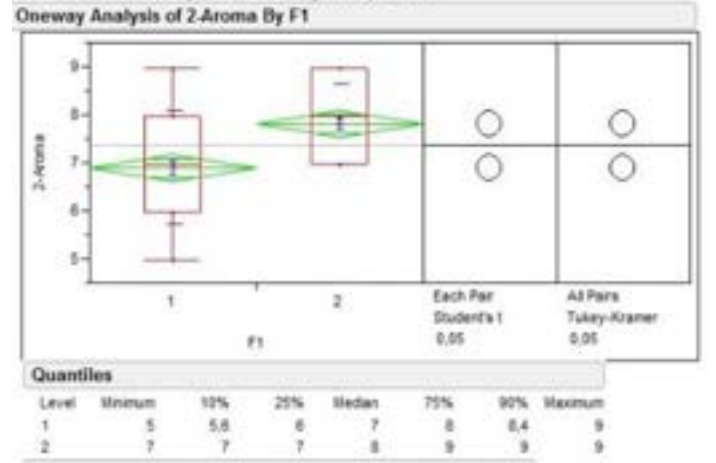
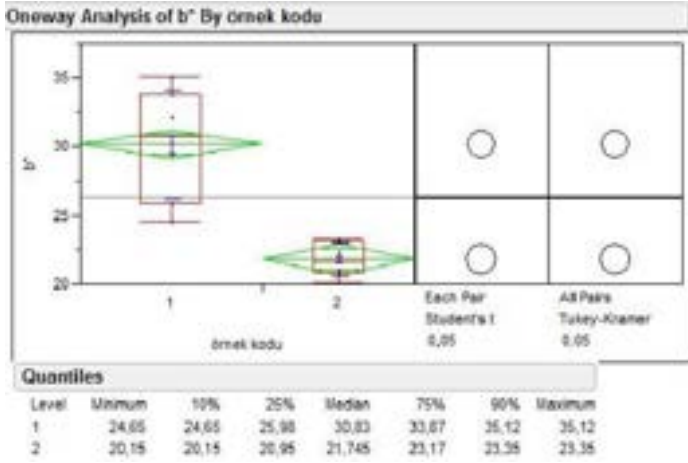
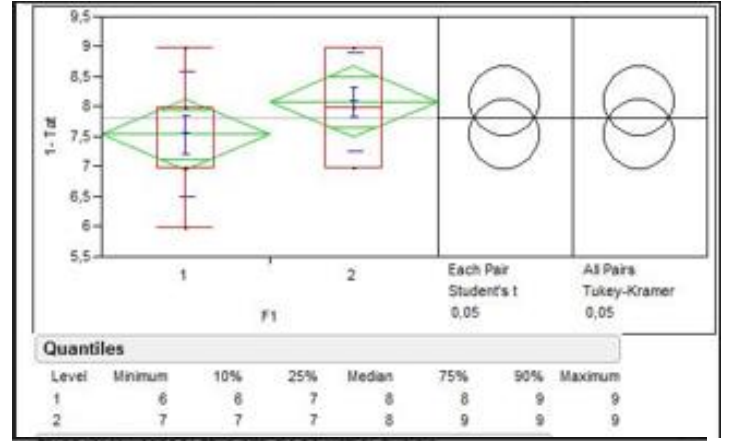
### 3.2.4. Renk Analizi Sonuçları

Örneklerin  $L^*$  değerleri arasında istatistiksel bir farklılık bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ) (Şekil 8). Ekmekeklerin renk değerlerinin, kullanılan hammaddede ve pişirme koşullarına bağlı olarak değişmekte olduğu bildirilmiştir. Özellikle ekmekeklerdeki  $L^*$  değerlerinin yüksek olması ekmekek içi renginin, açık olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Uluöz,1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Bu nedenle örneklerin ekmekek içi renk değerlerinde önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Ekmekek örneklerinin  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ( $p < 0.05$ ) olduğu tespit edilmiştir.  $a^*$  değeri kontrol örneklerinde ortalama 11 olarak belirlenirken, Cızlama ekmeği örneklerinde bu değer 3 civarında belirlenmiştir.  $b^*$  değerlerinin ise kontrol örneklerinde ortalama 30, Cızlama ekmeği örneklerinde ise 22 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın, ekmekeklerin bileşimlerinde kullanılan hammaddeler ve pişirme sırasındaki ortaya çıkan değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.





ekmekte daha yüksek değerleri alması nedeniyle, kontrol ekmeklerinden daha fazla beğenildiği sonucuna varılmıştır.

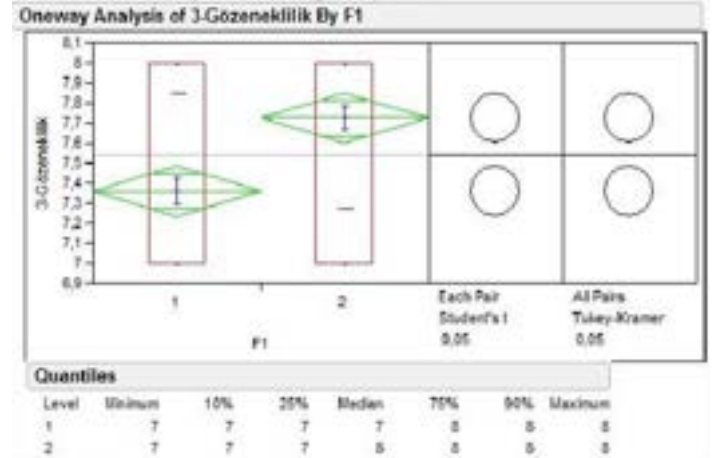


1: Kontrol 2: Cızlama ekmek

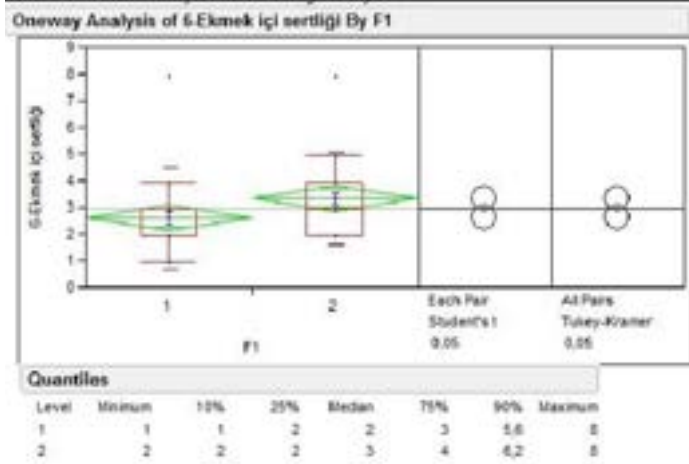
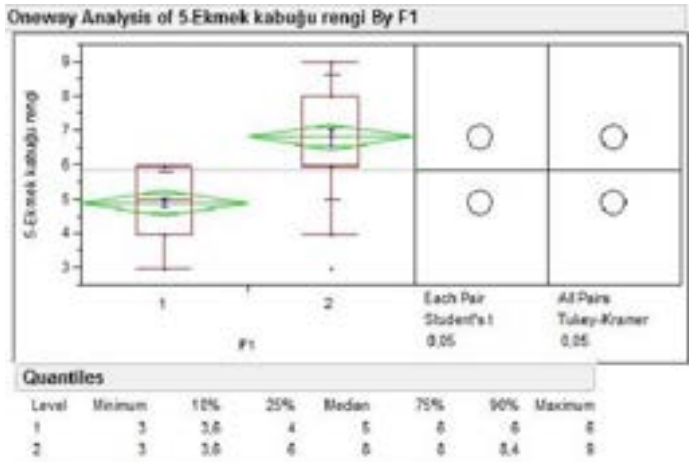
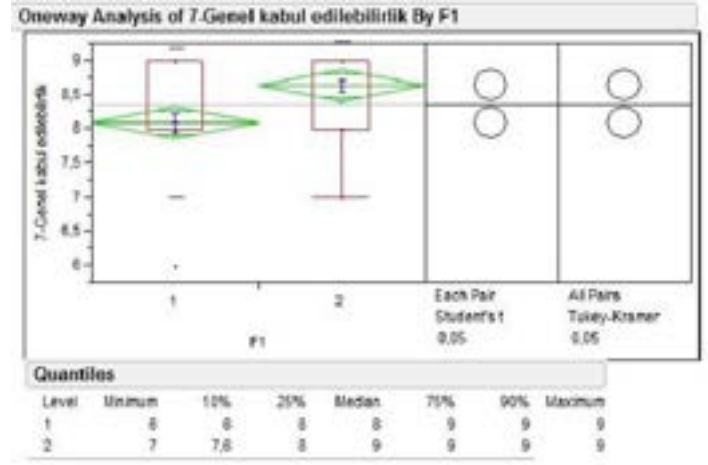
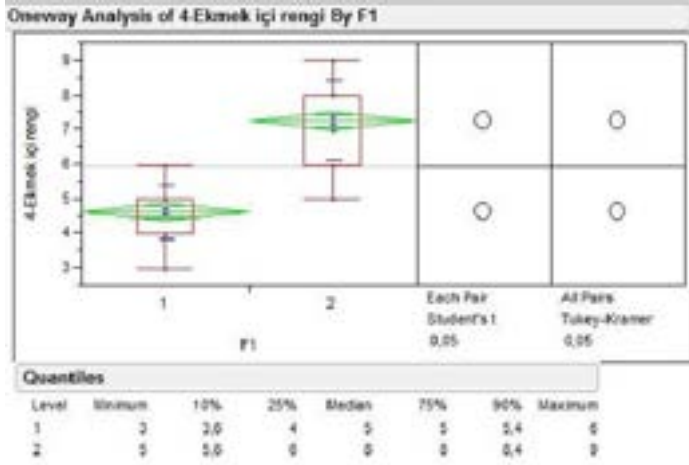
Şekil 8. Örneklerin renk değerleri

### 3.2.5. Duyusal analiz sonuçları

Öneklerin ekmek içi rengi ve kabuk renginde farklılık ( $p < 0.05$ ) tespit edilmiş olup, diğer parametreler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 9). Duyusal değerlendirme, gıdaların tüketilebilme kriteriyle yakından ilgilidir. Bir gıda ürünü piyasaya arz edileceği zaman bu ürünün renk, tat ve koku bakımından kalitesi araştırılıp, yenilebilirlik kriteri açığa çıkmakta ve dolayısıyla bu kalite ürünündeki duyuşal parametrelerin her birinin değerlendirilmesi ile sağlıklı sonuç vermektedir (Uluöz, 1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Yapılan bazı çalışmalarda renk, tad ve aroma açısından tam buğday unundan yapılan ekmek oldukça beğenilerek tüketimi halk arasında önemli ölçüde artmış olup, tam buğday ekmeğinin renk ve görünüş olarak oldukça cazip olduğu bildirilmiştir (Uluöz, 1965; Gerçekaslan ve ark., 2007; Hatipoğlu, 2016; Olgun ve ark., 2017; Barışık, 2018; Yıldız ve ark., 2021). Bu parametrelerin her biri duyuşal değerlendirmede dikkate alındığında kabuk rengi ve ekmek içi rengi dışında örnekler arasında önemli bir fark elde edilememesi Cızlama ekmeğinin beğenildiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir. Ayrıca farklı olan bu 2 parametre Cızlama







1: Kontrol 2: Cızlama ekme

Şekil 9. Örneklerin duyuşal özellikleri

#### 4. Sonuç

Cızlama ekme formülasyonunda kullanılan unların, eldesinde kullanılan buğday ve mısırların hayvan gübresi kullanılarak doğal yöntemlerle yetiştirildiği tespit edilmiştir. Doğal buğday ve mısır unları, ekşi maya, akışkan kıvamlı hamur, tütü aroması, yöreye özgü taş sac gibi farklılıkların, geleneksel ekmeğe üstün tekstürel ve duyuşal özellikler kazandırdığı belirlenmiştir. Yörede, günümüzde de tüketimine devam edilen fermente Cızlama ekmeğin ticari olarak satışa sunulmadığı tespit edilmiştir. Yalnızca bulunduğu yörede geleneksel olarak üretimin gerçekleştirilmesi, bu geleneksel gıdaların zamanla kaybolmasına yol açabilmektedir. Orijinal özelliklerinin muhafaza edilerek endüstriyel üretime aktarılması ile üretim maliyetlerinin düşürülmesi, ulusal ve uluslararası pazarlarda yerini alması ve bu nedenle geniş kitlelere ulaştırılması ile yöredeki halk için istihdam ve gelir artışına katkı sağlanmış olacaktır. Geleneksel gıdaların geliştirilmesi amacıyla makale, tez, proje vb. bilimsel çalışmalar desteklenmelidir. Taklitler, orijinalinin bozulması ve haksız rekabetin önlenmesi amacıyla coğrafi işaret talebinde bulunularak yasalarla korunması sağlanmalıdır. Gıda ürünlerine olan talep, ürün bileşimi ile birlikte tüketicilerin refah seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Tahıl ürünleri Türkiye’de en ucuz ve kolay sağlanabilir ve saklanabilir bir besin kaynağı olması açısından önemli miktarlarda tüketilmektedir. Ekmeklerin; Cızlama ekme, Gelveri ekmeği, Kapak ekmeği gibi geleneksel ekme üretimleriyle çeşitlendirilmesi, hem besin değerleri açısından farklılık oluşturacak hem de farklı tat ve aromaya sahip ürünlerin tüketilmesine imkan sağlayacaktır. Farklı çeşit ekme üretimini ekmeğeki israfı kısmen de olsa azaltabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada Cızlama ekmeğin üretimi ile ilgili bir araştırma yapılmış ve sanayi tipi beyaz buğday unu ekmeği ile ilgili bazı genel özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre duyuşal kalitenin Cızlama ekmeğe daha fazla geliştiği, daha yüksek pH değeri, nem ve kül içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre Cızlama ekmeğin kül içeriğinden dolayı daha besleyici, duyuşal özelliklerden dolayı daha lezzetli, nem içeriğinden dolayı daha geç bayatlayan bir ekme olduğu sonucuna varılmıştır. Tüketim alışkanlığı açısından toplumumuzda vazgeçilmez bir yeri bulunan ekmeğin, üretiminde farklı hammadde ve katkı maddeleri kullanımının, farklı tür ve

yapılardaki ekmeklerin üretim ve tüketim alışkanlıklarını artırılabilceği kanaatine varılmıştır.

## Kaynaklar

- Akgün, F.B. (2007). Ekşi Hamur Tozu Eldesi ve Ekmek Üretiminde Kullanılabilme Olanakları. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arabacı, E. (2022). Özel Görüşme, Ev hanımı (1987), Çaycuma, Zonguldak.
- Akyüz, G. (2022). Özel Görüşme, Tekstil İşçisi (1982), Çaycuma, Zonguldak.
- Arlı, M., Işık, N. (1994). Türk Mutfağındaki Geleneksel Ekmek Çeşitleri. Türk Mutfak Kültürü Üzerine Araştırmalar, Geleneksel Ekmekçilik Hamurışı Yemekler. Türk Halk Kültürünü Araştırma ve Tanıtma Vakfı Yayınları, Yayın No:14, s. 1-16, Ankara.
- Barışık, D., Tavman, Ş. (2018). Glutensiz ekmek formülasyonlarında nohut unu kullanımının ekmeğin kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 16(1), 33-41.
- Baykara, P. (2006). Geleneksel Nohut Mayasının Endüstriyel Beyaz Buğday Unu Ekmeği Üretiminde Kullanılması. Tekirdağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bayoğlu, A. (2014). Erzurum'da Lavaş (Acem Ekmeği). *Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 53, 163-186.
- Bircan, D., Güray, C. T., Bostan, K. (2017). Farklı yöntemlerle ekşitilmiş hamurlardan ekmek yapımı üzerine çalışmalar. *Aydın Gastronomy*, 1(1), 1-8.
- Blanshard, J. M. V., Frazier, P. J., Galliard, T. (1988). Chemistry and Physics of Baking. Royal Society of Chemistry, 1-276, England.
- Boz, H., Karaoğlu, M. M. (2008). Fırın Ürünleri İçin Doğal Katkı Maddeleri. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 35, 57-64.
- Cengiz, N. (2019). Sosyo-Ekonomik ve Kültürel Düzeyleri Farklı Olan Ailelerde Ekmek Tüketim Durumu: Tekirdağ İli Süleymanpaşa İlçe örneği. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Corsetti, A., Lavermicocca, P., Morea, M., Baruzzi, F., Tosti, N., Gobetti, M. (2001). Phenotypic and molecular identification and clustering of lactic acid bacteria and yeasts from wheat (species *Triticum durum* and *Triticumaestivum*) Sour doughs of Southern Italy. *International Journal of Food Microbiology*, 64, 95-104.
- Coşkun, Y., Karababa, E., Ercan, R. (2011). Çukurova Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Buğday Çeşitlerinin İki Katlı Yassı Ekmek Üretimine Uygunluğunun Belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 1-12.
- Coskuner, Y. (2003). Çukurova Bölgesinde Yetistirilen Bazı Buğday Çesitlerinin Tek ve İki Katlı Düz Ekmek Üretimine Uygunluğu ile Eksi Hamurun Kalite Üzerine Etkisinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Emeksizoglu, B. (2017). Anadolu'nun Lezzetli Ekmekleri. *Türk Tarım Dergisi*, 235, 24.
- Elgün, A., Ertugay, Z. (2000). Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 297, 1-376, Erzurum-Türkiye.
- Elgün A., Ertugay Z. (2002). Tahıl İşleme Teknolojisi. A. Ü. Yayınları No:78 Ziraat Fakültesi No:297, Ders Kitapları Serisi No: 52, 201-343, Erzurum, Türkiye.
- Erdem, N., Işık, N., Gökmen, S. (2017). Aksaray İli Güzelyurt İlçesi'nin geleneksel bir gıdası gelveri ekmeği. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 5 (4), 534-545.
- Erdem, N., Karakaya, M. (2020). Geleneksel kapak ekmeği üretimi. *Iğdır Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2565-2574.
- Erdem, N., Poçan, H. B., Babaoğlu, A. S., Karakaya, M. (2020). Geleneksel Nevzine Tatlısı Üretimi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(8), 1618-1622.
- Erkmen, O. (2010). Gıda Mikrobiyolojisi. Efil Yayınevi, İkinci Baskı, Gaziantep, Türkiye.
- Faridi H. A. (1988). Flat Breads. In Wheat Chemistry and Techonolog, 2, 457-506, Pomeranz, Y., Ed. A.A.C.C. Publ., St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Gencer, H. (2011). İnsan ve Beslenme. TGDF Gıda Kongresi, 22-23 Kasım 2011.
- Gerçekaslan, K. E., Kotancılar, H.G., Karaoğlu, M. M. (2007). Ekmek Bayatlaması ve Bayatlama Derecesini Ölçmede Kullanılan Yöntemler I. *Gıda*, 32(6), 305-315.
- Gobetti, M. (1998). The Sourdough Microflora: Interactions of Lactic Acid Bacteria and Yeasts. *Trends in Food Science & Techology*, 9, 267-274.
- Göçmen, D., Gürbüz, O., Kumral, Y., Dağdelen, A.F. (2006). Ekmek Üretiminde Laktik Starter Uygulamasının Proteinlerin Elektroforetik Özellikleri Üzerine Etkisi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu. Proje No: TOVAG 10500004.
- Gül, H., Özçelik, S., Sağdıç, O., Certel, M. (2005). Sourdough bread production with Lactobacilli and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. *Process Biochemistry*, 40, 691-697.
- Güngör, G. (2022). Özel Görüşme, Ev hanımı (1984), Çaycuma, Zonguldak.
- Hasselbalch, A L., Silventoinen, K., Keskitalo, K., Pietiläinen, K. H., Rissanen, A., Heitmann, B.L., Kyvik, K.O., Sørensen, T. I. A., Kaprio, J. (2010). TwinStudy of heritability of eating bread in danish and finnish men and women. *Twin Research and Human Genetics*, 13(2), 163-167.
- Hatipoğlu, S. (2016). Patates unu ve gam ilavesinin glutensiz ekmek kalitesi üzerine etkileri. Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Işkın, M., Sarıışık, M. (2019). Karadeniz Bölgesi Mutfağı. Sarıışık, M., Özbay, G (Ed), Ulusal Gastronomi ve Türk Mutfağı İçinde. Detay Yayıncılık, 451-541, Ankara, Türkiye.
- Kabak, B., Dobson, A. D.(2011). An Introduction to the Traditional Fermented Foods and Beverages of Turkey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51: 248-260.
- Kasar, H., Gökmen, S., Çağlar, A. (2021). Farklı pişirme tekniklerinin bazı geleneksel fırın ürünlerinin duyu kalitelerini geliştirmede ve besin kayıplarını azaltmada kullanılabilirlikleri üzerine bir araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28(1), 70-74.
- Keçeli, M. (2013). Türkiye'de ekmek sektörü. *Standard, Ekonomik ve Teknik Dergi*, 52(615), 16-19.
- Kent, N. L. (1984). Technology of Cereals. Pergamon Press No: 2143, 220, USA.
- Koca, N., Yazıcı, H. (2014). Coğrafi faktörlerin Türkiye ekmek kültürü üzerindeki etkileri. *Turkish Studies*, 9(8), 35-45.
- Koday, S., Çelikoğlu, Ş., Atış, E. (2015). Çaycuma ilçesinde sanayinin gelişimi, yapısı ve sorunları. *Turkish Studies*, 10 (14), 135-158.
- Kotancılar, H. G., Karaoğlu, M. M., Gerçekaslan, K.E., Uysal, P. (2006). Ekşi Hamur katkısının beyaz tava ekmeğinin

- bayatlaması üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 103-110.
- Köten, M, Ünsal, AS, 2007. Şanlıurfa yöresine özgü “tırnaklı ve açık ekmeklerin” geleneksel üretim yöntemleri. *Gıda*, 32 (2), 81-85.
- Kuzucu, K. (2006). Osmanlı döneminde Karadeniz Bölgesinde mısır kullanımı ve mısır tarımını geliştirme çabaları. *S.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 8 (2), 113-126.
- Lazsisty, R. (1986). *The Chemistry of Cereal Proteins*. CRC Press, 203, USA.
- Mazaklı, H. (2022). Özel Görüşme, Ev hanımı (1953), Çaycuma, Zonguldak.
- Meignen, B., Onno, B., Gélinas, P., Infantes, M., Guilois, S., Cahagnier, B. (2001). Optimization of sourdough fermentation with *Lactobacillus brevis* and baker's yeast. *Food Microbiology*, 18, 239-245.
- Miano, A. C., Ibarz, A., Augusto, P.E.D. (2017). Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties. *Journal of Food Engineering*, 197, 34-43.
- Nöraşin, S. (2014). Yöresel Mutfak Kültürü. Eren, S (Ed), Zonguldak Yemekleri İçinde. Ankara Ofset Ankara-Türkiye.
- Qarooni, J. (1996). Flat Bread Techonolgy, 206, Chapman&Hall, NY, USA.
- Olgun, M., Başçiftçi, Z.B., Ayter, N. G., Aydın, D. (2017). Farklı özellikteki ekmeklik çeşitlerinin duyu analizler yönünden değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(2), 47-54.
- Özcan, A. O. (2022). Haydi cizleme yemeye. Pusula Gazetesi. [https://www.pusulagazetesi.com.tr/arsiv\\_24259/haydi-cizleme-yemeye/](https://www.pusulagazetesi.com.tr/arsiv_24259/haydi-cizleme-yemeye/)(Erişim Tarihi: 05.01.2022).
- Özer, S. M. (1998). Kepekli Ekmeklerin Bazı Niteliklerinin İncelenmesi ve Kalitelerinin İyileştirilmesi Olanakları, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Ozer, E. A., Erginkaya, Z., Ozer, S., Unal, E. (2010). One of our Traditional Breads: Chickpea Fermented Bread. In: The 1st International Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus, Tekirdag, Turkey, 15-17 April 2010, 455-457.
- Özer, H., Turan, Ö., Yener, S. (2018). Zonguldak'ın yöresel yemek isimleri üzerine bir inceleme. *Turkish Studies Volume*, 13(12), 341-361.
- Plessas, S., Alexopoulos, A., Mantzourani, I., Koutinas, A., Voidarou, C., Stavropoulou, E. (2011). Application of Novel Starter Cultures For Sourdough Bread Production. *Anaerobe*, 17, 486-489.
- Pyler, E.J. (1988). *Baking Science and Technology*. Sosland Publishing Co., 1345, USA.
- Şahin, S. (2001). Türkiye’de mısır ekim alanlarının dağılışı ve mısır üretimi. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 73-90.
- Şen, M. A. (2018). Sanayi Kenti Gebze’den geleneksel bir lezzet “ekşi mayalı ekmek”. *ASOS Journal*, 82, 338- 351.
- Şişman, B. (2009). Karadeniz yöresinde mısır kültürü: folklorik bir yaklaşım. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2 (7), 232-244.
- Tamang, J. P. (2010). *Himalayan Fermented Foods: Microbiology, Nutrition, and Ethnic Values*. CRC Press New York, United States of America, 315 p.
- Tamang, J. P., Kailasapathy, K. (ed). (2010). *Fermented Foods and Beverages of the World*. CRC Press Newyork, United States of America, 435 p.
- Tuncel, N. B., Yılmaz, N., Ozcelik, S. (2010). Production and Investigation of Some Properties of Chickpea Bread. In: The 1st International Symposium on “Traditional Foods from Adriatic to Caucasus”, Tekirdag, Turkey, 15-17 April 2010, 447-449.
- Uluöz, M. (1965). Buğday, un ve ekmek analiz metodları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 57.
- Ünal, S. (1991). Hububat Teknolojisi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 29, 62 s. İzmir-Türkiye.
- Ünsal, A. (2022a). Özel Görüşme, Tekstil Ustası (1981), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, C. (2022b). Özel Görüşme, Ev hanımı (1988), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, C. (2022c). Özel Görüşme, Ev hanımı (1980), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, D. (2022ç). Özel Görüşme, Ev hanımı (1975), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, F. (2022d). Özel Görüşme, Ev hanımı (1983), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, H. (2022e). Özel Görüşme, Ev hanımı (1955), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, İ. (2022f). Özel Görüşme, Emekli (1955), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, S. (2022g). Özel Görüşme, Ev hanımı (1976), Çaycuma, Zonguldak.
- Ünsal, Z. (2022h). Özel Görüşme, TKİ Usta (1981), Çaycuma, Zonguldak.
- Yarbaşı, F. (2022). Özel Görüşme, Ev hanımı (1957), Çaycuma, Zonguldak.
- Yıldız, B., Çakıcı, A., Uslu, D.Y., Hasan, U.S.L.U. (2021). Ekmek üretiminde ekşi maya üzerine taze meyvelerin kullanımının etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 150-159.
- Yolkolu Öksüz, A. (2016). Hüzün Aş Olunca- Geleneksel Çerkez Mutfağı. İstanbul: Yediveren.
- Yüksel, G. (2016). Zonguldak'ta Yerleşim ve Dil Özelliklerine Bir Örnek: Bağlık Köyü. Zonguldak: Bülent Ecevit Üniversitesi Yayınları.
- Zülfikar, H. (2012). Anlamları, deyimleri ve çeşitleriyle ekmek. *TDK Türk Dili Dergisi*, 12-17.



# İnşaat Sektörü Kapsamında Yapılan Derin Öğrenme Çalışmalarının Bibliyometrik Profili

Zeynep Yeşim İlerisoy<sup>1</sup>, Elif Kılıç<sup>2\*</sup>,

<sup>1</sup> Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1903-9119), [zyharmankaya@gazi.edu.tr](mailto:zyharmankaya@gazi.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Doktora öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0074-913X), [elif.kilic4@gazi.edu.tr](mailto:elif.kilic4@gazi.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 10 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 06 Temmuz 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085471)

**ATIF/REFERENCE:** İlerisoy, Z.Y., Kılıç, E., (2022). İnşaat Sektörü Kapsamında Yapılan Derin Öğrenme Çalışmalarının Bibliyometrik Profili. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 229-235.

## Öz

Gelişen ve ilerleyen teknolojiyle birlikte inşaat sektöründe tasarım, yapım, hesaplama gibi süreci kolaylaştıracak bilişim teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojilerden birisi de yapay zekâ teknolojisinin bir alt birimi olan “*derin öğrenme*”dir. Diğer sektörlerle kıyaslandığında inşaat sektörünün teknolojiye geç uyum sağlaması ve teknolojiye yapılan yatırımların yetersiz olması sebebiyle derin öğrenme kullanımının kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamında derin öğrenmenin inşaat sektöründe kullanımı üzerine yapılan çalışma ve araştırmalar incelenmiştir. Web of Science veri tabanında derin öğrenme anahtar kelimesiyle ulaşılan 102.756 makale üzerinden “*derin öğrenme ve inşaat yapım teknolojisi*” anahtar kelimeleriyle sınırlama getirilmiş ve 323 makale üzerinden bibliyometrik analiz çalışması yapılmıştır. Bibliyometrik analiz çalışması ise (i) Atıf; (ii) Birlikte bulunma; (iii) Ortak atıflar; VOSviewer analiz tipleri üzerinden detaylandırılmıştır. VOSviewer programı aracılığıyla bibliyografik verilere dayalı haritalama analizi yapılarak mevcut durum incelenmiştir. İncelemelerde 2010-2020 yılları arasında İngilizce yazılmış olan 323 makalede önde gelen ülkeler; Çin ve Amerika’dır. Kurum bazında değerlendirildiğinde ilk 4 üniversitenin yine Çin’den olduğu tespit edilirken, bu makalelerde öne çıkan anahtar kelimeler ise sırayla derin öğrenme, bilgisayar görüşü ve konvolüsyonel sinir ağları başlıklarıdır. Araştırmalar derin öğrenmenin inşaat sektöründe kullanımının son yıllarda büyüme eğiliminde olduğunu gösterse de Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda ülkemizde bu alanda yapılacak çalışmalara öncelik verilmesine olanak sağlayacak ortamın oluşturulması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Öğrenme, Bibliyometrik Analiz, Mimarlık, Teknoloji, VOSviewer.

## Bibliometric Profile of Deep Learning Studies Conducted in the Construction Industry

### Abstract

With the developing and advancing technology, computer technologies have been used in the construction sector to facilitate the process such as design, construction and analysis. One of these technologies is “*deep learning*” which is a sub-unit of artificial intelligence technology. It is seen that the use of deep learning is limited in the construction sector due to late adaptation to technology compared to other sectors and insufficient investments in this field. Therefore, the studies and researches on the use of deep learning in the construction sector were examined within the scope of this study. The 102,756 articles accessed with the deep learning keyword search in the Web of Science database were refined by using the keyword “*deep learning and construction technology*”, and bibliometric analysis was conducted on 323 articles. This bibliometric analysis study involved (i) Citation; (ii) Co-authorship (iii) Common citations. The current situation was examined by making a mapping analysis based on bibliographic data through the VOSviewer program. According to the analysis, the leading countries are China and America for 323 articles written in English between 2010-2020. In terms of institutions; it was determined that the first 4 universities are from China, while the keywords that stand out in these articles are deep learning, computer vision, and convolutional neural networks, respectively. Although researches show that the use of deep learning in the construction sector has been growing in recent years, it has been concluded that there are no studies in this field in Turkey. In this context, it is necessary to create an environment that will give the priority for the studies to be done in this field.

**Keywords:** Deep Learning, Bibliometric Analysis, Architecture, Technology, VOSviewer.

\* Sorumlu Yazar: [elif.kilic4@gazi.edu.tr](mailto:elif.kilic4@gazi.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyanın hızla gelişmesi ve büyümesiyle veriler daha anlamlı olmakta, bu verileri araştırma laboratuvarından üretime geçmesini sağlayan yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme kavramları ise daha da önemli hale gelmektedir. Temelde “Hesaplama, makinelerde akıllı davranışı modellemenin kullanışlı bir yoludur” şeklinde aynı hipotez paylaşılsa da yapay zekâ ve makine öğrenmesinin her ikisi akıllı bilgisayar programları oluşturmakla ilgiliyken, makine öğreniminin bir örneği olan “*derin öğrenme*” bu tanımdan ayrı tutulmaktadır (Kersting, 2018). Derin öğrenme, insan beynindeki karmaşık sinir ağlarından esinlenerek üretilen ve yine insan beynindeki gibi gözlemlenebilir, analiz etme, öğrenme ve karar verme gibi yetenekleri taklit eden, dönüştürme, sınıflandırma, özellik çıkarma gibi farklı işlemleri büyük miktarda veri kullanarak yapabilen bir makine öğrenmesi tekniğidir (Şeker, Diri ve Balık, 2017).

Derin öğrenmenin son yıllarda problem çözmede büyük ilerlemeler sağladığı ve yüksek boyutlu verilerdeki karmaşık yapıları çok iyi çözümlendiği ortaya çıkmıştır. Bu başarısı sayesinde de bilim, iş dünyası ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlara tıp, finans, medikal, endüstri, robotik, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörleri örnek verilebilir (Lecun, Bengio ve Hinton, 2015). İnşaat sektöründe kullanılan bu teknolojilerin ortak hedefi, iş süreçlerini hızlandırmak, maliyetleri düşürmek ve kullanıcılar için daha iyi hizmet sunmaktır (İlerisoy ve ark., 2021). Ancak inşaat sektöründe teknolojiye adapte olma süreci finans, eğlence, sağlık, eğitim gibi alanlara kıyasla daha yavaş gerçekleşmektedir. Her ne kadar bu sektörlerdeki birçok işletme, gelişen teknolojiyi kullanarak ilerlemenin yollarını arasa da inşaat endüstrisindeki üretkenliğin istikrarsız olması ya da teknolojiye yapılan yetersiz yatırımlardan dolayı bu süreç diğer disiplinlere göre daha yavaş ilerlemektedir (Akinosho ve ark., 2020).

Bu çalışma, bahsedilen ivme yavaşlığını ortaya çıkarmayı, gelecekte yapılması planlanan bilimsel çalışmalara yol haritası olmayı ve incelemeye konu olan mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün (Architecture, Engineering, Construction Industry) zaman içinde derin öğrenmeye bağlı olarak gösterdiği gelişime bir örnek teşkil etmeyi hedeflemektedir. Bu anlamda da çalışmayla, inşaat sektöründe yapılan derin öğrenme çalışmalarının 2010-2020 yılları arasında en yüksek yayın ve atıf sahibi ülkelerin belirlenmesi, en çok hangi yazar ve kaynakların atıf yapıldığı sorularına cevap aranması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Derin öğrenme çalışmalarının inşaat sektöründeki mevcut durumunu incelemek adına çalışma kapsamında mimarlık, mühendislik ve inşaat (Building and Construction-inşaat yapı teknolojisi) sektörlerinde ile ilgili yapılan çalışmalar sistematik olarak analiz edilmiştir. Web of Science-WoS veri tabanından elde edilen veriler üzerinden bibliyometrik analiz yapılmış, bu veriler haritalama yöntemi ile görselleştirilmiş, konular arasındaki ilişkiler ise ağ haritaları aracılığıyla ortaya konmuştur.

### 2.1. Bibliyografik Veri Toplama

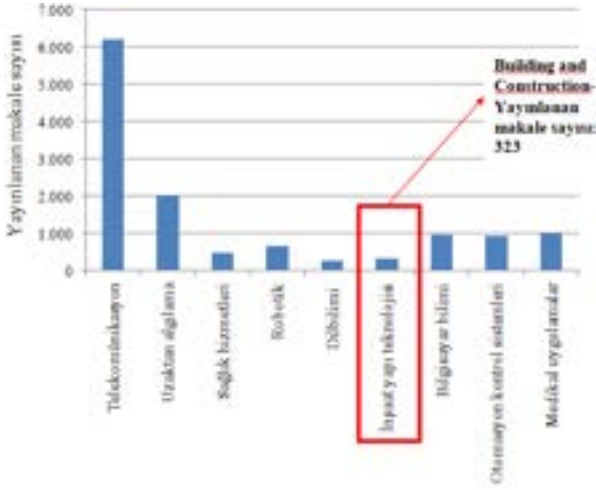
Çalışmada veri analiz tekniği olarak bibliyometri kullanılmıştır. Bu teknikte, dökümanlar, sayısal ve istatistiksel olarak analiz edilmektedir. Böylece bilimsel çalışmaların yazar,

konu, atıf yapılan yazarlar, atıf yapılan kaynaklar gibi verilen istatistiksel olarak değerlendirilmesi sağlanmakta ve sonuçların ilgili alana ait genel yapının ortaya konmasını sağlamaktadır (Zan, 2013). Bu çalışmada kullanılan veriler, 10 Mayıs 2021 tarihinde Web of Science web arama motorunda toplanmıştır. Verilerin analizinde ise bibliyometrik analiz yapılarak bilimsel haritalama yöntemi kullanılmıştır. Analizlerin yapılmasında VOSviewer programı kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada İzlenen Yöntemin Detaylandırılması  
(Table 1. Detailing the Method Follower in the Study)

Bibliyografik veri toplama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veri tabanı: Web of Science</li> <li>• Dergiler: WoS'taki tüm dergilerin taranması</li> <li>• Makaleler: Yayınlanan tüm makaleler</li> <li>• Anahtar kelimeler: Deep learning</li> <li>• Araştırma: Başlık, özet, anahtar kelimeler</li> <li>• Tarih sınırlaması 2010-2020</li> </ul>
Seçim ve Sınırlama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anahtar kelimeler: Deep learning, construction building technology</li> <li>• Araştırma: Başlık, özet, anahtar kelimeler</li> <li>• Tarih sınırlaması: 2010-2020</li> </ul>
Bibliyometrik analiz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Program: VOSviewer</li> <li>• Atıf (citation): Dökümanlar, kaynaklar, yazarlar, kurumlar ve ülkeler</li> <li>• Birlikte bulunma (Co-occurrence): Anahtar kelimeler</li> <li>• Ortak atıflar (Co-citation): Alıntılanan referanslar, alıntılanan kaynaklar, alıntılanan yazarlar</li> </ul>

Öncelikle, “deep learning” anahtar kelimesi üzerinden yola çıkarak bu alanda 2010-2020 yılları arasında farklı disiplinlerde yapılan çalışmalar belirlenmiştir (Şekil 1). Elde edilen grafiğe göre; derin öğrenmenin telekomünikasyon başlığı altında yayınlanan makale sayısı 6.000'in üzerindeyken; sağlık hizmetleri, dilbilimi ve inşaat yapı teknolojisi başlıkları altındaki yayınlanan makale sayısı 500'ün altında yer almaktadır. Makale amacına uygun olarak derin öğrenmenin mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründeki mevcut eğilimlerini tarifleyebilmek için bu kavram, yapı/yapım teknolojisi (building/construction technology) anahtar kelimeleriyle sınırlandırılmıştır. Bu filtreleme sonunda ise 323 tane makaleye erişim sağlanmıştır.



Şekil 1. WoS Veri Tabanında Derin Öğrenme Anahtar Kelimesiyle 2010-2020 Yılları Arasında Alanlara Göre Yayınlanan Makale Sayısı Erişim Tarihi: 10.05.2021 (Figure 1. Number of Articles Published by Fields Between 2010-2020 with the Keyword of Deep Learning in WoS Database Access Date: 10.05.2021)

## 2.2. Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik ağ analizi VOSviewer software (sürüm 1.6.16) kullanılarak yapılmıştır (Url-1). Bu program, eldeki verilerin kolay bir şekilde sınıflandırılmasına olanak tanıyan küme tabanlı haritalar elde etmek amacıyla bibliyometrik ağ verilerini detaylandırmaktadır. Ulaşılan 323 makale üzerinden ağ haritaları elde etmek amacıyla Atıf (citation), Birlikte bulunma (Co-occurrence), Ortak atıflar (Co-citation) analizleri yapılmıştır (Tablo 2). Buna göre; atıf başlığı altında dökümanlar, kaynaklar, yazarlar, kurumlar ve ülkelerin; birlikte bulunma başlığı altında anahtar kelimelerin, ortak atıflar başlığı altında alıntı yapılan referansların, kaynakların ve yazarların haritalaması yapılmıştır.

Tablo 2. Vosviewer Analiz Tiplerinin Tanıtılması (Eck ve Waltman, 2018) (Table 2. Introduction of VOSviewer Analysis Types (Eck and Waltman, 2018))

Analiz tipi	Tanım
Atıf (citation)	En az biri diğerine atıfta bulunduğu, iki öge birbirine bağlanmaktadır. Beş şekilde haritalandırılmaktadır: Dökümanlar, kaynaklar, yazarlar, kurumlar ve ülkeler
Birlikte bulunma (Co-occurrence)	Birlikte oluşların sayısı, başlık, özet veya anahtar kelime listesinde her iki anahtar kelimenin birlikte geçtiği yayınların sayısına göre tanımlanmaktadır. Atıf verileri bir analiz birimi şeklinde haritalandırılmaktadır: Anahtar kelimeler
Ortak atıflar (Co-citation)	Atıf verileri üç analiz birimi şeklinde haritalandırılmaktadır: Alıntı yapılan referansların haritalanması, alıntı yapılan kaynakların haritalanması, alıntı yapılan yazarların haritalanması

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

WoS veri tabanından elde edilen bilimsel yayınlar analiz edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde derin öğrenmenin inşaat sektörüyle ilgili 323 yayın sayısına ulaşılmıştır. Elde edilen bu yayınlarla ilgili bulunması hedeflenen başlıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Wallace, 1989):

- Belirlenen alanlarda hangi ülke ne oranda katkıda bulunmaktadır?
- Belirlenen alanlarda hangi yazarlar ne oranda katkı sağlamaktadır?
- Belirlenen alanlara katkı sağlayan makaleler, dergilerde hangi oranda dağılım göstermektedir?

Yukarıda verilen sorulardan yola çıkılarak aşağıda atıf, birlikte bulunma ve ortak atıflar analiz tipleri altında elde edilen veriler haritalar üzerinden görselleştirilmiştir.

### 3.1. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama

Atıf analizi, atıfların, bir yayın diğerine atıfta bulunduğu oluşan yayınlar arasındaki entelektüel bağlantıları yansıttığı varsayımıyla çalışan bilim haritalama için temel bir tekniktir. Bu analizde, yayının etkisi, aldığı atıfların sayısına göre belirlenmektedir. Böylece bir araştırma alanındaki en etkili yayınların tespit edilmesi sağlanmaktadır. Atıf verilerine dayalı haritalama sisteminde; dökümanların, kaynakların, yazarların, kurumların ve ülkelerin haritalaması şeklinde 5 grup bulunmaktadır (Donthu ve ark., 2021).

#### 3.1.1. Dökümanların Haritalaması

Yazarın dökümanlarının alıntı bağlantılarının görseli Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’deki ağ haritasında daire büyüklüğüne göre yazarların isimleri de netleşmektedir. Bu ağ haritasına göre bağıntı gücü en yüksek yazar, Cha (2017) olmakta ve bu yazarı Xue (2018) ve Lin (2017), Gao (2018) gibi yazarlar takip etmektedir. Birden fazla yayını olan ve diğer yayınlara kıyasla daha fazla atıf alan bu yayınların yazarlarının bağıntı gücü daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 2. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Dökümanların Haritalaması (Figure 2. Mapping of Documents in a citation Data-Based Mapping System)

Cha (2017)’nin (Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering) Bilgisayar Destekli İnşaat ve Altyapı Mühendisliği dergisinde yayınlanan ve en çok atıf alan makalesi olan “Konvolüsyonel Sinir Ağları Kullanarak Derin Öğrenme Tabanlı Hasar Tespiti (Deep Learning Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks) başlıklı makale

incelendiğinde, bu çalışmanın 1540 atıf sayısına ulaştığı görülmektedir (Url-2).

### 3.1.2. Kaynakların Haritalaması

Taranan dergiler sonucunda VOSviewer programındaki alıntı bağlantılarının görseli aşağıdaki gibidir (Şekil 3):



Şekil 3. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Kaynakların Haritalaması (Figure 3. Mapping Resources in a Citation Data-Based Mapping System)

Kaynakların haritalanmasında Şekil 3'te toplamda 14 kaynak arasında bir ilişkinin olduğu gösterilmektedir. Şekil 3'e göre birbirine yakın olan kaynaklar arasında ilişki bulunduğu ve bu kaynakların birbirini beslediği görülürken, uzak mesafedeki kaynaklar ile bir bağlantıları olmadığı görülmektedir. Buna göre, merkezde yer alan "Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering" kaynağının diğer kaynakları güçlü bir şekilde beslediği görülmektedir. Derin öğrenmenin inşaat sektöründeki kullanımına dair en fazla alıntı yapılan kaynak "Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering"tir. Bu sıralamayı ise Automation in Construction, Construction and Building Materials, Structural Control & Health Monitoring kaynakları izlemektedir.

En fazla alıntı yapılan kaynak örneği olan "Bilgisayar Destekli İnşaat ve Altyapı Mühendisliği Dergisi (Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering)" özellikle bilgisayar ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelere odaklanan, yeni çıkan bilgi işlem teknolojileri ve paradigmalarını ve teknolojilerinin gelişmesini teşvik eden ve bu bilgisayar teknolojilerini inşaat ve altyapı mühendisliği kapsamında yürütmesi açısından önemli bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır (Url-3).

### 3.1.3. Yazarların Haritalaması

Alıntı yapılan yazar sayısı 5'e indirgenmiştir. Bu seçim sonrasında ise 1048 yazarın 8'i eşik değerini karşılamıştır. Bu 8 yazar içinde ise bağlantı gücüne göre, bağlantı gücüne göre sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renklerde üç farklı grup oluşmuştur. Bu grupta kırmızı renkteki yazarlar arasında daha güçlü bir bağlantının olduğu görülmektedir. En merkezi konumda yer alan yazar ise Xiachun Luo'dur. Yazarların alıntı bağlantılarının görseli Şekil 4'deki gibidir.



Şekil 4. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Yazarların Haritalaması (Figure 4. Authors' Mapping in the Citation Data-Based Mapping System)

Buna göre Luo'nun İnşaatta Otomasyon (Automation in Construction) adlı dergide yayınlanan makalede (Detecting Non-Hardhat-Use By a Deep Learning Method From Far-Field Surveillance Videos) derin öğrenme yöntemi kullanılarak uzaktan gözetleme yöntemiyle kask-dışı kullanımı tespit etmeye yönelik

çalışma yapılmış ve güvenlik denetimi geliştirmeye yönelik hedefler geliştirmiştir (Luo ve ark., 2018).

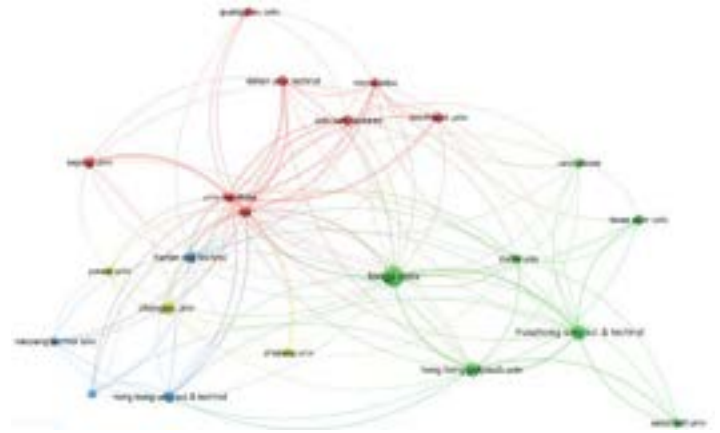
### 3.1.4. Kurumların Haritalaması

Kurumların haritalanması başlığı altında alıntı yapılan üniversite sayısı 5'e indirgenmiştir. Buna göre de 374 üniversitenin 22'si eşik değeri karşılamıştır. Derin öğrenmenin inşaat sektörü ile ilgili yapılan yayın sayıları üzerinden bir haritalama gösterilmiştir. Buna göre sarı, kırmızı, mavi ve yeşil renkte bir kümelenme görülmektedir. Bu kümelenme içinde en fazla yayın sayısına sahip üniversitenin Tongji Üniversitesi olduğu görülmektedir. Bu üniversiteyi sırayla, Huazhong Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Hong Kong Politeknik Üniversitesi, Harbin Teknoloji Enstitüsü ve Dalian Teknoloji Üniversitesi izlemektedir. Buna göre üniversitelerin yayın sayıları bağlantılarının görseli Şekil 5'de verilmiştir.

Tongji Üniversitesi'nde derin öğrenme ve inşaat sektörü temelinde yapılan bazı makalelerin isimleri aşağıda örneklendirilmiştir:

-Derin öğrenmeye dayalı geniş açıklıklı köprülerin çelik kutu kiriş tabanı için otomatik bir inceleme (An automated inspection method for the steel box girder bottom of long-span bridges based on deep learning)- (Wang ve ark., 2020)

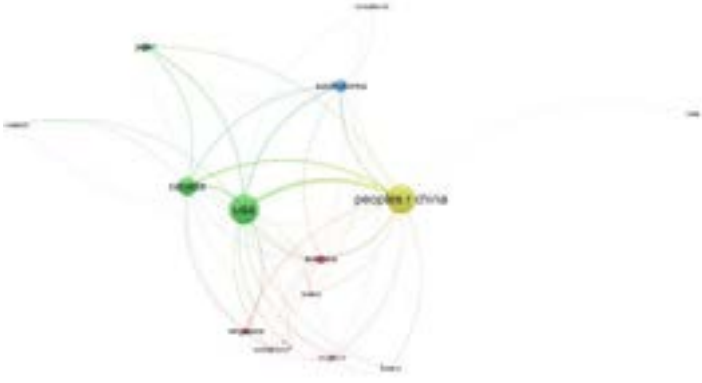
-Beton çatlaklarının İHA destekli görsel denetimi için derin öğrenme tabanlı bir görüş geliştirme yöntemi (A deep learning-based vision enhancement method for UAV assisted visual inspection of concrete cracks) (Qi ve ark., 2021).



Şekil 5. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Kurumların Yayın Sayıları Üzerinden Haritalaması (Mapping of Institutions Based on the Number of Publications in the Mapping System Based on Citation Data)

### 3.1.5. Ülkelerin Haritalaması

Alıntı yapılan ülke sayısı 5'e indirgenmiştir. Bu seçime göre de 46 ülkenin 16'sı eşik değeri karşılamıştır. Ülkelerin alıntı bağlantılarının görseli Şekil 6'da verilmiştir. Görsele göre derin öğrenmeyle ilgili inşaat sektöründe çalışan ülkeler arasında bağlantı gücü yüksek iki ülke Amerika ve Çin'dir. Bu iki ülkeyi sırasıyla, Kanada, Güney Kore, Avustralya ve Singapur izlemektedir.



Şekil 6. Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Ülkelerin Haritalaması (Mapping of the Countries in a Citation Data-Based Mapping System)

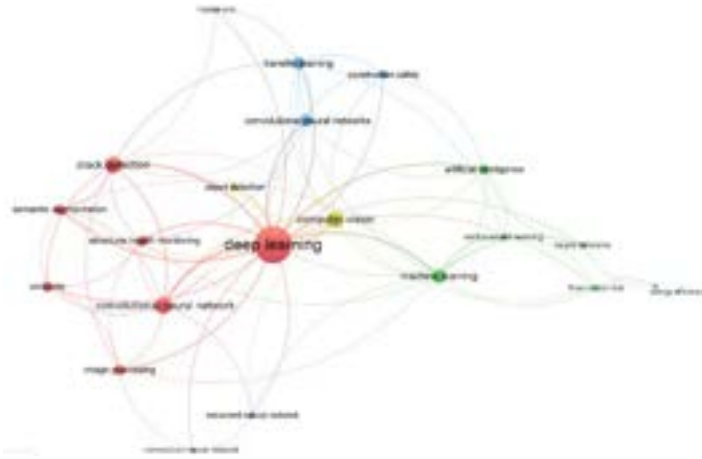
Ülke bazında doküman sıralamasında ilk üç ülke Çin (129), Amerika (103) ve Güney Kore (40) iken, yukarıdaki yoğunluk haritası değerlendirildiğinde dokümanlara yapılan atıflar sırasıyla Amerika (3030), Çin (2750) ve Kanada (1228)'dir.

### 3.2. Birlikte Bulunma Verilerine Dayalı Haritalama

Anahtar kelime haritalaması, anahtar sözcüklerin yüksek sıklığı ve bunların ilişkilerini göstermek amacıyla yapılmaktadır (Hamidah ve ark., 2021).

#### 3.2.1. Anahtar Kelimelerin Haritalaması

Bir anahtar kelimenin minimum kullanım sayısı 5 olarak seçildiğinde 960 anahtar kelimenin 22'si eşik değerini geçmiştir. Anahtar kelimelerin bağlantılarının görseli Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Birlikte Bulunma Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Anahtar Kelime Haritalaması (Keyword Mapping in the Co-occurrence Data-Based Mapping System)

Buna göre ilk 15 anahtar kelime ve toplam bağlantı sayıları sırasıyla aşağıda Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre inşaat sektöründe yapılan derin öğrenme çalışmalarında ilk beşteki anahtar kelimeler sırasıyla "derin öğrenme, bilgisayar görüşü, konvolüsyonel sinir ağları, hasar tespiti ve makine öğrenmesi"dir.

Tablo 3. Birlikte Bulunma Verilerine Dayalı Haritalama Sistemindeki İlk 15 Anahtar Kelime (Table 3. Top 15 Keywords in Co-occurrence Data-Based Mapping System)

Anahtar Kelimeler	Toplam Bağlantı
Derin öğrenme (Deep Learning)	126
Bilgisayar görüşü (Computer vision)	34
Konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Network)	34
Hasar tespiti (Crack detection)	34
Makine öğrenmesi (Machine Learning)	24
Konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Network)	20
Transfer öğrenme (Transfer Learning)	20
Beton (Concrete)	16
Anlamsak bölümlenme (Semantic segmentation)	16
Yapısal sağlık izleme (Structural Health Monitoring)	15
Görüntü işleme (Image Processing)	15
Yapay zekâ (Artificial Intelligence)	14
İnşaat güvenliği (Construction Safety)	11
Nesne Algılama (Object Detection)	10
Tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Network)	8

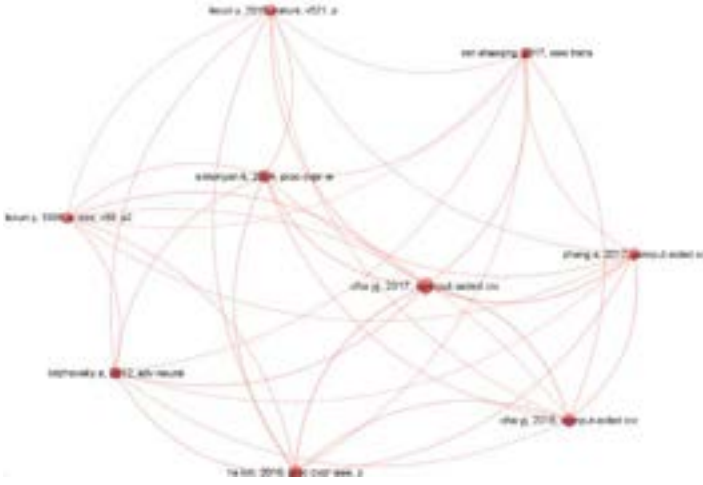
### 3.3. Ortak Atıflara Dayalı Haritalama

Ortak atıflara dayalı haritalamada, atıf yapanları analiz eden bibliyografik eşleştirmenin aksine, atıf yapılan iki belgenin analiz edildiği haritalama sistemidir, aynı belge tarafından atıf yapılmış belgeler arasında kurulan bağlantı olarak da tanımlanabilir (Kurutkan ve Orhan, 2018).

#### 3.3.1. Alıntı Yapılan Referansların Haritalaması

Alıntı yapılan referansların sayısı 20'ye indirgenmiştir. Buna göre, 12.420 referansın 37 tanesi eşik değerini karşılamıştır. Ortak atıf yapılan referansların birbirleriyle bağlantılarının VOSviewer programındaki görseli Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre, alıntı yapılan referansların ağ haritası üzerinde aralarındaki ilişki bağı gösterilmektedir. Bu ağ haritasında sadece kırmızı renkte tek kümelenme olduğu görülmektedir. Bu kümelenme içinde bağlantı gücü yüksek iki referans sırasıyla referans Young Cha jin-"Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks ve Kaiming He-Deep Residual Learning for Image Recognition" adlı makalelerdir.



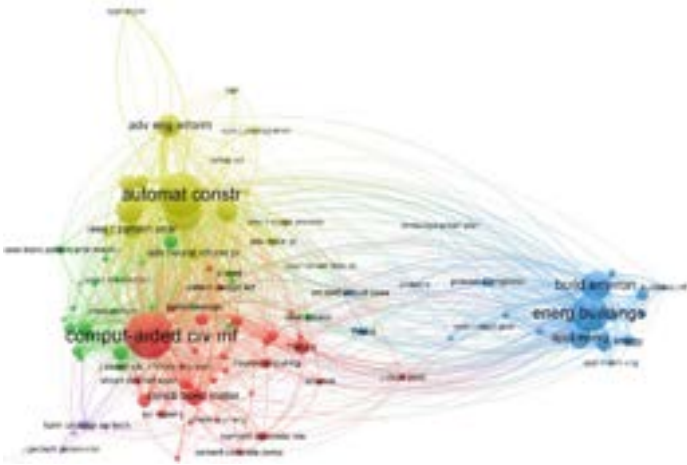


Şekil 8. Ortak Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Referans Haritalaması (Figure 8. Reference Mapping in a Common Citation Data-Based Mapping System)

Derin öğrenmenin inşaat sektöründe yapılan çalışmalar içinde en fazla ortak atıf yapılan referans Young Cha jin tarafından 2017 yılında “Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering” dergisinde yazılan “Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks” adlı makedir. Bu makale konvolüsyonel sinir ağları kullanılarak çatlak hasar tespitini derin öğrenme tabanında ölçmeyi hedefleyen bir çalışma olması bakımından inşaat sektöründe örnek bir çalışma teşkil etmektedir (Cha, Choi ve Büyüköztürk, 2017).

### 3.3.2. Alıntı Yapılan Kaynakların Haritalaması

Alıntı yapılan kaynakların seçimi 20’ye indirgenmiştir. Buna göre 5315 kaynağın 100’ü eşik değerini karşılamıştır. Ortak atıf yapılan kaynakların birbirleriyle bağlantılarının VOSviewer programındaki görseli Şekil 9’teki gibidir.



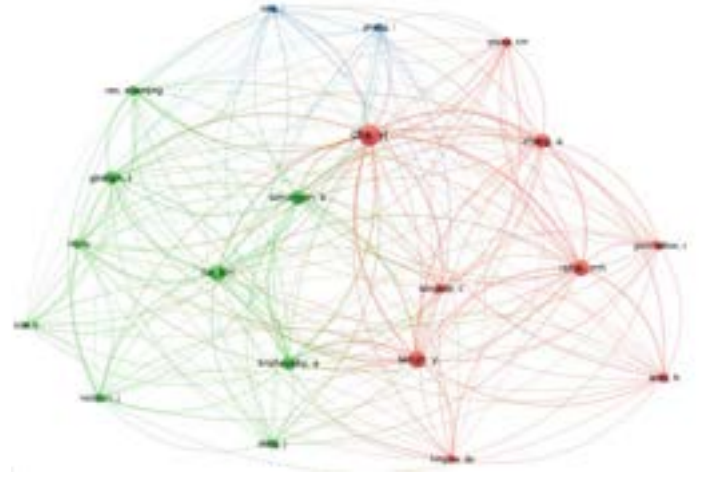
Şekil 9. Ortak Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Kaynak Haritalaması (Resource Mapping in a Co-citation Data-Based Mapping System)

Yukarıdaki ağ haritasında atıf kaynakların bağıntı gücü gösterilmektedir. Bu haritaya göre atıf kaynaklar arasında karmaşık ve güçlü bir ilişki bulunmakta ve daire boyutları büyüdükçe kaynakların önem derecesi artmaktadır. Bu bilgilere göre görseldeki kaynak haritalaması değerlendirildiğinde, “Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering,

Automation in Construction, Energy Buildings, Building Environment” önde gelen önemli kaynaklar arasında yer almaktadır. Derin öğrenmenin inşaat sektörüyle ilgili yapılan çalışmalar içinde en çok ortak atıf yapılan ilk 5 kaynak sırasıyla; Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Automation in Construction, Proceeding CVPR IEEE, Energy Buildings, Building Environment, Journal of Computing in Civil Engineering şeklindedir.

### 3.3.3. Alıntı Yapılan Yazarların Haritalaması

Alıntı yapılan yazarların sayısı 20’ye indirgenmiştir. Buna göre 8944 yazarın 64’ü eşik değerini karşılamıştır. Ortak atıf yapılan yazarların birbirleriyle bağlantılarının VOSviewer programındaki görseli Şekil 10’da verilmiştir:



Şekil 10. Ortak Atıf Verilerine Dayalı Haritalama Sisteminde Yazar Haritalaması (Author Mapping in a Co-citation Data-Based Mapping System)

Alıntı yapılan yazarların bağıntı gücü arttıkça, yazarların ismi de belirli bir netlikte gösterilmektedir. Şekil 10’daki ağ haritasına göre en önde gelen yazar en büyük dairede gösterilen Cha YJ, Lecun Y ve Rafiei MH ve Zhang A’dır.

## 4. Sonuç

Yukarıdaki veriler incelendiğinde görülmektedir ki, gelişen teknoloji ve prensiplerin başta sanayi, üretim ve inşaat sektörlerine yansması olumlu şekildedir. Bu değişim ve gelişim sayesinde bilgiye kolaylıkla ulaşılmakta, iş verimliliği ve entegrasyonu artmakta, üretimde iş gücü ve maliyetinden tasarruf edilmekte, üretim süreçleri hızlanmaktadır (İlerisoy ve ark., 2021). Bu çalışmada da bu gelişmelerin inşaat sektörüne yansmasının hangi düzeyde olduğuna dair araştırmalar yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle bibliyometrik çalışma yapılmıştır. Yapılan taramalara göre, son 10 yılda derin öğrenme kavramının literatüre girmesiyle çalışmalarda da özellikle tıp, telekomünikasyon, robotik, medikal, uzaktan algılama gibi alanlarda daha yaygın kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Ancak görülmektedir ki derin öğrenmenin en az yapıldığı alanlardan biri de “inşaat yapı teknolojisi” alanında olmuştur. Ancak bu çalışmada bazı kısıtlamalar da saptanmıştır. Bu kısıtlamaların ilki yapılan makale taramalarının sadece Web of Science veri tabanında yapılmış olmasıdır. Her ne kadar çok sayıda dergi taransa da “derin öğrenme ve bina-yapı sektörü” anahtar kelimeleriyle yapılan çalışmalar bu veri tabanı ile sınırlı değildir.

Ancak WOS veri tabanı, çok fazla sayıda dergiyi kapsamaması, farklı atıf veri tabanını (SSCI, SCIE, CPCI-S, AHCI, IC, CCR-E) içermesi ve en eski veri tabanı olmasından dolayı tercih edilmiştir (Chadegani ve ark., 2013). Bir diğer kısıtlama ise bibliyometrik analizde nicel yöntemlerin kullanılması ve bu doğrultuda da yayınların içeriği ve kalitesinin yorumlanamaması (Dunk ve Arbon, 2009) şeklindedir.

Bu çalışma, derin öğrenmenin mimarlık, mühendislik, inşaat sektörlerindeki araştırmalarına dair 2010-2020 yılları arasındaki etkisinin bir analizini, inşaat sektöründe ise gelecekteki derin öğrenme araştırmaları için bir kılavuz sağlamayı hedeflemektedir. VOSviewer yazılımı, çeşitli Web of Science yayınlarında yer alan kaynak verilerden derlenen bibliyometrik ağları görselleştirmek ve analiz etmek için kullanılmıştır. 2010 yılından 2020 yılına kadar yayımlanan 323 makalede derin öğrenmenin inşaat sektöründe kullanımını üzerine yapılan analize dayalı olarak, bibliyometrik analiz sonuçlarına göre bu alanda yapılan çalışmalar ülke bazında değerlendirildiğinde ilk iki sırada Çin ve Amerika almaktadır. Bu doğrultuda da kurum bazında da bu alandaki çalışmalara katkıda bulunan üniversiteler Tongji Üniversitesi, Huazhong Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Hong Kong Politeknik Üniversitesi ve Harbin Üniversitesi'yle Çin tarafından sağlanmaktadır.

Yapılan incelemeler doğrultusunda her ne kadar bu konudaki araştırmaların son yıllarda büyüme eğiliminde olduğunu gösterse de son 10 yılda derin öğrenmenin inşaat sektöründeki çalışmalarının oldukça kısıtlı sayıda olduğu sonucuna varılmıştır. Çin ve Amerika'nın öncü olduğu bu alanda ülkemizde WOS veri tabanında bu alanda yapılan hiçbir çalışma karşımıza çıkmamıştır. Bu bağlamda ülkemizde de bu alanda yapılacak çalışmalara öncelik verilmesi ve mimarlık ve inşaat sektörüyle birlikte bu alanda ilerleyebilmek adına farklı disiplinlerin birarada çalışmasında olanak sağlayacak ortamın oluşturulması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Akinosho, T.D., Oyedele, L.O., Bilal, M., Ajayi, A.O., Delgado, M.D., Akinade, O.O., Ahmed, A.A. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, 32, 1-14.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., Lim, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guideline. *Journal of Business Research*, 133, 285-296.
- Dunk, A. M., & Arbon, P. A. (2009). Is it time for a new descriptor'pressure injury': A bibliometric analysis. *Wound Practice and Research*, 17 (4), 201-207.
- Hamidah, I., Pawinanto, R.E., Mulyanti, B., Yunas, J. (2021). A bibliometric analysis of micro electro mechanical system energy harvester research. *Heliyon*, (7), 1-8.
- İlerisoy, Z.Y., Soyluk, A., Sarıcıoğlu, P. (2021). Mimarlık ve Endüstri 4.0 Eşleşmesi. *Yapı Dergisi*, 464, 12-17.
- İnternet: URL-1: [www.vosviewer.com](http://www.vosviewer.com) (Son Erişim Tarihi: 02.05.2021).
- İnternet: URL-2: [https://scholar.google.com.tr/scholar?cites=15660527995231580373&as\\_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=tr](https://scholar.google.com.tr/scholar?cites=15660527995231580373&as_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=tr) (Son Erişim Tarihi: 02.05.2021).
- İnternet: URL-3: <https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/14678667/home>

- page/productinformation.html (Son Erişim Tarihi: 02.05.2021).
- Kersting, K. (2018). Machine learning and artificial intelligence: Two fellow travelers on the quest for intelligent behaviour in machines. *Frontiers in Big Data*, 1(6), 1-4.
- Kurutkan, M.N., Orhan, F. (2018). Bilim Haritalama, Bibliyometrik Analiz ve Kitap ile İlgili Genel Hususlar. 2018: İksad Yayınevi.
- LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436-444. doi: 10.1038/nature14539
- Luo, X., Fang, Q., Li, H., Ding, L., Luo, H., Rose, T., An, W., (2018). Detecting non-hardhat-use by a deep learning method from far-field surveillance videos. *Automation in Construction*, 85, 1-9.
- Qi, Y., Yuan, C., Kong, Q., Xiong, B., Li, P. (2021). A deep learning-based vision enhancement method for UAV assisted visual inspection of concrete cracks. *Smart Structure and Systems*, 27(6), 1031-1040.
- Sharma, N., Sharma, R., Jindal, N. (2021). Machine learning and deep learning applications- a vision. *Global Transitions Proceedings*, 2, 24-28.
- Şeker, A., Diri, B., Balık, H.H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(4), 47-64.
- Wallace, D. (1989). Bibliometrics and citation analysis. J. N. Olsgaard (Yay. Haz.). Principles and applications of information science: For library professionals Chicago and London: American Library Association, 10-26.
- Wang, D., Zhang, Y., Peng, B., Liu, H., Ma, R. (2020). An automated inspection method for the steel box girder bottom of long-span bridges based on deep learning. *IEEE Access*, 8, 94010-94023.
- Zan, B. U. (2013). "ULAKBİM sosyal ve beşerî bilimler veri tabanında indekslenen Çankırı Karatekin Üniversitesi yayınlarının analizi". *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 227-238.



# On the Solution of a Nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov Equation

Kenan Yıldırım<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Mus Alparslan University, Science Faculty, Mathematics, Mus, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4471-3964), [k.yildirim@alparslan.edu.tr](mailto:k.yildirim@alparslan.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 18 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1118288)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım, K. (2022). On the Solution of a Nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov Equation, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(38), 236-239.

## Abstract

In this paper, as a new method for obtaining the numerical solution of nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov equation, Bernoulli-collocation method is introduced. Bernoulli-collocation method is employed for three different cases of Fisher-Kolmogorov equation. Obtained numerical results are presented in the tables and graphical forms.

**Keywords:** Bernoulli collocation method, Fisher Equation, Numerical Solution

# Homojen Olmayan Fisher-Kolmogorov Denkleminin Çözümü Üzerine

## Öz

Bu makalede, homojen olmayan Fisher-Kolmogorov denkleminin sayısal çözümünü elde etmek için yeni bir yöntem olarak Bernoulli sıralama yöntemi tanıtılmaktadır. Fisher-Kolmogorov denkleminin üç farklı durumu için Bernoulli sıralama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar tablolar ve grafik formlarda sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bernoulli sıralama yöntemi, Fisher Denklemi, Nümerik çözüm

\* Sorumlu Yazar: [k.yildirim@alparslan.edu.tr](mailto:k.yildirim@alparslan.edu.tr)

### 1. Introduction

Generally problems existing in the engineering and nature are modeled by means of differential equations. After modeling the problem in the form of differential equation, main important question arises. Does the model have a solution? If yes, What is the solution? If the differential equation corresponding to problem is linear, the solution of this differential equation can be generally found. If the differential equation is nonlinear, finding the solution of this differential equation is not easy and sometimes it is impossible or unthinkable. In that cases, finding the numerical solutions of nonlinear differential equation is considered. One of the nonlinear differential equations is Fisher-Kolmogorov equation and Fisher-Kolmogorov equation was introduced in (Adomian, 1995) for describing the reaction-diffusion phenomena in the chemical sciences. Several numerical methods are introduced for obtaining the numerical solution of Fisher-Kolmogorov equation. In (Sweilam, ElSakout & Muttardi, 2021), authors derived a new compact finite difference scheme in the spatial direction and used the semi-implicit Euler-Maruyama approach in the temporal direction to study a stochastic extended Fisher-Kolmogorov equation with multiplicative noise numerically. In (Kadri & Omrani, 2011), a Crank–Nicolson type finite difference scheme to approximate the nonlinear evolutionary Extended Fisher–Kolmogorov (EFK) equation is presented. In (Araujo, 2014), authors considered an existence result for periodic solutions for a class of fourth-order ordinary differential equations involving extended Fisher–Kolmogorov and Swift–Hohenberg equations, where under a suitable growth condition on the nonlinear term, one proves an existence result by applying Mawhin’s continuation theorem. In (Cabada, Souroujon & Tersian, 2012), existence of heteroclinic solutions for semilinear second-order difference equations related to the Fisher–Kolmogorov’s equation is presented. In (Andreu, Caselles & Maz’ou, 2010), a Fisher–Kolmogorov type equation is taken into account and it is proved that the existence and uniqueness of finite speed moving fronts and the existence of some explicit solutions in a particular regime of the equation. In (Yeun, 2013), it is studied the extended Fisher–Kolmogorov (EFK) equation and its variants. In (Danumjaya & Pani, 2005), a second-order splitting combined with orthogonal cubic spline collocation method is formulated and analysed for the extended Fisher–Kolmogorov equation. With the help of Lyapunov functional, a bound in maximum norm is derived for the semidiscrete solution. Optimal error estimates are established for the semidiscrete case. Specifically, in this paper, a nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov is presented. Bernoulli collocation method is recalled and adopted to Fisher-Kolmogorov equation. By means of mathematical software, numerical solution of Fisher-Kolmogorov equation is obtained. Obtained numerical solution is plotted for different values of  $v$ . Also, error analysis is presented by means of table. Let us take into account following nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov equation as follows;

$$\frac{\partial w(t, x)}{\partial t} + v \frac{\partial^4 w(t, x)}{\partial x^4} - \frac{\partial^2 w(t, x)}{\partial x^2} + \psi(w) = f(t, x) \tag{1}$$

in which  $w(t, x)$  is reaction-diffusion function,  $(x, t) \in [0, \ell] \times [0, T]$ ,  $\psi(w) = w^3 - w$ ,  $f(t, x)$  is external function effected on the reaction-diffusion and  $v$  is a non negative constant. Eq.(1) is subject to the following boundary conditions;

$$w(t, x) = 0, \quad w_{xx}(t, x) = 0 \quad \text{at } x = 0, \ell \tag{2}$$

and following initial conditions;

$$w(t, x) = w_0(x) \quad \text{at } t = 0. \tag{3}$$

### 2. Bernoulli collocation method

The recurrence relation of the Bernoulli polynomials is defined by the following relation;

$$B_n(x) = 2xB_{n-1}(x) + B_{n-2}(x) \tag{4}$$

For  $n \geq 3$ ,

$$B_1(x) = 1, \quad B_2(x) = 2x. \tag{5}$$

The first few Bernoulli polynomials are

$$\begin{aligned} B_1(x) &= 1, \\ B_2(x) &= x - \frac{1}{2}, \\ B_3(x) &= x^2 - x - \frac{1}{6}, \\ B_4(x) &= x^3 - \frac{3}{2}x^2 + \frac{x}{2}, \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \tag{6}$$

Our goal is to get the approximate solution as the truncated Bernoulli series defined by

$$y(x) = \sum_{n=1}^{N+1} c_n B_n(x) \tag{7}$$

where  $B_n(x)$  denotes the Bernoulli polynomials;  $c_n$  ( $1 \leq n \leq N + 1$ ) are the unknown coefficients for Bernoulli polynomial, and  $N$  is any positive integer which possess  $N \geq m$ . Let us assume that linear combination of Bernoulli polynomials Eq.(7) is an approximate solution of Eq.(1). Our purpose is to determine the matrix forms of Eq.(1) by using (7). Firstly, we can write Bernoulli polynomials (5) in the matrix form

$$B(x) = T(x) M \tag{8}$$

where  $B(x) = [B_1(x) \ B_2(x) \ \dots \ B_{N+1}(x)]$ ,  $T(x) = (1 \ x \ x^2 \ x^3 \ \dots \ x^N)$ ,  $C = (c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{N+1})^T$  and

$$M = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 0 & -\frac{1}{30} & 0 & \frac{1}{42} & 0 & -\frac{1}{30} \\ 0 & 1 & -1 & \frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{3}{2} & 1 & 0 & -\frac{1}{2} & 0 & \frac{2}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & \frac{5}{3} & 0 & -\frac{7}{6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\frac{5}{2} & \frac{5}{2} & 0 & -\frac{7}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & \frac{7}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\frac{7}{2} & \frac{14}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

The matrix form of Eq.(7) by a truncated Bernoulli series is given by

$$Y(x) = B(x) C. \tag{9}$$

By using Eq.(8) and Eq.(9), the matrix relation is expressed as

$$\begin{aligned} Y(x) &\cong Y_N(x) = T(x)MC \\ Y^{(\gamma)}(x) &\cong Y_N^{(\gamma)}(x) \\ &= T(x)X_{(\gamma)}^{(x)}D_{(\gamma)}MC \\ Y''(x) &\cong Y_N''(x) = T(x)D^2MC \end{aligned} \tag{10}$$

where

$$X_{(\gamma)}(x) = [0, x^{1-\gamma}, x^{2-\gamma}, \dots, x^{N-\gamma}]$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$$D^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} T(x_0) \\ T(x_1) \\ \vdots \\ T(x_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & \dots & x_0^N \\ 1 & x_1 & \dots & x_1^N \\ 1 & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_N & \dots & x_N^N \end{bmatrix}$$

$$D_{(\gamma)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\Gamma(2)}{\Gamma(2-\gamma)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Gamma(3)}{\Gamma(3-\gamma)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\Gamma(N)}{\Gamma(N-\gamma)} \end{bmatrix}$$

By using Eq.(10), we obtain the following relation

$$Y^{(k)}(x) = T(x)D^kMC \tag{11}$$

By substituting the Bernoulli collocation points given by

$$x_i = a + \frac{(b-a)i}{N}, i = 0,1, \dots, N \tag{12}$$

into Eq. (11), we obtain

$$Y^{(k)}(x_i) = T(x_i)D^kMC, k = 0, \gamma, 2. \tag{13}$$

and the compact form of the relation (13) becomes

$$Y^{(k)} = TD^kMC, k = 0, \gamma, 2. \tag{14}$$

In this way, the unknown Bernoulli coefficients  $c_n, n = 1,2, \dots, N + 1$  are obtained by solving the system. Then, these coefficients are substituted into (7), and the approximate solution is obtained.

### 3. Simulation results and discussions

In this section, obtained numerical solutions via Bernoulli collocation method are presented in the table and graphical forms. The  $f(t, x)$  is taken into account as  $xe^{-t}$ . Also,  $l$  and  $T$  are considered as 1 and 1, respectively. Numerical results show that introduced new numerical method for solving Fisher-Kolmogorov is very effective. In table 1, numerical solution of the equation under consideration is given at the some points of  $t$  in  $[0,1]$  for different values of  $v$ . In table 2, error analysis of the numerical solution gained by means of Bernoulli collocation method is presented and observations on table 2 reveals that Bernoulli collocation method has the very good accurate for obtaining solutions of nonlinear equations. In Figure 1, obtained numerical solutions is illustrated for  $(x, t)$  in  $[0,1] \times [0,1]$ .

Table 1. Some values of numerical solutions for different  $t$  at  $x = 0.5$ .

$t \backslash v$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.1	0.0	0.0034678	0.0147922	0.0256025	0.0250025	0.0069034
0.001	0.0	0.0048285	0.0243134	0.0471310	0.0523136	0.0249079
0.0001	0.0	0.0048450	0.0244505	0.0474783	0.0528039	0.0252991

Table 2. Error analysis of numerical solutions obtained by Bernoulli Collocation method for different  $t$  at  $x = 0.5$

$t \backslash v$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.1	0.0	$3.60822 \times 10^{-16}$	$1.58207 \times 10^{-15}$	$1.33227 \times 10^{-14}$	$2.13163 \times 10^{-14}$	$8.15554 \times 10^{-3}$
0.001	0.0	$4.85723 \times 10^{-17}$	$3.60822 \times 10^{-16}$	$4.44089 \times 10^{-16}$	$2.66454 \times 10^{-15}$	$3.67326 \times 10^{-4}$
0.0001	0.0	$2.77556 \times 10^{-17}$	$8.32667 \times 10^{-17}$	$5.55112 \times 10^{-16}$	$6.21725 \times 10^{-15}$	$3.42666 \times 10^{-4}$

## 6. Conclusions

In this paper, numerical solution of nonhomogeneous Fisher-Kolmogorov equation is obtained by employing the Bernoulli-Collocation method. Obtained results are presented in tables and graphical forms. After observing the tables and graphic for numerical solutions obtained by Bernoulli collocation method, it reveals that Bernoulli collocation method is very effective and it is robust method for obtaining numerical solutions of other nonlinear equations.

## References

Adomian, G. (1995). Fisher-Kolmogorov equation, Applied Mathematics Letters, 8, 51-52. Doi: [10.1016/0893-9659\(95\)00010-N](https://doi.org/10.1016/0893-9659(95)00010-N)

Andreu, F., Caselles, V. & Maz'ón, J.M. (2010). A Fisher-Kolmogorov equation with finite speed of propagation, Journal of Differential Equations, 248, 2548-2591. Doi: [10.1016/j.jde.2010.01.005](https://doi.org/10.1016/j.jde.2010.01.005)

Araujo, A.L. (2014). Periodic solutions for extended Fisher-Kolmogorov and Swift-Hohenberg equations obtained using a continuation theorem, Nonlinear Analysis, 94, 100-106. Doi: [10.1016/j.na.2013.08.007](https://doi.org/10.1016/j.na.2013.08.007)

Cabada, A., Souroujon, D. & Tersian, S. (2012). Heteroclinic solutions of a second-order difference equation related to the Fisher-Kolmogorov's equation, Applied Mathematics and Computation, 218, 9442-9450. Doi: [10.1016/j.amc.2012.03.032](https://doi.org/10.1016/j.amc.2012.03.032)

Danumjaya, P. & Pani, A. K. (2005). Orthogonal cubic spline collocation method for the extended Fisher-Kolmogorov equation, Journal of Computational and Applied Mathematics, 174, 101-117. Doi: [10.1016/j.cam.2004.04.002](https://doi.org/10.1016/j.cam.2004.04.002)

Kadri, T. & Omrani, K. (2011). A second-order accurate difference scheme for an extended Fisher-Kolmogorov

equation, Computers Mathematics with Applications, 61(2), 451-459. Doi: [10.1016/j.camwa.2010.11.022](https://doi.org/10.1016/j.camwa.2010.11.022)

Sweilam, N. H., ElSakout, D.M. & Muttardi, M.M. (2021). Numerical solution for stochastic extended Fisher-Kolmogorov equation, Chaos, Solitons and Fractals, 151, 111213. Doi: [10.1016/j.chaos.2021.111213](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111213)

Yeun, Y. L. (2013). Heteroclinic solutions for the extended Fisher-Kolmogorov equation, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 407, 119-129. Doi: [10.1016/j.jmaa.2013.05.012](https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2013.05.012)



# Farklı Derin Ötektik Çözücülerin pH ve Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi

Naciye Kutlu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4075-8823), [naciyekutlu@bayburt.edu.tr](mailto:naciyekutlu@bayburt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 10 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1113115)

**ATIF/REFERENCE:** Kutlu, N. (2022). Farklı Derin Ötektik Çözücülerin pH ve Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 240-246.

## Öz

Bu çalışmada, gıda proseslerinde kullanılması en muhtemel 6 farklı derin ötektik çözücünün (kolin klorür-asetik asit, kolin klorür-üre, kolin klorür-sitrik asit, kolin klorür-gliserol, kolin klorür-laktik asit ve gliserol-sitrik asit) pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık (25 °C, 50 °C ve 75 °C) ile değişimi araştırılmıştır. Gliserol-sitrik asit kombinasyonu için molar oran 1:1 olarak kullanılmış olup, diğer çözücüler için molar oran 1:2 olarak uygulanmıştır. Ayrıca tüm çözücülere kütlece %30 oranında su eklenmiştir. Sonuç olarak, pH değerlerinin sıcaklık ile değişiminin hidrojen bağı donörü türüne bağlı olarak değiştiği, elektriksel iletkenlik değerlerinin ise sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Her iki değer için de doğrusal model uyumluluğunun yüksek olduğu görülmüştür. pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin de birbirleri ile ilişkileri incelendiğinde ise asit bazlı hidrojen bağı donörleri ile oluşturulan derin ötektik çözücü kombinasyonlarının pozitif, diğer kombinasyonların ise negatif bir korelasyon gösterdiği görülmüştür. Son olarak, aktivasyon enerjileri incelendiğinde ise pH için hidrojen bağı donörü olarak sitrik asit, elektriksel iletkenlik için ise ürenin kullanıldığı kombinasyonlar en yüksek değer almıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin ötektik çözücüler, pH, Elektriksel iletkenlik, Sıcaklık.

## Variation of pH and Electrical Conductivity Values of Different Deep Eutectic Solvents with Temperature

### Abstract

In this study, the variation of pH and electrical conductivity values of 6 different deep eutectic solvents (choline chloride-acetic acid, choline chloride-urea, choline chloride-citric acid, choline chloride-glycerol, choline chloride-lactic acid, and glycerol-citric acid) most likely to be used in food processes with temperature (25 °C, 50 °C and 75 °C) were investigated. The molar ratio was used as 1:1 for the glycerol-citric acid combination, and the molar ratio was applied as 1:2 for other solvents. Besides, 30% water by mass was added to all solvents. As a result, it was observed that the variation of pH values with temperature changed depending on the hydrogen bond donor type, while the electrical conductivity values increased in direct proportion to the increase in temperature. It was seen that linear model compatibility was high for both values. When the relations between pH and electrical conductivity values were examined, it was seen that deep eutectic solvent combinations formed with acid-based hydrogen bond donors showed a positive correlation, while other combinations showed a negative correlation. Finally, when the activation energies are examined, the combinations using citric acid as hydrogen bond donor for pH and urea for electrical conductivity have the highest value.

**Keywords:** Deep eutectic solvents, pH, Electrical conductivity, Temperature.

\* Sorumlu Yazar: [naciyekutlu@bayburt.edu.tr](mailto:naciyekutlu@bayburt.edu.tr)

## 1. Giriş

Son yıllarda “yeşil teknoloji” kapsamında oldukça ilgi gören derin ötektik çözücüler (DÖÇ), genel olarak bir kuaterner amonyum tuzu (çoğunlukla kolin klorür) olarak bir hidrojen bağ alıcısı (HBA) ile bir metal tuzu ya da hidrojen bağı donörünün (HBD) birleştirilmesiyle elde edilmektedirler. Derin ötektik çözücüler, hidrojen bağı yoluyla etkileşen bileşenlerin özelliklerini korumakta ve aralarında herhangi bir kovalent bileşik oluşumu görülmemektedir. Derin ötektik çözücüyü oluşturan HBA ve HBD'nin optimum molar oranları, bu bileşenlerin hidrojen bağlama yeteneklerine bağlı olarak değişmektedir (Marcus, 2019). Derin ötektik çözücülerin ekstraksiyon proseslerinde kullanımı ile özellikle biyoaktif bileşik veriminde artış görüldüğü rapor edilmiştir (Meng vd., 2018).

Derin ötektik çözücülerin erime noktaları, bu çözücülerini oluşturan her bir bileşenin erime noktalarından daha düşüktür (Smith vd., 2014). Derin ötektik çözücüler birçok kaynaktan “iyonik sıvı” olarak da adlandırılmaktadır. Fakat bu tanımlama doğru olmayıp, iki farklı çözücü olduğunu öncelikle belirtmek gerekmektedir. İyonik sıvılar yalnızca iyonlardan oluşmaktadır (Abbott vd., 2008). Fakat derin ötektik çözücüler iyonik olmayan türlerden de elde edilebilmektedir (Zhang vd., 2012). Derin ötektik çözücüler ile iyonik sıvıların fiziksel özellikleri benzer olmasına karşın, kimyasal özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ayrıca derin ötektik çözücüler iyonik sıvılara göre daha kolay hazırlanabilir ve daha ekonomiktirler (Smith vd., 2014). Derin ötektik çözücülerin buhar basınçları ihmal edilebilecek kadar düşüktür, bunun yanı sıra yanmaya, patlamaya karşı dayanıklı olup, düşük toksisite değerine ve elektrokimyasal ve termal kararlılığa sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle “yeşil çözücüler” olarak sınıflandırılırlar. Özellikle ekstraksiyon gibi prosesler için işlem sırasında kimyasal ve termal kararlılık gerekli olduğundan, gıdaların ekstraksiyonunda son dönemlerde sıklıkla tercih edilmektedirler (Skulcova vd., 2018).

Çözücülerin fiziksel özellikleri gıda ekstraksiyon proseslerinde biyoaktif bileşen verimini önemli derecede etkilemektedir. Bu fiziksel özelliklerin başında hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH-power of hydrogen) ve elektriksel iletkenlik (Eİ) gelmektedir. Sıcaklık, bu fiziksel özelliklerin üzerine etkili olan en önemli faktörlerden birisidir. Derin ötektik çözücülere ait pH değerlerinin sıcaklığa bağımlı olarak değiştiği, Kareem vd. (2010) ve Hayyan vd. (2012) tarafından da bildirilmiştir. Ayrıca kullanılan hidrojen bağı donörünün pH üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir.

Derin ötektik çözücülerin pH değerinin doğrusal eşitliklere iyi uyum sağladığı farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Kareem vd., 2010; Hayyan vd., 2012; Hayyam vd., 2013). Fakat gıdaların ekstraksiyonu için kullanılmış derin ötektik çözücülerin pH ve elektriksel iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi üzerine literatürde çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Çözücülerin pH değişimi farklı reaksiyonların anlaşılması üzerine oldukça etkili olabilmektedir. Elektriksel iletkenlik ise yapılacak olan işlemin, çalışma prensibi bu değere bağlı olan yenilikçi yöntemler (ohmik ısıtma ya da vurgulu elektrik alan) ile yapılıp yapılamayacağı konusunda bilgi vermektedir (Banti, 2020). Dolayısı ile bu çalışma derin ötektik çözücülerini ile yapılacak olan birçok yeni araştırma için bir kaynak olma özelliğindedir.

Bu çalışmada gıdalardan farklı biyoaktif bileşenlerin (fenolik bileşik, antosiyanin, vitamin, karetenoid, antioksidan maddeler

vb.) ekstraksiyonu amacıyla en çok kullanılan 6 farklı derin ötektik çözücü (kolin klorür-asetik asit, kolin klorür-üre, kolin klorür-sitrik asit, kolin klorür-gliserol, kolin klorür-laktik asit ve gliserol-sitrik asit) hazırlanmış ve her bir kombinasyon için %30 oranında su eklenmiştir. Derin ötektik çözücüler, bir HBA ve bir HBD karıştırılarak, yani hidrojen bağı etkileşimleri yoluyla oluşturulduklarından dolayı, su gibi yüksek polar bir çözücünün varlığı fizikokimyasal özelliklerini etkileyebilmektedir (El Achkar vd., 2019; Vilková vd., 2020). Hazırlanan çözücülerin, farklı sıcaklıklar altında (25, 50 ve 75 °C) değişen pH ve elektriksel iletkenlik değerleri karşılaştırılmıştır. Değerlerin sıcaklık ile değişiminin doğrusal model uyum derecesi belirlenmiş olup, farklı HBD'lerin bu değişime etkisi de araştırılmıştır. Son olarak, sıcaklık ile değişim potansiyellerini belirleyebilmek için, aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kimyasallar

Kolin klorür, üre, gliserol, asetik asit, laktik asit ve sitrik asit, Sigma-Aldrich, Isolab ve Merck'ten temin edilmiştir ve tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

### 2.2. Derin Ötektik Çözücülerin Hazırlanması

Derin ötektik çözücüler tablo 1'de görüldüğü üzere belirli molar oranlarda birleştirilmiştir. Bu çalışmada da yüksek viskozite olumsuzluğunu bertaraf etmek adına tüm derin ötektik çözücü karışımlarına kütlece %30 oranında su ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan su oranı, ilgili konuda yapılmış çalışmalar incelenerek (en iyi ekstraksiyon verimini sağlayan) belirlenmiştir (Zhang ve Wang, 2017). Karışım daha sonra homojen renksiz bir sıvı elde edilene kadar çalkalamalı inkübatör kullanılarak 30 °C ve 180 rpm'de karıştırılmıştır. Ardından, reaksiyona girmemiş serbest asitleri uzaklaştırmak amacıyla karışım 80 °C'de 12 saat kadar bekletilmiştir (Xu vd., 2016).

### 2.3. pH Analizi

Homojen ve renksiz hale gelen her bir derin ötektik çözücü su banyosuna yerleştirilmiştir ve kademeli olarak ısıtılarak 25, 50 ve 75 °C'de pH metre (Ohaus St2100, ABD) ile ölçümler alınmıştır. Ölçümler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

### 2.4. Elektriksel İletkenlik Analizi

Homojen ve renksiz hale gelen her bir derin ötektik çözücü su banyosuna yerleştirilmiştir ve kademeli olarak ısıtılarak 25, 50 ve 75 °C'de elektriksel iletkenlik ölçer (Ohaus St2100, ABD) ile ölçümler alınmıştır. Elektriksel iletkenlik, milivolt (mV) cinsinden ölçülmüştür. Ölçümler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

### 2.5. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir (Ratkowsky vd., 1982). Aşağıda verilen eşitlik (Eş. 1) kullanılarak aktivasyon enerjileri kolaylıkla hesaplanmıştır.

$$k = k_0 \exp \left( -\frac{E_A}{RT} \right) \quad (1)$$

Burada,  $k_0$  üssel faktör,  $E_A$  aktivasyon enerjisi (kJ/mol), T sıcaklık (K), R ise evrensel gaz sabitidir (8.3144 J/mol.K). Üssel fonksiyondan kurtarmak için eşitlikte her iki tarafın doğal logaritması alındığında, eşitliğin son hali aşağıdaki gibidir (Eş. 2).



$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT}$$

(2)

Farklı sıcaklıklar altında hesaplanan hız sabitleri için, termodinamik sıcaklığın tersi (1/T) ile ln pH ve ln Eİ değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen regresyon doğrusu eğimi,  $E_A/R$  değerini temsil etmektedir. Bu regresyon çizgisinin eğiminden yararlanılarak aktivasyon enerjisi ( $E_A=kJ/mol$ ) hesaplanmıştır.

## 2.6. İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler, MINITAB 16.1.1.0 (Minitab, State Collage, PA, ABD) programı ile tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) ve ardından Tukey testi ile analiz edilmiştir. Bağımlı değişkenler arasındaki farklılık  $P \leq 0,05$  önem derecesine göre belirlenmiştir.

Tablo 1. Kullanılan derin ötektik çözücülerin özellikleri (Table 1. Properties of used deep eutectic solvents)

Kısaltma	HBA	HBD	Molar Oran	Su Oranı
DÖÇ1	Kolin Klorür 	Asetik Asit 	1:2	%30
DÖÇ2	Kolin Klorür 	Üre 	1:2	%30
DÖÇ3	Kolin Klorür 	Sitrik Asit 	1:2	%30
DÖÇ4	Kolin Klorür 	Gliserol 	1:2	%30
DÖÇ5	Kolin Klorür 	Laktik Asit 	1:2	%30
DÖÇ6	Gliserol 	Sitrik Asit 	1:1	%30

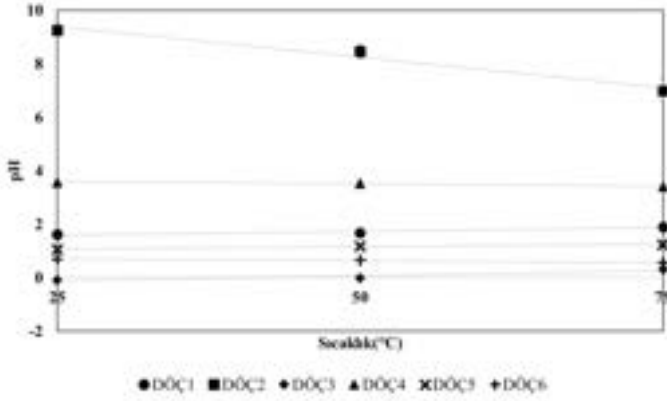
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. pH Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi

Çalışmada kullanılan 6 farklı derin ötektik çözücünün sıcaklığın değişimi ile pH değerlerinin 0,01-9,27 aralığında değiştiği görülmüştür (Şekil 1). HBD olarak asit türevlerinin (sitrik asit, asetik asit ve laktik asit) kullanıldığı çözücülerin pH değerlerinin daha düşük (en yüksek 1,9) yani daha asidik olduğu görülmüştür. Asit bazlı HBD kullanımı ile düşük pH eldesi, Mjalli ve Ahmed (2016) tarafından da belirtilmiştir. Bazik özellikte olan ürenin HBD olarak kullanıldığı durumda pH değeri yüksek (25 °C'de pH 9,27) bulunmuştur. Mjalli ve Ahmed (2016), kolin

klorür-üre ile 1:2 molar oranında oluşturdukları derin ötektik çözücünün pH değerini 25 °C'de 10,22 olarak rapor etmişlerdir. Bu bulgu bizim çalışmamız ile örtüşmektedir. Alkol türevi olan gliserolün HBD olarak kullanıldığı durumda ise pH değerinin 3-4 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak incelendiğinde, HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak asetik asit, sitrik asit ve laktik asidin kullanıldığı derin ötektik çözücülerin pH değerleri sıcaklık artışı ile birlikte artmıştır ( $P < 0,05$ ). Bunların yanı sıra yine HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak üre ve gliserol kullanıldığı derin ötektik çözücülerin pH değerleri ise sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak değiştiği yani azaldığı rapor edilmiştir ( $P < 0,05$ ). Alkol bazlı derin ötektik çözücülerin pH değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı Skulcova vd.

(2018) tarafından da belirtilmiştir. Son olarak HBA'nın gliserol olduğu, HBD olarak sitrik asidin kullanıldığı derin ötektik çözücünün de pH değerlerinin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür ( $P < 0,05$ ). Farklı gıdaların ekstraksiyon prosesi sırasında, pH değeri önem arz eden bileşiklerin (antosiyantinler, enzimler, fenolik bileşikler vb.) elde edilebilmesi için, en uygun pH değerine sahip derin ötektik çözücü kullanıldığında, ekstrakte edilen bileşiklerde yüksek verim gözleneceği ön görülmektedir.



Şekil 1. Farklı derin ötektik çözücülerin pH değerlerinin sıcaklık ile değişimi (Figure 1. Variation of pH values of different deep eutectic solvents with temperature)

Tüm derin ötektik çözücülerin pH değerlerinin sıcaklık ile değişimi, doğrusal modele ( $pH = aT + b$ ) iyi uyum sağlamıştır ve belirleme katsayısının ( $R^2$ ) 0,92-0,98 aralığında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 2).

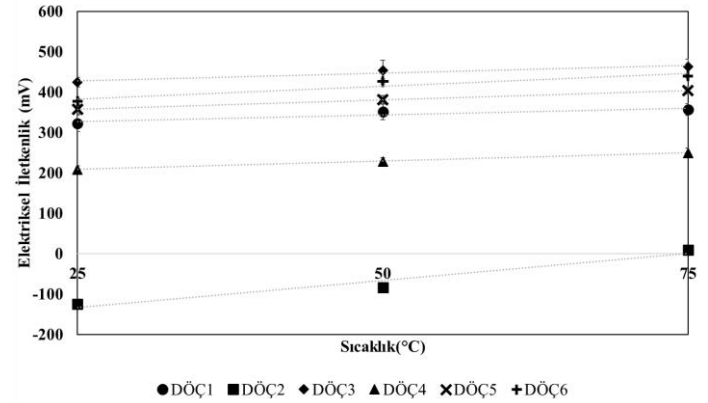
Tablo 2. Farklı derin ötektik çözücülerin pH değerleri ile sıcaklık arasındaki doğrusal model parametreleri (Table 2. Linear model parameters between pH values of different deep eutectic solvents and temperature)

Kısaltma	a	b	$R^2$
DÖÇ1	0,0056	1,4567	0,92
DÖÇ2	-0,0456	10,520	0,97
DÖÇ3	0,0078	-0,3233	0,90
DÖÇ4	-0,0034	3,6800	0,92
DÖÇ5	0,0036	0,9767	0,98
DÖÇ6	-0,0030	0,7867	0,93

Skulcova vd. (2018), 17 farklı derin ötektik çözücünün sıcaklık ile değişen (25-60 °C) pH değerleri üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmaya benzer olarak, doğrusal modele uyumu yüksek bulunmuştur ( $R^2 > 0,90$ ). Ayrıca tüm derin ötektik çözücüler için, pH değerlerinin artan sıcaklıkla istikrarlı bir şekilde azaldığı rapor edilmiştir. Ek olarak, HBD'nin pH üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışma ile benzer olan derin ötektik çözücünün kolin klorür-gliserol (1:2) olduğu görülmüş olup, iki çalışma da bu kombinasyon için aynı eğilim elde edilmiş ve pH değerinin sıcaklıkla azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca Saputra vd. (2020), etilamonyum klorür-gliserol-çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) ile oluşturduğu üçlü derin ötektik çözücü kombinasyonu için sıcaklıkla pH arasındaki ilişkiyi doğrusal model uyarlamıştır ( $R^2 > 0,92$ ).

### 3.2. Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi

Çalışmada kullanılan 6 farklı derin ötektik çözücünün sıcaklığın artışı ile elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den de anlaşılacağı gibi, en yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine (425-463 mV arasında), HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak ise sitrik asidin kullanıldığı kombinasyon ile ulaşılmıştır. 463 mV değeri ile sıcaklığın 75 °C olduğu durumda elektriksel iletkenlik maksimumuna ulaşmıştır. Bu bulguya göre, elektriksel iletkenlik prensibine göre uygulanan ohmik ısıtma ya da vurgulu elektrik alan destekli ekstraksiyon işlemlerine en uygun olan kombinasyonun kolin klorür:sitrik asit olduğu görülmektedir. Çünkü ohmik ısıtma ya da vurgulu elektrik alan destekli işlem sırasında elde edilen ısı üretim hızı, sabit bir voltaj gradyanında elektrik iletkenliği ile orantılıdır; bu özelliğin ısı transferi üzerinde doğrudan etkili olduğu bilinmektedir (Varghese vd., 2014). Sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak incelendiğinde, tüm derin ötektik çözücüler elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür ( $P < 0,05$ ).



Şekil 2. Farklı derin ötektik çözücülerin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi (Figure 2. Variation of electrical conductivity values of different deep eutectic solvents with temperature)

Elektriksel iletkenlikleri düşük olan gıdalara (sebze ve meyveler, yağlı et ürünleri vb.) uygulanan işlemlerin daha etkili olması için derin ötektik çözücülerden yararlanılabilir. Örneğin bu tür gıda ürünleri ohmik ısıtma işleminde derin ötektik çözücüler içerisine yerleştirilebilir ve çözücü içinde bulunan gıdalar adına taşıyıcı faz görevi görebilirler. Yüksek elektrik iletkenlikleri sayesinde, elektrik enerjisi ısı enerjisine çevrilerek, gıdaların işlem görmesine yardımcı olabileceklerdir. Böyle durumlarda yani çok fazlı karışımlara uygulanan prosesler esnasında, termal profillerin tüm noktalarda belirlenmesi, homojen ısınmayı sağlama adına önerilmektedir (Pesso ve Piva, 2009).

Zhong vd. (2020) kolin klorür-etilen glikol ile farklı molar oranlarda (1:1, 1:2 ve 1:4) hazırladıkları derin ötektik çözücülerin, yüksek kapasiteli bir süper kapasitör için elektrolit olarak kullanımını araştırmışlardır. Elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi incelendiğinde, bizim çalışmamızla benzer olarak, değerin doğru orantılı değiştiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu sonucu viskoziteye bağlamışlar ve sıcaklıkla azalan viskozitenin, yüksek elektriksel iletkenliğe neden olduğunu vurgulamışlardır. Yüksek viskoziteye sahip derin ötektik çözücülerin kullanıldığı ekstraksiyon işlemlerinde, bu durumun kütle transferini engelleyebileceği de belirtilmiştir. Buna çözüm olarak ise bu çözücülerin belirli bir oranda su ile karıştırılmaları

önerilmektedir. Bu durumda viskozitede bir azalma olduğu ve dolayısıyla derin ötektik çözücülerin iletkenliğinde bir artma gözlenmiştir (Zainal-Abidin vd., 2017). Benzer sonuçlar Alcalde vd. (2019) ve Lapeña vd. (2019) tarafından da bulunmuş olup, sıcaklıkla azalan viskozite ve artan su oranının, elektriksel iletkenliği artırdığı rapor edilmiştir.

Tüm derin ötektik çözücülerin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi, doğrusal modele ( $EI=aT+b$ ) iyi uyum sağlamıştır ve belirleme katsayısının ( $R^2$ ) 0,88-0,99 aralığında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 3). Literatür incelendiğinde, derin ötektik çözücülerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi üzerine yapılan bir çalışmada, elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Çalışmadaki derin ötektik çözücüler biyokütle (lignin) ekstraksiyonunda kullanılan kombinasyonlara göre seçilmiştir. En yüksek elektriksel iletkenlik değerinin, en düşük viskozite değerine sahip olan kolin klorür-etilen glikol-laktik asit (1:2:1) kombinasyonu ile oluşturulan çözücüde elde edildiği rapor edilmiştir (Jablonsky vd., 2019). Benzer olarak, Taysun vd. (2017) benzil trietil amonyum klorür bazlı 3 farklı derin ötektik çözücü hazırlamışlar ve tüm çözücülerde de sıcaklık ile birlikte elektriksel iletkenlik değerlerinde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Farklı olarak, sütün ohmik ısıtma destekli evaporasyonu üzerine yapılan bir çalışmada, artan sıcaklık (20 °C'den 100 °C'ye) ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve model uyumluluğu incelendiğinde regrasyon katsayısının ( $R^2$ ) 0,99'dan yüksek olduğu tespit edilmiştir (Ariç Sürme, 2021). Benzer olarak, Sabancı (2021) üzüm suyunun evaporasyonu sırasında ohmik ısıtma desteğinden yararlanmış ve artan sıcaklık (20 °C'den 100 °C'ye) ile değişen elektriksel iletkenlik değerleri üzerine bir çalışma oluşturmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmada da sıcaklık ve elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve model uyumluluğunun yüksek olduğu ( $R^2>0,99$ ) rapor edilmiştir.

*Tablo 3. Farklı derin ötektik çözücülerin elektriksel iletkenlik değerleri ile sıcaklık arasındaki doğrusal model parametreleri (Table 3. Linear model parameters between electrical conductivity values of different deep eutectic solvents and temperature)*

Kısaltma	a	b	$R^2$
DÖÇ1	0,68	309,67	0,88
DÖÇ2	2,68	-200,00	0,95
DÖÇ3	0,76	409,33	0,92
DÖÇ4	0,82	188,00	0,99
DÖÇ5	0,94	334,00	0,99
DÖÇ6	1,26	351,33	0,91

### 3.3. pH ile Elektriksel İletkenlik Değerlerinin İlişkisi

Farklı sıcaklıklarda derin ötektik çözücülerin pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson korelasyon katsayıları (r) tablo 4'de verilmiştir. Pearson korelasyon katsayılarına göre, 3 derin ötektik çözücü kombinasyonu (kolin klorür-asetik asit, kolin klorür-sitrik asit ve kolin klorür-laktik asit) için pH ve elektriksel iletkenlik değerleri

arasında pozitif korelasyon görülürken, diğer 3 derin ötektik çözücü kombinasyonunda (kolin klorür-üre, kolin klorür-gliserol ve gliserol-sitrik asit) bu iki fiziksel özellik arasında negatif korelasyon olduğu görülmüştür.

Derin ötektik çözücülerde bu ilişki üzerine yapılmış bir araştırma bulunmamıştır. Fakat, bal örneği ile yapılan bir çalışmada (Acquarone vd., 2007), pH değerleri ile elektriksel iletkenlik değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu bildirilmiştir.

*Tablo 4. Farklı derin ötektik çözücülerin pH ve elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson korelasyon katsayıları (Table 4. Pearson correlation coefficients showing the relationship between pH and electrical conductivity values of different deep eutectic solvents)*

Kısaltma	r
DÖÇ1	0,81
DÖÇ2	-0,99
DÖÇ3	0,81
DÖÇ4	-0,97
DÖÇ5	0,99
DÖÇ6	-0,84

### 3.4. Aktivasyon Enerjilerinin Karşılaştırılması

Farklı derin ötektik çözücülerin sıcaklık ile değişen pH ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre hesaplanan aktivasyon enerji değerleri (kJ/mol) tablo 5'te verilmiştir. Bir işlemin aktivasyon enerjisi yüksek ise, o işlem sıcaklık değişimine karşı daha duyarlı olduğu anlamına gelmektedir (Aghbashlo vd., 2010). Tablodan anlaşılacağı gibi pH değerleri arasında sıcaklık ile etkileşimi en yüksek olan grup, HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak ise sitrik asit olduğu kombinasyondur. Yüksek aktivasyon enerjisinin anlamı, bu kombinasyonun sıcaklık değişimine hassas olduğu ve en küçük sıcaklık değişikliklerin dahi pH değerinde önemli etkiler yapabileceğinin göstergesidir. Aynı durum elektriksel iletkenlik açısından bakıldığında ise HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak ürenin kullanıldığı kombinasyonun yüksek aktivasyon enerjisi ile sıcaklık değişimine karşı dirençsiz olduğu görülmektedir.

Literatürde daha çok kimya endüstrisinde yararlanılan derin ötektik çözücülerin aktivasyon enerjileri bulunmaktadır. Bahadori vd. (2013), amonyum tuzu bazlı (HBA) 7 farklı derin ötektik çözücünün sıcaklık ile değişen elektriksel iletkenlik değerleri Arrhenius tipi üssel fonksiyonla açıklanmış ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan derin ötektik çözücüler, elektrokimyasal özellikte olduğundan elektriksel iletkenlikleri ve aktivasyon enerjileri daha yüksek bulunmuştur. Taysun vd. (2017) benzil trietil amonyum klorür bazlı 3 farklı derin ötektik çözücünün elektriksel iletkenlik değerine bağlı aktivasyon enerjilerinin Arrhenius tipi eşitliklere yüksek uyum gösterdiği bulunmuştur. Gachuz vd. (2020) polimerizasyon işlemi için hazırladıkları derin ötektik çözücülerde ölçtükleri elektriksel iletkenliğine bağlı aktivasyon enerjisini 18 kJ/mol (Arrhenius tipi fonksiyon) olarak hesaplamıştır. Saputra vd. (2020), etilamonyum klorür-gliserol-çinko klorür (ZnCl<sub>2</sub>) ile oluşturduğu üçlü derin ötektik çözücü kombinasyonu için sıcaklık ile değişen elektriksel

iletkenlik değerlerinin, Arrhenius eşitliği ile yüksek uyum gösterdiğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra, kas dokularındaki elektrolit konsantrasyonunun bir indeksi olarak elektriksel iletkenlik, vücut-sıvı dengesini et kalitesini etkileyebileceği bilgisi ile bir balık türünde (*Carassius carassius*) yapılan çalışmada, balığın tazelik indikatörlerinden biri olarak, sıcaklık ile değişen elektriksel iletkenlik değeri ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik ölçülürken, balık parçalandıktan sonra 1/10 g/mL oranında distile su ile bir çözelti hazırlanmış ve bu hazırlanan balık-su çözeltisi 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Ölçümler farklı sıcaklıklarda (270, 273, 282 ve 288 K) alınmış olup, sıcaklıkla değişen elektriksel iletkenlik değerlerine ait aktivasyon enerjisi, Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla hesaplanmıştır. Sonuç olarak, elektriksel iletkenliğe bağlı aktivasyon enerjisini 97,75 kJ/mol olarak hesaplamışlardır ve elektriksel iletkenlik yardımıyla balıkların kalitesindeki değişimi doğru bir şekilde tanımlayabildiklerini rapor etmişlerdir (Yao vd., 2011). Elektriksel iletkenlik değerinin kalite üzerine etkisi şu şekilde açıklanmıştır: Tamamen sağlam bir kas dokusu içindeki sıvı miktarı yüksek, elektriksel iletkenlik değeri ise düşük değerlerde olmaktadır (Byrne vd., 2000; Ekanem ve Achinewhu, 2006; Yao vd., 2011).

Tablo 5. Farklı derin ötektik çözücülerin pH ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri (Table 5. Activation energy values calculated according to pH and electrical conductivity values of different deep eutectic solvents)

Kısaltma	E <sub>A</sub> (pH için) (kJ/mol)	E <sub>A</sub> (Eİ için) (kJ/mol)
DÖÇ1	2,71±0,05	1,75±0,04
DÖÇ2	4,81±0,65	39,22±1,22
DÖÇ3	58,26±2,36	1,49±0,05
DÖÇ4	0,83±0,02	3,08±0,67
DÖÇ5	2,72±0,10	2,13±0,12
DÖÇ6	4,10±0,37	2,70±0,28

#### 4. Sonuç

Yapılan çalışmada gıda ekstraksiyonunda kullanılması en muhtemel olan farklı derin ötektik çözücülerin, sıcaklık ile değişen pH ve elektriksel iletkenlik değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, pH değerlerinin sıcaklık ile değişiminin HBD türüne bağlı olarak değiştiği, elektriksel iletkenlik değerlerinin ise sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Her iki değer için de doğrusal model uyumluluğunun yüksek olduğu görülmüştür. pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin de birbirleri ile ilişkileri incelenmiş ve asit bazlı HBD'ler ile oluşturulan derin ötektik çözücü kombinasyonlarının pozitif, diğer kombinasyonların ise negatif bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Son olarak, pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişim potansiyeli, aktivasyon enerjisinin hesaplanması ile ifade edilmiş olup en yüksek aktivasyon enerjileri, pH için HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak ise sitrik asit olduğu kombinasyon, elektriksel iletkenlik için ise HBA'nın kolin klorür olduğu, HBD olarak üretilen kullanıldığı kombinasyon olarak bulunmuştur.

Bu çalışmanın devamı olarak, derin ötektik çözücülerin farklı molar oranlarının, fiziksel özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması planlanmaktadır. Ek olarak farklı su oranlarında oluşturulan çözücülerin viskoziteleri tespit edilecektir. Bunun yanı sıra, en uygun derin ötektik çözücü ile elektriksel iletkenlik prensibi ile çalışan ekstraksiyon yöntemlerinin uygulanması bir sonraki hedef olarak belirlenmiştir.

#### Kaynakça

- Abbott, A.P., Dalrymple, I., Endres, F., & MacFarlane, D.R., (2008). Chapter 1. Why use Ionic Liquids for Electrodeposition?, In "Electrodeposition from Ionic Liquids"; Abbott, A.P., Endres, F., MacFarlane, D.R., Eds., Wiley-VCH, Weinheim, pp 1-2.
- Acquarone, C., Buera, P., & Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. Food chemistry, 101(2), 695-703.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., & Hassan-Beygi, S. R. (2010). Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). Journal of food processing and preservation, 34(3), 351-365.
- Alcalde, R., Gutiérrez, A., Atilhan, M., & Aparicio, S. (2019). An experimental and theoretical investigation of the physicochemical properties on choline chloride-Lactic acid based natural deep eutectic solvent (NADES). Journal of Molecular Liquids, 290, 110916.
- Ariç Sürme, S. (2021). Ohmik Isıtma İşleminin Sütün Evaporasyonunda Kullanımı, Elektriksel İletkenlik, Performans Analizi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59 s.
- Bahadori, L., Chakrabarti, M. H., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., Manan, N. S. A., & Hashim, M. A. (2013). Physicochemical properties of ammonium-based deep eutectic solvents and their electrochemical evaluation using organometallic reference redox systems. Electrochimica Acta, 113, 205-211.
- Banti, M. (2020). Review on Electrical Conductivity in Food, the Case in Fruits and Vegetables. vol, 4, 80-89.
- Byrne, C. E., Troy, D. J., & Buckley, D. J. (2000). Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine *M. longissimus dorsi* and their relationship to meat quality attributes and pH fall. Meat Science, 54(1), 23-34.
- Ekanem, E. O., & Achinewhu, S. C. (2006). Mortality and quality indices of live west african hard-shell clams (*Galatea paradoxa born*) during wet and dry postharvest storage. Journal of food processing and preservation, 30(3), 247-257.
- El Achkar, T., Fourmentin, S., & Greige-Gerges, H. (2019). Deep eutectic solvents: An overview on their interactions with water and biochemical compounds. Journal of Molecular Liquids, 288, 111028.
- Gachuz, E. J., Castillo-Santillán, M., Juarez-Moreno, K., Maya-Cornejo, J., Martinez-Richa, A., Andrio, A., ... & Mota-Morales, J. D. (2020). Electrical conductivity of an all-natural and biocompatible semi-interpenetrating polymer network containing a deep eutectic solvent. Green Chemistry, 22(17), 5785-5797.
- Hayyan, A., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., Al-Wahaibi, T., Al-Wahaibi, Y. M., & Hashim, M. A. (2012). Fruit sugar-based deep eutectic solvents and their physical properties. Thermochimica Acta, 541, 70-75.

- Hayyan, A., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., Al-Wahaibi, Y. M., Al-Wahaibi, T., & Hashim, M. A. (2013). Glucose-based deep eutectic solvents: Physical properties. *Journal of Molecular Liquids*, 178, 137-141.
- Jablonsky, M., Majova, V., Ondrigova, K., & Sima, J. (2019). Preparation and characterization of physicochemical properties and application of novel ternary deep eutectic solvents. *Cellulose*, 26(5), 3031-3045.
- Kareem, M. A., Mjalli, F. S., Hashim, M. A., & AlNashef, I. M. (2010). Phosphonium-based ionic liquids analogues and their physical properties. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(11), 4632-4637.
- Lapeña, D., Lomba, L., Artal, M., Lafuente, C., & Giner, B. (2019). Thermophysical characterization of the deep eutectic solvent choline chloride: ethylene glycol and one of its mixtures with water. *Fluid Phase Equilibria*, 492, 1-9.
- Marcus, Y. (2019). *Deep Eutectic Solvents*. Chapter 1: Introduction, Springer Nature Switzerland AG, ISBN 9783030006075.
- Meng, Z., Zhao, J., Duan, H., Guan, Y., & Zhao, L. (2018). Green and efficient extraction of four bioactive flavonoids from Pollen Typhae by ultrasound-assisted deep eutectic solvents extraction. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 161, 246-253.
- Mjalli, F. S., & Ahmed, O. U. (2016). Characteristics and intermolecular interaction of eutectic binary mixtures: Reline and Glyceline. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(1), 337-343.
- Pesso, T. & Piva, S. (2009). Thermo-fluid analysis of a cylindrical collinear ohmic sterilizer in laminar flow Proceedings of ITP2009 Interdisciplinary Transport Phenomena VI: Fluid, Thermal, Biological, Materials and Space Sciences, Volterra, Italy.
- Ratkowsky, D. A., Olley, J., McMeekin, T. A., & Ball, A. (1982). Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of bacteriology*, 149(1), 1-5.
- Sabanci, S. (2021). A study on electrical conductivity and performance evaluation of ohmic evaporation process of grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15487.
- Saputra, R., Walvekar, R., Khalid, M., & Mubarak, N. M. (2020). Synthesis and thermophysical properties of ethylammonium chloride-glycerol-ZnCl<sub>2</sub> ternary deep eutectic solvent. *Journal of Molecular Liquids*, 310, 113232.
- Skulcova, A., Russ, A., Jablonsky, M., & Sima, J. (2018). The pH behavior of seventeen deep eutectic solvents. *BioResources*, 13(3), 5042-5051.
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chemical reviews*, 114(21), 11060-11082.
- Taysun, M. B., Sert, E., & Atalay, F. S. (2017). Effect of hydrogen bond donor on the physical properties of benzyltriethylammonium chloride based deep eutectic solvents and their usage in 2-ethyl-hexyl acetate synthesis as a catalyst. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 62(4), 1173-1181.
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of food science and technology*, 51(10), 2304-2317.
- Vilková, M., Plotka-Wasyłka, J., & Andruch, V. (2020). The role of water in deep eutectic solvent-base extraction. *Journal of Molecular Liquids*, 304, 112747.
- Xu, G. C., Ding, J. C., Han, R. Z., Dong, J. J., & Ni, Y. (2016). Enhancing cellulose accessibility of corn stover by deep eutectic solvent pretreatment for butanol fermentation. *Bioresource technology*, 203, 364-369.
- Yao, L., Luo, Y., Sun, Y., & Shen, H. (2011). Establishment of kinetic models based on electrical conductivity and freshness indicators for the forecasting of crucian carp (*Carassius carassius*) freshness. *Journal of Food Engineering*, 107(2), 147-151.
- Zainal-Abidin, M. H., Hayyan, M., Hayyan, A., & Jayakumar, N. S. (2017). New horizons in the extraction of bioactive compounds using deep eutectic solvents: A review. *Analytica Chimica Acta*, 979, 1-23.
- Zhang, L., & Wang, M. (2017). Optimization of deep eutectic solvent-based ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *Dioscorea opposita* Thunb. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 675-681.
- Zhang, Q., Vigier, K. D. O., Royer, S., & Jérôme, F. (2012). Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(21), 7108-7146.
- Zhong, M., Tang, Q. F., Zhu, Y. W., Chen, X. Y., & Zhang, Z. J. (2020). An alternative electrolyte of deep eutectic solvent by choline chloride and ethylene glycol for wide temperature range supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 452, 227847.



# Use of Daylight in Houses and Villas from Modern Architectural Buildings

Mehmet Sait Cengiz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Faculty of Architecture Engineering, Bitlis Eren University, Bitlis, Turkey (ORCID: 0000-0003-3029-3388), [msaitcengiz@gmail.com](mailto:msaitcengiz@gmail.com)

(First received 7 May 2022 and in final form 29 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1113599)

**ATIF/REFERENCE:** Cengiz, M.S. (2022). Use of Daylight in Houses and Villas from Modern Architectural Buildings, *European Journal of Science and Technology*, (38), 247-258.

## Abstract

Architects need to consider daylight as an important element in their designs, which are shaped by location, climate, and directions, no matter what type of building. For the functions to be realized in the spaces in the building to be realized in comfortable conditions, the illumination levels specified in the standards must be provided. Issues such as the dimensions of the openings that will allow direct or indirect sunlight to be designed on the outer surface of the space, and the determination of the dimensions of the windows and doors to be used are discussed in architecture. The geography, climate, and topography of the building should be examined in terms of daylight. The direction in which the building is located should be chosen according to human comfort as much as possible. In the designs, the texture of the surfaces and the amount of daylight taken into the space by reflecting or refracting from these surfaces should be calculated. In this study, while examining the effects of daylight on residential design, well-known architects of the recent period who used daylight as an architectural element in their designs were examined. Architects such as Le Corbusier, Steven Holl, and Tadao Ando, who incorporated daylight into their work, succeeded in transforming the indoor environment into an architectural space with daylight. In this way, they have achieved different and original results in their building designs. Since the architects who are the subject of this study use daylight as a design principle, it has been seen that the houses-villas belonging to these architects have reached more original designs thanks to the use of daylight. For this reason, it has been observed that these types of residences-villas are preferred more by the users.

**Keywords:** Modern architecture, Daylight, Space, House, Villa.

## Modern Mimari Yapılarından Konut ve Villalarda Güneşin Kullanımı

### Öz

Mimarlar, yapı türü ne olursa olsun, konum, iklim ve yönlere göre şekillenen tasarımlarında gün ışığını önemli bir unsur olarak ele almalıdır. Bina içerisindeki mekanlarda gerçekleştirilecek fonksiyonların konforlu koşullarda gerçekleştirilebilmesi için standartlarda belirtilen aydınlatma seviyelerinin sağlanması gerekmektedir. Mekanın dış yüzeyinde tasarlanacak doğrudan veya dolaylı güneş ışığına izin verecek açıklıkların boyutları, kullanılacak pencere ve kapıların boyutlarının belirlenmesi gibi konular mimaride tartışılmaktadır. Binanın coğrafyası, iklimi ve topografyası gün ışığı açısından incelenmelidir. Binanın bulunduğu yön mümkün olduğunca insan konforuna göre seçilmelidir. Tasarımlarda yüzeylerin dokusu ve bu yüzeylerden yansıyarak veya kırılarak mekana alınan gün ışığı miktarı hesaplanmalıdır. Bu çalışmada gün ışığının konut tasarımına etkileri incelenirken, tasarımlarında gün ışığını mimari bir unsur olarak kullanan son dönemin tanınmış mimarları incelenmiştir. Gün ışığını çalışmalarına dahil eden Le Corbusier, Steven Holl ve Tadao Ando gibi mimarlar, iç mekan ortamını gün ışığı ile mimari bir mekana dönüştürmeyi başarmışlardır. Bu sayede yapı tasarımlarında farklı ve özgün sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmaya konu olan mimarlar tasarım ilkesi olarak gün ışığını kullandıklarından, bu mimarlara ait ev-villaların gün ışığından yararlanması sayesinde daha özgün tasarımlara ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle bu tip konut-villaların kullanıcılar tarafından daha çok tercih edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Modern mimari, Güneşin, Mekan, Konut, Villa.

\* Corresponding Author: [msaitcengiz@gmail.com](mailto:msaitcengiz@gmail.com)

## 1. Introduction

Daylight is of great importance for human life. In case of deficiency, physiological disturbances can be seen in people, while psychologically depressed mood states can occur. It is very important that the volumes can be illuminated by daylight in terms of the time people spend in closed volumes in their daily life. The illuminance created by daylight in the volume varies depending on the effects on the settlement, building, and volume scales. Daylight utilization is an important issue in all spaces where people spend time, except for spaces where daylight is not desired, such as special exhibition spaces. It is of great importance for various reasons that the volumes are illuminated by daylight as much as possible. Examples of these reasons are saving the energy to be consumed for lamplight, affecting people psychologically positively, being able to establish a visual relationship with the outside environment during the time they live in closed spaces, watching the changing weather conditions, and benefiting from the landscape. Many factors such as function, number, characteristics of users, and frequency of use play a role in shaping the various volumes inside the buildings and determining their position in the building. Regardless of the function of a volume, it should be given importance to illuminate it with daylight as much as possible. Lighting the volumes with daylight saves the energy to be spent on lighting and has a positive effect on human psychology. In addition, thanks to daylight, the users of the House-Villa achieve benefits such as establishing a visual connection with the outside environment, getting information about the time of day, and weather conditions, and benefiting from the view. The changing characteristics of daylight in terms of brightness level and light color throughout the day also positively affect people's moods. The main purpose of a building is to provide shelter for people against the challenges of the external environment and to provide the most suitable indoor climate conditions for its users. Solar radiation and climatic factors constitute the most important data for architectural design. In this sense, Socrates, who lived in ancient times, was one of the first to associate the sun with architecture with the known history, and he argued that the sun could be benefited by paying attention to the orientation of the houses. Again, in Anatolian Culture, a structuring consisting of the sun, nature, and the human triangle is seen. In many parts of Anatolia, the north-facing direction of the buildings is thick-walled. The front of the buildings, that is, the living areas, face south. In the artificial environment created together with the physical environment, benefiting from the sun in different climatic regions or being protected is the first goal of the design. In Anatolia, people used thick walls in their homes. In this way, the wall, which keeps the interior cool by absorbing the sun's heat during the day, allows the space to warm up with the heat it stores at night. The phenomenon of daylight, which has such an important role in the design and increases the quality of life in the space, was primarily considered during the design phase as a physical environmental value.

The relationship between daylight and space, which has an important role in the traditional teachings that have been going on for thousands of years in the history of humanity, is an important parameter that has been redeveloped by designers today and its use in modern designs has increased. Considering the relationship between daylight and architecture, it is seen that daylight and many physical environmental values are related. Today, it has been proven by scientific studies that the interaction between daylight and architecture cannot be regarded only as a relationship

that provides enlightenment. For this reason, the daylight phenomenon and other associated physical environmental values, the effectiveness of which is tried to be increased in the design process, should be defined in the design process. The activation process of daylight in design is also important in terms of sustainable architecture. A phenomenon that affects the quality of life, energy use, and spatial comfort so much, helps the designer to create spaces that consume relatively less energy with the right design decisions, and where people feel like a part of the natural environment. Today, design processes are getting more and more complex day by day. These expectations can be more abstract expectations such as comfort, aesthetics, and sustainability. Daylight is one of the basic inputs of architecture. The effective use of daylight in design increases the quality of life of the space and the success of the designer in creating a satisfactory space. Therefore, the effective use of daylight in space design is important. The effective use of daylight in design is of course possible when considered together with other physical environmental values. For buildings, it is necessary to ensure interaction with the physical environment and to organize environmental data in design in a way that increases the quality of life. Adaptation of daylight and other physical environmental values to the design during the design process is a very difficult issue. The subject of this study, prominent architects who have come to the fore with their experience in the houses and villas they have built, such as Le Corbusier, Steven Holl, and Tadao Ando, have recently been examined and distinguished architects who have specialized in their fields.

Daylight is not a new concept in design. Daylight is an important spatial design input that increases the spatial quality and enables people to integrate with nature. Before the spaces were illuminated with electricity, the relationship between space and daylight was of great importance for architects. Every day, new issues are added to the connection between energy, daylight, and space in terms of space quality and energy conservation. Indoor quality, occupant health, visual comfort, and efficiency are interrelated physical environmental issues. About 30% of the energy consumption of commercial buildings is used as lighting energy. Therefore, as the ratio of daylight and lighting increases, electricity and lighting costs, and energy expenses decrease (Hayter S.J., 1999). It is a proven fact that daylight improves human performance. As the effectiveness of natural lighting increases in schools, it is seen that the experimental results also improve. Daylight in commercial spaces increases sales, people sleep more comfortably in spaces that are constantly exposed to sunlight in residences, and patients who are close to the window in hospitals have an increased recovery rate compared to those who are farther away (Garris, 2004). Whatever the type of space, light is an important factor for the action to be taken in it. Light is the most important element necessary for the space to be seen, perceived, and used. Considering daylight as a building element while designing the architectural space creates different and original results in the design. Concepts of daylight, space, design, and perception affect the physical and symbolic design of natural light in architectural space. In this context, the use of daylight and its effect on the design of the building should be examined in the context of space. For this purpose, the use of daylight in the designs of modern architects of the recent period has been examined. A selection was made among the main architects who used natural light in various forms in their designs and accepted this as a design principle. By comparing the physical use of daylight, that is, the way the light is taken into space, the spaces where the light spreads horizontally and vertically are examined

through examples. According to the evaluation made, the differentiation of natural light according to the hours of the day and seasons creates richness in the space where the light is used. It is seen that the use of the sun, which is a natural source of light in today's architecture, is increasing because it is everywhere and can be applied without requiring complex technology. Daylight has always had an important place in human life. The use of natural light, which has psychological and physiological effects, in daily activities has continued since ancient times. In the early ages, the penetration of daylight into the space was provided through small holes in the buildings, but the presence of glass made the use of daylight in the space very effective. With the use of glass, the boundaries between indoor and outdoor environments have weakened. In this way, the use of natural light as a design element in architectural spaces has provided a refreshing effect in residences.

Daylight is a building element that gives physical and symbolic meanings to the architectural space. Today, when world energy policies are oriented towards natural resources and serious investments are made in this field, the importance of using daylight more in residences has increased. Daylight has been used for centuries not only to create bright spaces but also to create behaviorally effective spaces. Daylight, which has gained new meanings in the designs of distinguished architects, still maintains its mystery on people today and is a source of inspiration for architects. In this study, the plans, sections, appearances, etc. of the designs of 3 architects selected from among the modern architects who are known for their buildings living in various parts of the world, and who successfully use natural light as a design element in their works today and in the recent past, are presented. A detailed comparison was made with the help of drawings and building photographs. The works of modern architects Le Corbusier, Tadao Ando, and Steven Holl, who use natural light extensively in their works and realize the designs of world-renowned residential-villa structures, are analyzed. The physical or symbolic use of natural light in the sample buildings of these architects, the horizontal or vertical light coming into the space, and the use of light directly or by reflection were analyzed. According to this analysis, the effects of the use of natural light in houses are explained. Similar architectural works belonging to Le Corbusier, Tadao Ando, and Steven Holl can be seen in Figure 1 (URL1-URL3).



Figure 1. Similar architectural works by Le Corbusier, Tadao Ando, and Steven Holl

## 2. Daylight Effect in Architectural Design

Daylight is a very effective factor in perceiving and using space. Structure, material, color, and form create the space, but it provides light about the whole and to each other. Therefore, the role of light is important in the visual perception of the space. If daylight is considered as a part of the interior, the most important parameter is the light, the way it is taken into the interior, its intensity, the type of building elements, the form of the limiting elements that make up the space, and the desired semantic effect. With the effect of natural light in a place, the activities planned to be done in it become easier. In various uses of natural light, it is possible to draw attention to a direction or the desired point and thus to give this point a meaning other than measurable values. From the past to the present, architects have sought ways to use natural light more efficiently and effectively in their buildings. With the understanding that emerged in the historical process, the use of daylight is becoming widespread to provide brightness and visibility in the natural light space. The most important factor in the realization of the work in a place is the daylight entering the space. Without daylight, the person cannot see the place and the equipment and cannot perform the work he will do. Different levels of light are required for different actions. When the light is below a certain level, the relevant building cannot be used efficiently. Contrary to this approach, when the level of daylight entering a house is high, people can use the house unproductively, as they are uncomfortable due to reflection and glare. It is necessary to pay attention to the aspects according to the use and duration of use of the spaces in the residences. The effects of daylight on the use of space can be psychological and physical. Although the effects of light are physiologically the same, it creates different psychological effects. Because light has many meanings according to the psychological state and creates different perceptions according to people with its color, movement, and direction.

Daylight has lighting and heating properties. In places with cold climates and where sunlight is not very effective, daylight is a preferred element in residences. However, in residences in hot places where the sun is very effective, the irritating, excessively bright, and warming effect of natural light is tried to be prevented by different methods. Again, reflective, permeable, or semi-permeable wall materials change the effect of natural light on the space. The texture of the materials adds richness to the space with the shadows it creates. Reflective surfaces can provide more light to the space, and impressive spaces can be created with the animated games of light, depending on whether the surface is flat or textured. Le Corbusier, Tadao Ando, and Steven Holl are the architects who use natural light as a design element and prefer the use of daylight intensively in the residences.

### 2.1. Daylight Use according to Le Corbusier

Referring to daylight, Le Corbusier defines this event, which starts with the sunrise, then includes the rise and sunset of the sun and repeats periodically, as the most important parameter affecting life. The following generalizations can be made for the use of daylight in the first works of Le Corbusier, Villa Fallet, Villa Stotzer, Villa Jaquemot, Villa Jeanneret-Perret, and Villa Favre-Jacot. More window space is used on the south-facing façade. Rooms that receive light from one and both directions are used. It also has corner-turning windows. The windows are in the form of narrow and long rectangles, which are side by side in the form of bands. Thus, it was tried to get more diffused light. He also used specially shaped windows such as leaves. Some of the windows



are also divided into small squares with joinery. Shading is provided by large overhanging eaves. In these first-period buildings, the luminance contrast between the spaces was tried to be reduced with glazed doors. He tried to create a luminous contrast in the space with the circular projections and the windows he arranged in these projections, sometimes next to them and sometimes opposite them. Villa examples belonging to Le Corbusier can be seen in Figure 2 (URL4-URL7).



Figure 2. Examples of Villas by Le Corbusier

There are similar features in Villa Besnus, "Ker-Ka-Ré" Vaucresson (1922), and Ozenfant's House, Paris (1922), built at the same time. Band windows, large transparent surfaces, and various horizontal/vertical single windows appear to be used together to form a composition. With different window compositions, different purpose floors of the building are tried to be shown. In the house of Ozenfant, an artist, light was taken from the roof with light scoops to the study located on the upper floor. In addition, with its windows that turn the corner, both the daylight and the view are given continuity. Parallel to these developments, the use of daylight is seen in La Roche Villa (1923). On the first floor, there are band windows, on the other floors, there is a composition of small individual windows with large window surfaces according to the requirements of the space. In addition, the light courtyard has been seen in the plan and the spaces with plenty of light have been discussed. Examples of House-Villa by Le Corbusier can be seen in Figure 3 (URL8-URL11).



Figure 3. Examples of House-Villa by Le Corbusier

In Villa Schwob (1916), unlike his early structures, he contrasted transparent and deaf surfaces instead of band-shaped windows. However, Le Corbusier partially included band-shaped windows on the ground floor and the balcony floor. Villa Schwob by Le Corbusier is seen in Figure 4 (URL-12).



Figure 4. Villa Schwob by Le Corbusier

In Villa Savoye (1929), Villa Savoye, band windows formed by the repetition of a module, a light courtyard, and windowless wall openings that add depth to the structure were used. Villa Savoye by Le Corbusier is seen in Figure 5 (URL-1).



Figure 5. Villa Savoye by Le Corbusier

## 2.2. Daylight Use according to Tadao Ando

Tadao Ando's use of daylight; The Row House is being studied at Sumiyoshi, Osaka (Azuma House). The life source of the house is the light courtyard in the middle. With this courtyard, the mass is opened to the light. The facades facing the courtyard are large glazed surfaces. The light entering here is reflected from the adjacent walls, creating a luminous contrast. The matte texture of the bare concrete surfaces used reflects light in different grays and is effective in perceiving the boundaries of the space. Also known as the Sumiyoshi row house, it has a rectangular plan divided into three parts, with front and rear rooms connected by a bridge through a courtyard dedicated to the play of wind and light. The building, which consists of simple geometry and a solid concrete facade facing the street, has no openings in the side walls. Figure 6 shows Azuma House by Tadao Ando (URL-12).



Figure 6. Azuma House by Tadao Ando

Bansho House is a dim living space after a bright entrance. Close to the floor, the floor surface is illuminated by the light leaking from the two windows. The light leaking from the thin strip emphasizing the stairway to the upper floor is imprisoned between two narrow deaf surfaces and indirectly taken into the space. The glazed surface of the triangular-shaped built-in balcony, obtained in the bedroom on the upper floor, brings sunlight into the space and creates contrast with other deaf surfaces. With its thin and long rectangular form, it accompanies the window that invites the light into the space (Üçüncüoğlu, 1995).

Tatsumi House displays similar features to Tomishima House. Here we see the window jambs protruding like a lattice shading element. These windows are square and they are used one by one wherever light is desired. On the other hand, we see a mass resembling a light bucket sticking to the surface. The lateral faces of this part let in light, again indirectly letting it in.

Unlike the Tomishima House, the illuminated center is not used. However, in this building, too, the desire to separate the inside of the building from the outside and create an introverted space atmosphere is striking.

In the Soseikan House, Ando continues his efforts to direct people with individual square windows shaded by lattice shading elements, a building center illuminated by roof light, and long low parapet walls. Each of these two residences, which are connected by long stair landings, opens into the bright central space like a flower directed towards the sun. The excess of deaf walls makes the light more valuable and creates a dramatic three-dimensional luminance contrast within the building.

The Umemiya House consists of two interlocking square modules. Although it is located in a completely open area, it has a massive mass understanding with the desire to create an inner atmosphere. The residence is two-story and the staircase rises on completely deaf surfaces, while the beam of light falling on the landing comes from Ando's long, narrow strip windows. Other windows are rectangular and continue along the surface, bringing sunlight directly into the space. Figure 7 shows the Umemiya House by Tadao Ando (URL-13).



Figure 7. Umemiya House by Tadao Ando

Tomishima House is a corner building. The bare concrete exterior surfaces are so large that the building is not residential. The staircase is illuminated from the side by slender and long strip windows. The building is rather shaped to distribute the light it receives from the roof to the spaces. This illuminated section, including the staircase, is located in the center of the building. This direct light gives a natural rhythm to the building as it softens and descends through the distorted floor levels. In Figure 8, Umemiya House belonging to Tadao Ando is seen (URL-14).



Figure 8. Tomishima House by Tadao Ando

Koshino House is another tune by Ando, the light instrument. It consists of two massive boxes and another semicircular mass located on both sides of the courtyard, which is reached by stairs. The massiveness of the building; Again, a characteristic of Ando, the sharp light and shadow created on the walls by the light coming in through the long and narrow strip windows disrupt the contrast. Even if this type of lighting is far from meeting the need for daylight, it creates a space within the building that makes people feel and affect them. Against this problem, Ando opens the concrete surface on the roof, as in the living room, allowing the light to enter the space directly. With the sharp light-shadow composition in the space, the poetry of the space comes to the fore. The Koshino house consists of two parallel rectangular concrete boxes connected by a tunnel under the outer staircase. The house is partially buried in the ground. It is designed not to interfere with the natural environment. (URL-15).



Figure 9. Koshino House by Tadao Ando

Rokko Settlements, Kobe is nestled on a hillside. The masses are divided by letting the light in. Terraces are facing each other with elevation differences between them. In the large-surfaced windows of the living spaces, overlooking the green valley, thin blinds are used to allow the light to be taken in under control. In the disintegration of the mass, the formation of the courtyards, and the summoning of daylight to the space were taken into account. Rokko settlements belonging to Tadao Ando are seen in Figure 10 (URL-16).



Figure 10. Rokko Settlements Houses of Tadao Ando

Matsutani House's sense of mass is displayed with glass surfaces. On the glazed surface consisting of four parts, two parts let the light directly into the space, while thin blinds that filter the light were used to prevent glare. Part of the glass surface is blocked by a concrete wall, indirectly letting the light in. Bare concrete surfaces, glass, and black joinery windows are perceived by creating a luminous contrast. Very large pieces of glass are used on transparent surfaces.

### 2.3. Daylight Use according to Steven Holl

Steven Holl can be rated as the best architect to practice light since Le Corbusier. It is the architect who brings the mass and light together and makes the light volumetric in this building. Steven Holl uses day and night lights and shadows as architectural elements. Steven Holl interprets by combining light, shadow, and space. According to Holl, space does not attract attention without light. He used the tones, opacity, transparency, translucency, reflection, and refraction properties of daylight about each other in the space. Steven Holl uses light more symbolically. According to Holl, the transparency of a space wall, the reflection of opaque glass, or a ray of sunlight mixes in the same environment, creating symbolic effects. Holl considers the daylight of the region as a design element in his designs. By calculating the reflection and refraction of daylight, he incorporated the optimum daylight into the design. Holl developed a new form of expression, which he called "parallax", to eliminate a possible contradiction between the existing architectural expression and the building. Parallax is defined as the different direction that occurs when looking at a building from two different points that are not on a line. In this case, an image that can be obtained as a result of experience and movement from at least two points of view is formed, and the surfaces that make up the space are arranged depending on the posture and movement of the observer. Holl decides on the design after examining the pure data felt, seen, and tried from the physical environment on the model by trial and error method in the perception of the space. In Holl's Fukuoka residences, spaces are defined with the concept of "hinged space", aiming for

multifunctional use. Accordingly, a part of the area used as a bedroom at night is used as a living area during the day. Another type of hinges allows changes in the number of rooms in houses according to the needs that occur in families over time (Anon., 2000b). The sun creates shimmering reflections on the ceilings of the northern courtyards and the interiors of the apartments (Holl, 2000). Thick facades with concrete load-bearing walls in Makuhari Residences have openings that continue with a rhythmic repetition (Tanyeli, 2002). According to the arrival of daylight during the day, the openings in the design establish an internal relationship with the structures and connect the spaces. This idea is supported by the shape of the building, considering that the building reflects light in places where the effect of sunlight is low. The slope of the roof reflects the sunlight to the galleries, the upper galleries receive light from above and from the sides, and the lower part receives sunlight from both the sides and these special parts. The water landscape, which increases the effect of the horizontal light of the northern latitudes, also functions as an urban mirror (Holl, 2000). In addition, it is seen that the buildings use sunlight for heating in winter and cooling in summer. The architect consciously uses the idea of orientation and daylight as design criteria in his buildings. It creates different visual effects for the users in the space, sometimes horizontally and sometimes vertically from the roof, with the daylight it takes into the space. It controls the light it enters into the space with the gaps it creates in the form of large holes on the building facades. It creates a warm environment with the light it receives from the roof in the buildings designed in cold climates. Houses by Steven Holl can be seen in Figure 11 (URL-2).



The New Residence At The Swiss Embassy    Planar House



Turbulence House

Y House



Nail Collector's House

Writing With Light House



Horizon House

Planar Villa



Little Tesseract

Stretto House



Ex of in House, Hudson Valley

Daeyang Gallery and House



House At Martha's Vineyard

Tower of Silence



Sun Slice House

Oceanic Retreat

Figure 11. Houses by Steven Holl

### 3. Material and Method

It is observed that the shading elements used to protect from the disturbing effect of the sun's heat in climates where the sun is effective affect the facade design. In climates where the sun is effective, different types of houses are seen in different regions, and it is seen that the disturbing effects of the steep sun rays in summer are prevented with the cages used in the courtyards, eaves, and windows. Evaluation of daylight as a building element provides original results in design. Since it is the light that reveals the relationship between form, structure, material, and color in space, the change of light creates different perceptions of space. Different sources, shades, opacity, transparency, refraction, and reflection of light affect the perception of the space. While the light is taken into the space, its horizontal or vertical spread serves different purposes. The difference in light in terms of color, movement, and direction has caused many meanings to be attributed to light, especially in religious worship. Light can be described physically by allowing us to see surrounding objects. Light shows different spreads according to the characteristics of the space it reflects. While the mirror shows the surface it reflects, shiny surfaces such as glass showcase and metal reflect the light, while opal glasses reflect the light diffusely. Thanks to the light, a place can be made to feel high or low by reflecting the light to the ceiling in the environments where lighting is made. Again, the amount and color of light used in a space affect the psychology of the user, and the absence of daylight makes the person tired, while the excess of light disturbs the eyes by glare.

There are different uses of daylight according to the functions of architectural spaces. Daylight is a variable design element and it changes from morning to evening, from day today. The use of natural light in space varies according to geography and culture. In countries with less sunbathing time and narrow angles of sunlight, large windows are included in the buildings designed because daylight is not sufficient, while in countries with a hot climate where the sun's influence is greater, daylight from small windows is sufficient. Today, it has become easier to realize architectural designs for light with the use of daylight in the space, the increase in light entrance openings, and the use of glass depending on the developing technology. Since sunlight is necessary for human actions and health, it has been one of the elements of religious places starting from an early age. Sunlight was used in symbolic meanings that made divine connotations in dark places. Today, by using glass instead of walls, continuity between indoor and outdoor environments can be provided. Daylight can be used for functional or symbolic purposes in the space. While the architectural space is being designed, daylight can be taken into the space in various ways. Sunlight shapes the identity of the design by influencing the design, façade character,

and rhythm, and can be taken into the space in a vertical or horizontal direction. Architects should consider daylight as an important element in their designs, which are shaped by location, climate, and directions, no matter what type of building. While the architectural space is being designed, daylight can be taken into the space in various ways. The light, dark or shiny surface features affect the perception as they reflect the light in different ways. The generally preferred methods for absorbing daylight into the houses are listed below (Öymen Özak, N. and Pulat Gökmen G. 2009; Tezel, D. 2007).

- In areas where the sunlight is very bright, it is possible to receive the light by reflecting it into the space, thus reducing the dazzling effect.

- Different positioning in the settlements of residences or villas and the effect of different elevations on the land and the surrounding buildings affect the daylight values provided in the volumes. Accordingly, the daylight and illumination conditions of the volumes of the same plan type differed from each other according to the conditions specified.

- Constructing a built-in balcony may cause insufficient daylighting provided in the volumes. Increasing the width of the window opening to the balconies can improve adverse conditions.

- Daylight illuminance values change depending on the depth of the volumes, and although there are large windows, sufficient daylight cannot be provided as the depth of the volume increases.

- More positive results are achieved in the volumes located at the corners of the buildings and accordingly have windows on both walls.

- Sunlight gives direction to the identity of the design by affecting the design, façade character, and rhythm, and can be taken into the space in a vertical or horizontal direction.

- The space illuminated from above is brighter, but because the light is diffused, the necessary shadows to define the objects cannot be created. The light entering the space horizontally may not provide sufficient illumination, and skylights illuminate every part of the volume, creating more effective results.

- Window orientation also affects light conditions, windows oriented to the east receive the morning sun, while those oriented to the north receive homogeneous light. Deep windows reflect the light and let it in, preventing the light contrast that can cause glare.

- In sunny areas, windows with sloping lateral surfaces reflect some of the light outwards, while low windows reflect the light reflected from the outer floor to the ceiling.

- The distance and height of the obstacles affect the daylight illuminance that occurs in the volumes. In this respect, the effect of obstacles close to the structure in which the examined volume is located is great.

- The settlements of the buildings on the land, the ground level levels, and the distances between the residences and villas significantly affect the use of daylight in the volumes.

- The slope of the land increases the barrier effect of the buildings in the settlement on each other.

- Existence of a water element in the exterior creates interesting light plays in the interior.

- The location, size, height, and inclination of the windows on the façade affect the amount of light taken into the space.

- Middle windows let in the light coming from the sky and reflected from the ground.
- Inclined windows receive more sunlight, but with the use of special glasses, contamination can be prevented in a short time.
- Outward sloping windows are preferred because they do not tire the eyes when it is necessary to observe the environment by reflecting more light to the outside.
- If the number of windows in the volume and their width are sufficient, the disadvantageous effect of the balconies can be overcome and sufficient daylight illumination can be provided.
- Keeping the windows on the balcony wall equally wide while designing large balconies reduces the barrier effect caused by the balcony for daylight intake.
- As the window width increases, the area where the desired daylight illumination is provided in the working plane of the volumes increases.
- Elements for façade design such as the gable wall applied in the building reduce the incoming daylight by creating an obstacle effect and creating significant differences in luminance levels compared to spaces of the same shape and size without gable walls.
- The use of daylight, depending on the floor height of the volumes in the building, varies according to the presence or absence of obstacles in the environment. While there is no change according to the floor where the volumes are located in the condition of no obstruction, there are significant differences in the condition of obstruction.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

While examining the effects of natural light in space design, the examples of modern architects Le Corbusier, Tadao Ando, and Steven Holl, who use natural light as an architectural element in their designs and have world-renowned buildings, are examined. Tadao Ando used natural light in his buildings, generally in a symbolic sense and by reflecting it, and in Holl's and Le Corbusier's designs, he used natural light by reflecting it. Architects, who used natural light as a design element and included it in their works, were able to transform the volume into an architectural space with daylight and gave their designs original qualities. The surfaces on which daylight reflects in the interior have been carefully selected and the meaning it brings to the space has been taken into consideration. Architects, who use daylight as a design element, also considered the effects of natural light in the selection of horizontal or vertical surface materials.

Le Corbusier uses daylight both symbolically and for the function of the building. However, functional use comes to the fore in Le Corbusier's residences. While taking the daylight into the space, it has established a relationship with the structure of the building and mostly reflects the sunlight from the surface and takes it into the space. In the architect's first buildings, more south-oriented windows, corner windows, or continuous windows were used to bring more light into the space. Later, he achieved contrast by using transparent and deaf surfaces, using different window types for different functions. It has included courtyards and roof gardens in its designs, and maximizing natural light into the space or making use of natural light as much as possible has been the basic design principle.

It has been observed that Tadao Ando uses natural light symbolically in his residential and religious buildings. The architect took the natural light into the space more in the vertical direction and preferred wide glass windows against the concrete surfaces in the horizontal. Ando establishes a relationship with nature in his designs, therefore he prefers massive masses in buildings where the function is appropriate, creating a sharp contrast of light and shadow on the walls with the light received through long and narrow strip windows. In their structures, light adds depth to the space. The architect uses glass surfaces as thin horizontal stripes or on large surfaces. In his works, it is seen that the relationship between light and design is at the forefront. By reflecting the light from the water element he placed outdoors, he sometimes brought it into the space from low windows and brought interesting light plays to the space. He used the water element frequently, reflected the sunlight to the building like a mirror with the water elements used, and tried to control the light reflected from the water.

It has been observed that Steven Holl uses natural light functionally in the examined residential buildings. It is seen that he uses natural light horizontally or vertically, linearly or reflected, depending on the meaning he wants to give to the space. The architect uses the most appropriate way by calculating the reflection and refraction of the daylight of the region in his designs. It is observed that he uses human-scale modular windows in his buildings. It is seen that he uses light by reflecting it from water elements like Ando and Corbusier. It is seen that all architects try to indirectly bring natural light into the space in their buildings that they have built-in hot climates. For this purpose, the gaps and gaps left on the façade and their balance with each other are important. It is seen that the shading elements used to protect from the disturbing effect of the sun's rays in climates where the sun is effective affect the facade design. In climates where the sun is effective, different types of houses are seen in different regions, and the irritating effects of the steep sun rays in summer are prevented with the cages used in the courtyards, eaves, and windows.

In Le Corbusier, the facade composition formed by the horizontal and vertical repetition of a certain module of the windows comes to the fore. Shading elements are also used on these facades. It is seen that Tadao Ando carefully observed Corbusier's works, but applied some of his solutions such as roof gardens and water surfaces with his interpretation. Tadao Ando throws light on interior surfaces and creates luminance contrast with other surfaces, thus creating a dramatic effect in the building and prompting people to think. Steven Holl, on the other hand, avoided the dramatic effect and created a feeling of spaciousness by keeping the brightness ratio high with wide glass surfaces. Holl used light with its physical dimension in his designs. preference The common feature that draws attention in Steven Holl, Le Corbusier, and Tadao Ando is the use of water during design. Artificial ponds created for this purpose reflect the sunlight on the building like a mirror. All three architects tried to control the light entering the building by reflecting it from the water.

## References

- Aksugür, E. 1977. Renk Çeşitlerinin Özellikleri Ayrı İki Işık Kaynağı Altında, Mekânın Algılanan Büyüklüğüne Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Altan, İ. 1983. Mimaride Işık Gölge İlişkilerinin Psikolojik Etkileri Üzerine Bir Araştırma, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Ander, G.D. 1995. Daylighting Performance and Design, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Ando, T. 1990. Materials, Geometry and Nature, Academy Editions, London.
- Ando, T. 1991. Dormant Lines / Tadao Ando, Darell Wayne Fields, New York
- Ando, T. 1996. The Colours of Light, T. Heneghan Phaidon Press Inc., London.
- Ando, T. 2000. Tadao Ando, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Anon. 2000a. Tadao Ando, Çağdaş Dünya Mimarları Dizisi, Boyut Yayın Grubu, İstanbul, 6.
- Anon. 2000b. Steven Holl, Çağdaş Dünya Mimarları Dizisi, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Arnheim, R. 1974. Art and the Visual Perception, A Psychology of the Creative Eye, University of California Press, Berkeley, p.225-264-268-271.
- Arnheim, R. 1966. Toward a Psychology of Art, University of California Press., Berkeley and Los Angeles, 225.
- Arnheim, R. 1976. Vision and Artifact, Springer Pub. Co., England, 101
- Arpacioglu, U. 2012. An Important Factor for Spatial Quality and Comfort is Daylight. *Architecture*, 368, 48–53.
- Arpacioglu, Ü., Çalışkan, C.İ., Şahin, B., Ödevci, N. 2020. Mimari Planlamada, Güneşin Etkinliğinin Artırılması için Kurgusal Tasarım Destek Modeli, *Tasarım Kuram*. 2020, 16, #29, 53-78.
- Akalp, O., Özbay, H., Efe, S.B. 2021. Design and Analysis of High-Efficient Driver Model for Led Luminaires, *Light & Engineering*, 29(2), 96–106.
- Aydınlı, S., 1993. Mimarlıkta Estetik Değerler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- Aykal, F.D., Gümü, B., Unver, F.R., Ozgur, M. 2011. An Approach in Evaluation of Re-Functional Historical Buildings in view of Daylighting A Case Study in Diyarbakir Turkey, *Light and Engineering*, 19, #2, 64–76.
- Bachelard, G. 1964. Poetics of Space, Engl Transl by Maria, Jolas, The Beacon Press, Boston.
- Baeza, A.C. 1991. L'Architecture D'Aujord'hui, 274, 90-93.
- Baker, G.H. 1989. Le Corbusier An Analysis Of Form, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, London.
- Balamir, A. 2000. Tadao Ando'nun Japonca Modernizmi, Tadao Ando, 73-75, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Bayazit, N. 2004. Tasarlama Kuramları ve Metotları, 1. Baskı, İstanbul: Birsan Yayınevi
- Bianchi, F., 1991. L'architettura Della Luce, Ed. Kappa, Roma.
- Bianchi, F.E. Pulcini G., 1994. Manuale di Illuminotecnica, Ed. Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Brownlee, D.B. 1991. Kahn, L., Architecture: Silence and Light, Guggenheim Museum, Konferans bildirisi, 191
- BS 8206-2:2008. Lighting for buildings-Part 2: Code of practice for daylighting, 2008.
- Butterfield, J., 1993. Art of Light and Space, NewYork, 8-22.
- Caracristi, Paul J., 1999. The Presence Of Light: A Model for Architectural Design and Criticism, Master Thesis, Dalhousie University-Daltech, Halifax, Nova Scotia.
- CEN European Daylight Standard (EN 17037). 2018. <https://velcdn.azureedge.net/~media/marketing/ee/professional/28mai2019%20seminar/veluxen17037tallinn28052019.pdf>
- Cengiz M.S. 2022. Human-Centered Architectural Lighting Design in Prisons. *Light Engineering*. 30(2), 46–54.
- Cengiz M.S. 2022. Using Artificial Lighting to Support Daylighting in Architectural Building Designs. *Light Engineering*, 30(1), 113–123.
- Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2018. Numerical analysis of tunnel lighting maintenance factor. *International Islamic University Malaysia Journal*, 19(2):154-163.
- Cengiz Ç., Cengiz M.S. 2021. The Relationship Between Shadow and Visual Comfort in Indoor Areas. II. International Halich Congress On Multidisciplinary Scientific Research, 29-30 October 2021, İstanbul
- Ching, Frank D.K., 2003. Mimarlık Biçim, Mekan ve Düzen, çev. Sevgi Lökçe, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.
- CIE, Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky, ISO 15469:2004(E)/CIE S 011/E:2003.
- Cimcoz, N. 2001. Mekânda Gün Işığı, Ege Mimarlık, İzmir, 38-39, 18-31.
- Curtis, W.J.R. 1992. Le Corbusier Ideas And Forms., Phaidon Press Ltd., London.
- Cengiz M.S. 2022. Role of Functional Lighting Urban Beautification: Qatar-Doha Road Lighting Case. *Light Engineering*, V30(3).
- Cengiz Ç., Cengiz M.S. 2021. Using Symmetric and Asymmetric Lens In Urban Lighting. II. International Halich Congress On Multidisciplinary Scientific Research, 29-30 October 2021, İstanbul.
- Cimcoz, N. 2001. Mekânda Gün Işığı, Ege Mimarlık, İzmir, 38-39, 18-31.
- Cengiz, M.S., Cengiz, Ç. 2021. The Relationship of Daylight Direction and Color in Architecture. *International Conference On Multidisciplinary Studies*, 23-24 September 2021.
- Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2021. The Use of Wall Washing and Wall Grazing Methods on Vertical Surfaces in Architectural Lighting. *International Conference On Multidisciplinary Studies*, 23-24 September 2021.
- Cengiz, Ç., Cengiz, M.S., Yurci, Y., Kaynaklı, M., Parlakyıldız, Ş., İlcihan, Z. 2017. Realization of warming in lighting, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 12(6) Ver.II, 83-85.
- Çevik, A., Kazanasmaz, T., Duran H.E. User lighting preferences based on navigation and space quality in virtual exhibition environments, 2020, V28, #2, pp. 28–37.
- Çıbuk, M., Cengiz, M.S. 2020. Determination of Energy Consumption According to Wireless Network Topologies in Grid-Free Lighting Systems, *Light & Engineering*, 28(2), 67–76.
- Dağ, A. 2005. Mekânsal dizim ve görünür alanın mimari mekân algısına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Djalilova, L., Sahin, B.E. 2020. A Review on the Applications of Daylight Usage in Sustainable School Design, *Artium*, 8, #1, 44-60.
- Eco, U. 1999. Ortaçağ Estetiğinde Sanat ve Güzellik: Deneme, çev. Kemal Atakay, Can Yayınları, İstanbul.
- Efe, S.B., Varhan, D. 2020. Interior Lighting of a Historical Building By Using Led Luminaires: A Case Study Of Fatih Paşa Mosque, *Light & Engineering* 28(4), 77–83.

- Eldem, N. 1992. Mekân Örgütlenmesi Dersinden Birkaç Kesit, Arradamento Dekorasyon, 102-103.
- Eren, M., Yapıcı, İ., Yıldırım, S., Cengiz, Ç., Gencer, G., Palta, O., Aybay, E., Yurci, Y. 2017. Driver circuit effects in Lighting Systems, Realization of warming in lighting, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 12(6) Ver.III, 1-4.
- Erlalelitepe, I., Aral, D., and Kazanasmaz, T. 2011. Investigation of Educational Structures in Terms of Natural Lighting Performance, Megaron, 6, #1, 39-51.
- Erkman, B. 1973. Mimaride Etki ve Görsel İdrak İlişkileri, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, s.18.
- Eruzun, C. 1989. Kültürel Süreklilik İçinde Türk Evi, Mimarlık, 68, 89/4.
- Erzen, J. N. 2003. Tadao Ando Yeryüzü ve Evren Arasında, Arredamento Mimarlık, 2003-9, 43-46.
- Fitoz, İ. 2002. Mekân Tasarımında Belirleyici Bir Etken Olarak Yapay Işık İçin Aydınlatma Tasarımı Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Fontoynt, M. 1999. Daylight Performance of Buildings, James & James (Science Publishers) for the European Commission, London
- Fontoynt, M., Tsangrassoulis, A., Synnefa, A. SynthLight Handbook, Chapter 2: Daylighting, 22 May 2004.
- Füeg, F. and Frey W. 1980. Post-War Modernity in Switzerland, Birkhäuser, Basel
- Füeg, F. 1980. Mimarinin Temelleri, Mimari Nedir? Semineri, İDGS Akademisi, İstanbul, Kasım 11-14.
- Gardiner, S. 1985. Le Corbusier, Afa Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- Garris L.B. The deliberation of daylighting [Book]. Buildings magazine, 2004.
- Gombrich, E. H. 1960. Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation, Ed. Phaidon Press, London (ed. italiana "Arte e illusione: studio sulla psicologia della rappresentazione pittorica", Ed. Giulio Einaudi, Torino 1965).
- Göker, M. 2006. Mimari Yapılarda Saydamlık ve Mekân Tasarımında Işık Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Gür, Ş. 2006. Saydamlık ve Rafael Viñoly, Yapı Dergisi, 291.
- Gür, Şengül Ö. 1996. Mekân Örgütlenmesi, Gür Yayıncılık, Trabzon.
- Gürer, L. 1992. Görsel Sanat Eğitimi ve mekan-Form, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- Güzer, C. A. 2000. Modernizm'in Son Savaşçısı, Tadao Ando, 42, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Hasol, D. 1998. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yapı-Endüstri Merkezi, İstanbul, 43
- Hayter, Sheila J.,P. Torcellini, R. 1999. Judkoff Optimizing building and HVAC systemsı ASHRAE Jour., 41(12). 46-49.
- Hitchcock H. R., Johnson P. 1997. The International Style, WW. Norton&Company, U.S.A. 23.
- Holl, S. 2000, Steven Holl, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Holl, S., Frampton, K. 1995. Hariri & Hariri, Monacelli Press, New York
- Hoogstad, J. 1990. Space, Time, Motion, Grevenhage, Netherland.
- IESNA Lighting Handbook [Report]: The Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), 2005.
- İskender, B. 1995. Geleneksel Türk Evinde Işık Üzerine Bir Deneme, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Janicek, M. 1995. Presence of Mall: Mall refit creates spatial elements with and luminaires, Lighting Design+Application, September 1995, 22-25.
- Jeodicke, J. 1985. Bir Mimari Mekân Kuramına Giriş, Konferansı, Mimar Sinan Üniversitesi, İ.T.Ü. Mimarlık Mühendislik Fakültesi Matbaası, İstanbul, 341-344.
- Jodidio, P. 1997. New Forms, Architecture in the 1990s, Taschen's World Architecture, Taschen.
- Jones, F. H., 1989. Architectural Lighting Design, Crisp Pub., Los Altos, Cali, 43-59.
- Kahvecioğlu, H. 1998. Mimarlıkta İmaj: Mekânsal İmajın Oluşumu Ve Yapısı Üzerine Bir Model, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaynaklı, M., Palta, O., Cengiz Ç. 2018. Solar Radiation and Temperature Effects on Agricultural Irrigation Systems, Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 6(1), 53-58.
- Kazanasmaz, T. 2013. Fuzzy logic model to classify effectiveness of daylighting in an Office with a movable blind system, Building, and Environment. 69, 22-34.
- Kazanasmaz, T., Günaydin, M. and Binol, S. 2009. Artificial neural networks to predict daylight illuminance in office buildings. Building and Environment, 44(8), 1751-1757.
- Kazanasmaz, T., Örs Fırat, P. 2014. Comparison of advanced daylighting systems to improve illuminance and uniformity through simulation modeling. Light & Engineering, 22(3), 56-66.
- Kazanasmaz, T., Grobe L.O., Bauer, C., Krehel, M., Wittkopf S. 2016. Three approaches to optimize optical properties and size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy, Building, and Environment. 102, 243-256.
- Klee, P. 1956. Das Bildnerische Denken, Ed. Benno Schwabe, Basel (ed. Italiana Teoria della forma e della figurazione, Ed. Feltrinelli, Milano 1959).
- Kortan, E. 1986. 20. yy. Mimarlığında Estetik Açısından Bakış, ODTÜ, Ankara, 32.
- Kostof, S. 1995. A History of Architecture: Settings and Rituals, Oxford University Press, New York, 195-200
- Ksiazek, S. 1993. Journal of the Society of Architectural Historians, England, December, 4, 416-427-429.
- Köknel Yener, A. 2002. Daylight Analysis in Classrooms with Solar Control, Architectural Science Rev., 45, #4, 311-316.
- Köknel Yener, A. Performance Analysis of Window Glazing from Visual Comfort and Energy Conservation Points of View, Architectural Science Review. 2003, V46, #4, pp. 395-401.
- Kurtay, C. 2002. Design of the External Environment for Proper Daylight in Indoor Volumes, Gazi University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 17(3), 75-87.
- Kurtay, C., Esen, O. Ofis yapıları için ışık rafı tasarımında 30° ve 45° enlemlerinde optimum verim sağlanması için bir yöntem. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University. 2019, V34, #2, pp. 835-844.
- Kutlu, G.H. 2001. Çağdaş Mimarlıkta Işık Kullanımı, Ege Mimarlık Dergisi, İzmir, 2001-2, 13
- Kuban, D. 1992. Mimarlık Kavramları, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Küçükdoğu, M.S. 1976. İklimsel Konfor ve Aydınlik Seviyesine Bağlı Görsel Konfor Gereksinimleri Açısından, Pencerelerin Tasarlanmasında Kullanılabilecek Bir Yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Littlefair, P. 2001. Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment, Solar Energy, 70(3), 177-185.



- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J. 2011. Daylighting Metrics For Residential Buildings, CIE 27th Session, 9-16 Temmuz 2011, Sun City, 93-111.
- Mardaljevic, J. Christoffersen, J., Raynham. P. A. 2013. Proposal for a European Standard for Daylight in Buildings, Lux Europa 2013, 17-19 Krakow, ss. 237-250.
- Nabil, A., Mardaljevic, J. 2006. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors, *Energy and Buildings*, 38(7), 905-913.
- Orlando, E. Tips For Daylighting-With Windows, The Integrated Approach, LBNL-39945, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- Özorhon, İ.F. 2002. Mimari Mekân Kimliğini Belirleyen Yönüyle Doğal Işık, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öymen Özak, N., Pulat Gökmen G. 2009. Bellek ve mekan ilişkisi üzerine bir model önerisi, itüdergisi/a mimarlık, planlama, tasarım, 8(2), 145-155.
- Öztürk, B. 1997. Büyük Açıklıklı Yapılarda Çatı Işıklıkları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri, İstanbul, 24-26.
- Öztürk, L. Pencere Tasarımını Etkileyen Önemli Bir Parametre: Güneşliğine Yönelik Yeni Avrupa Standardı, İstanbul 1.Konut Kurultayı, İstanbul, ss.556-571, 2018.
- Palta, O., Yıldırım, S., Yapıcı, İ., Eren, M., İlcihan, Z., Aybay, E., Gencer, G. 2017. Cost Comparison in Lighting and Selection Criteria in Leds, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 12(6) Ver.III, 5-10.
- Cengiz M.S., Cengiz Ç. 2021. Outdoor lighting in development-focused cities with an architectural perspective, 7th Inter. Conf. Agr. Sci. Rur. Dev. 18-19 Sept. 2021-Mus / Turkey
- Parlakıldız, Ş., Gençoğlu, M.T., Cengiz M.S. 2020. Analysis of Failure Detection and Visibility Criteria in Pantograph-Catenary Interaction, *Light & Engineering*, 28(6), 127-135.
- Pamir, H. 2000. Mimari Tasarımın Kurgularından Işık, 1(2) 33-39.
- Phillips, D. Daylighting - Natural Light in Architecture, Architectural Press, Elsevier, 2004.
- Reinhart, C.F., Mardaljevic, J., Rogers, Z. 2006. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design, *Leukos*, 3(1), 7-32.
- Savaş, A. 1995, El Yordamıyla Mimarlık: Paralaks, bilinç, içgüdü ve Steven Holl, Steven Holl, 27-37, Boyut Yayın, İstanbul.
- Susani, M. 1998. Işık ve Madde, *FOL Dergisi*, 9, 51.
- Şerefhanoglu Sözen, M. Aydınlatma Teknik ve Estetik. *Arrademento Mimarlık Dergisi*, 2011. V5, 116.
- Şerefhanoglu, M. 1974. Türkiye'de yapıların düşey yüzeylerinin güneşlenme durumları, İstanbul
- Şerefhanoglu, M. 1992. Yapıların iç aydınlatmasında gün ışığı ile lamba ışığının temel özellikleri ve ayrımları, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Tanyeli, U. 2000. Ando, Modernizm ve Japonizm, Tadao Ando, Boyut Yayın Grubu, İstanbul.
- Tanyeli, U. 2002. Steven Holl: Kavramsal Mimarlığın Yeni Ürünleri, *Arrademento Mimarlık*, 2002/02, 41-55
- Tezel, D. (Danışman: Pulat Gökmen G.) 2007. Mekân Tasarımında Doğal Işığın Etkileri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- URL-1, Villa Savoye, <https://prezi.com/p/hatzavtmoy2e/le-corbusier-villa-savoye/> (Date of Access: 03.03.2022)
- URL-2, Steven Holl, [https://www.stevenholl.com/category\\_projects/houses/](https://www.stevenholl.com/category_projects/houses/) (Date of Access: 03.03.2022)
- URL-3, 4x4 House <https://en.wikiarquitectura.com/building/4x4-house/> (Date of Access: 03.03.2022)
- URL-4, Villa Falet, <https://divisare.com/projects/198389-le-corbusier-cemal-emden-villa-fallet#lg=1&slide=0> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-5, Villa Jaquemets <http://travelswithpaulwolsfeld.blogspot.com/2019/09/la-chaux-de-fonds-switzerland-part-1.html> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-6, Villa Stotzer, <https://www.pinterest.cl/pin/320248223503640493/> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-7, Villa Jeanneret-Perret <https://mapio.net/wiki/Q3277871-en/> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-8, Villa Favre-Jacot, <https://www.thehourglass.com/new-watch/42447/> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-9, Villa Besnus, "Ker-Ka-Ré" Vaucresson <https://twitter.com/areasvellas/status/904270614399242241/photo/1> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-10, Ozenfant House, [https://www.waymarking.com/waymarks/WMZPMN\\_Maison\\_Atelier\\_Ozenfant\\_Paris\\_Ile\\_de\\_France\\_France](https://www.waymarking.com/waymarks/WMZPMN_Maison_Atelier_Ozenfant_Paris_Ile_de_France_France) (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-11, Villa La Roche, [https://www.tripadvisor.com/tr/Attraction\\_Review-g187147-d3568832-Reviews-Maison\\_La\\_Roche-Paris\\_Ile\\_de\\_France.html](https://www.tripadvisor.com/tr/Attraction_Review-g187147-d3568832-Reviews-Maison_La_Roche-Paris_Ile_de_France.html) (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-11, Villa Schwob, <https://travel.sygi.com/en/poi/turkish-villa-poi:10764> (Date of Access: 01.01.2022)
- URL-12, <https://www.metalocus.es/en/news/row-house-sumiyoshi-azuma-house-tadao-ando> (Date of Access: 02.02.2022)
- URL-13, Umemiya House, <https://tr.pinterest.com/qwerty2292/ando-umemiya-house/> (Date of Access: 02.02.2022)
- URL-14, Tomishima House, <https://ofhouses.com/post/144331596578/307-tadao-ando-tomishima-house-oydo> (Date of Access: 02.02.2022)
- URL-15, Koshino House, <https://www.archdaily.com/161522/ad-classics-koshino-house-tadao-ando> (Date of Access: 02.02.2022)
- URL-16, Rokko Housing <https://www.archiweb.cz/en/b/rokko-housing-i> (Date of Access: 02.02.2022)
- Üçüncü, G. 1995. Güneşliği Kullanımı Açısından Le Corbusier, Alvar Aalto ve Tadao Ando Arasındaki Benzerlikler ve Farklılıklar, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ünver, R. 1985. Yapıların içinde ışık-renk ilişkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünver, F.R. Yapı Dışı Engellerin Hacim İçi Güneşliği Aydınlatma Etkisi: İstanbul Örneği, Ytü Basım-Yayın Merkezi, 2002.
- Ünver, R. Aydınlatmada Enerji Kullanımı, *Elektrokent-Perpa*, 2000. V74, pp. 110-115.
- Ünver, R., Enarun, D. 1999. A Comparative Investigation of Lighting of Mosques and Churches in İstanbul, 24th. Session of the CIE, CIE Publication No. 133, 24-30 Haziran 1999, Warsaw, 288-292.
- Ünver, F.R., Öztürk, L., Akın Adıgüzel, S., Çelik, O. 2003. The effect of the facade alternatives on the daylight illumination in offices, *Energy and Buildings*, 35, #8, 737-746.
- Yamamoto, T. 1995. Çagdag Mimarlar 1, Tadao Ando, 9-15, YEM Yayın, İstanbul
- Yaylak, M., Kaynaklı, M., Ceylan., H., Cengiz, M.S., Aybay, E. 2017. Academic Study Trends in Engineering and Basic Science, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 12(6) Ver.III, 49-55.
- Yıldız, G. 1995. Doğal Işığın Mimari Mekânı Biçimlendirmesi ve Anlam Boyutu Üzerine : (Louis I Kahn ve Tadao Ando), Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yücel, A. 1981. Mimarlıkta Biçim ve Mekânın Dilsel Yorumu Üzerine, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.



# Lisans Öğrencilerinin Sürdürülebilir Beslenme Hakkındaki Davranışları ve Bilgi Düzeyleri ile Besin Tercihleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tek Merkezli Çalışma

Şevval Engin<sup>1</sup>, Yonca Sevim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bahçeşehir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4709-7028), [dyt.sevvalengin@gmail.com](mailto:dyt.sevvalengin@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2793-1318), [yonca.sevim@hes.bau.edu.tr](mailto:yonca.sevim@hes.bau.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 23 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1109521)

**ATIF/REFERENCE:** Engin, Ş., & Sevim, Y. (2022). Lisans Öğrencilerinin Sürdürülebilir Beslenme Hakkındaki Davranışları ve Bilgi Düzeyleri ile Besin Tercihleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tek Merkezli Çalışma. *European Journal of Science and Technology*, (38), 259-269.

## Öz

Artan nüfus nedeniyle kaynakların sınırlı olduğu bir dünyada nasıl besleneceğimiz büyük bir sorun oluşturmaktadır. Mevcut gıda sistemi, iklim değişikliğine sebep olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasından sorumludur. Bu sebeplerle sürdürülebilir beslenme giderek dikkat çekmektedir. Bu çalışma, lisans düzeyinde eğitime devam eden öğrencilerin sürdürülebilir beslenme hakkındaki davranışlarının ve bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi ile bunların besin tercihleri üzerindeki ilişkisinin incelenmesi amacıyla planlanmıştır. Kesitsel tipteki bu çalışmaya, Mayıs 2021-Aralık 2021 tarihleri arasında lisans düzeyinde eğitime devam eden yaşları 18 ile 35 arasında değişen, 355 öğrenci (268 kadın, 87 erkek) katılmıştır. Öğrencilerin genel bilgileri, besin seçimi testi, sürdürülebilir beslenme hakkındaki davranış ve bilgi düzeyleri çevrimiçi anket yöntemi ile toplanmıştır. Öğrencilerin % 49.3'ünün daha önceden sürdürülebilir beslenme terimini duyduğu saptanmıştır. Sürdürülebilir beslenme davranış puan ortalaması  $66.1 \pm 13.2$  (maks. 95), bilgi puan ortalaması  $82.6 \pm 8.6$  (maks. 105) olarak bulunmuştur. Sürdürülebilir beslenme bilgi puanı arttıkça, sürdürülebilir beslenme davranış puanının arttığı saptanmıştır ( $r=0.405$ ,  $p=0.001$ ). Öğrencilerin en dikkat ettiği sürdürülebilir beslenme davranışının tabaklarına tüketebilecekleri kadar gıda almak olduğu saptanmıştır. Öğrencilerin genellikle israf ve gıda artığı oluşturmamaya ve artıklarını değerlendirmeye yönelik davrandıkları bulunmuştur. Sürdürülebilir beslenme davranış puanı kadınlarda erkeklere göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ( $p=0.001$ ), fakat okunan bölüm ve gelir düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p = 0.110$ ). Sürdürülebilir beslenme bilgi puanı kadınlarda daha yüksek olsa da bu istatistiksel açıdan anlamlı değildir ( $p = 0.135$ ), bölümler ve gelir durumu arasında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ). Sürdürülebilir beslenme davranış puanının, besin seçiminde sağlık, ruh hali, doğal içerik, ağırlık kontrolü ve etik endişe alt boyutları; bilgi puanının kolaylık, fiyat, ağırlık kontrolü alt boyutları üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi düzeylerinin besin seçimlerini etkilediği saptanmıştır. Daha büyük ve çeşitli popülasyonlarda (sporcular, vejeteryenler, veganlar) sürdürülebilir beslenme ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Gıda İsrafı, Besin Atığı, Besin Seçimi, İklim Değişikliği, Sera Gazı Emisyonu.

## The Relationship Between Knowledge and Behaviors on Sustainable Nutrition with Food Choices of Undergraduate Students: A Single Centre Study

### Abstract

How to feed a growing population in a resource-limited world is a major challenge. The current food system is responsible for both increasing human-induced greenhouse gas emissions that cause climate change. For these reasons, sustainable nutrition is getting more and more attention. This study was planned to evaluate the behaviors and knowledge levels of undergraduate students about sustainable nutrition and to examine their relationships on food preferences. In this cross-sectional study, 355 students (268 females, 87 males) aged between 18 and 35 years who continued their undergraduate education between May 2021 and December 2021 were participated. An online questionnaire method was used to obtain the general information of students, the food choice questionnaire, behavior and knowledge levels about sustainable nutrition. It was determined that 49.3 % of the students have heard the term sustainable nutrition before. Sustainable nutrition behavior and knowledge mean scores were  $66.1 \pm 13.2$ , and  $82.6 \pm 8.6$ , respectively. It was found that as the sustainable nutrition knowledge score increased, the sustainable nutrition behavior score increased ( $r=0.405$ ,  $p=0.001$ ). It has been determined that the most important sustainable nutrition behavior of the students is to get as much food as they can consume on their plates. It was found that the students generally behaved towards not creating excessive use of food source and food waste, and evaluating

their leftovers. Sustainable nutrition behavior score was found to be significantly higher in women than in men ( $p = 0.001$ ), but there was no significant difference between reading department and income levels ( $p = 0.110$ ). Although the sustainable nutrition knowledge score was higher in women, it was not statistically significant ( $p = 0.135$ ), and there was no statistically significant difference between departments and income status ( $p > 0.05$ ). It was found that the sustainable nutrition behavioral score was effective on the sub-dimensions of health, mood, natural content, weight control and ethical concern in food choices, and nutrition knowledge score was effective on the sub-dimensions of convenience, price, and weight control. It has been determined that students' sustainable nutrition behavior and knowledge levels affect their food choices. Studies on sustainable nutrition are needed in larger and diverse populations (athletes, vegetarians, vegans).

**Keywords:** Sustainability, Food Waste, Food Choice, Climate Change, Greenhouse Gas Emission.

## 1. Giriş

Dünya nüfusu 2017 yılında yaklaşık 7.6 milyar iken 2050 yılında nüfusun yaklaşık 10 milyar olması beklenmektedir (United Nations, 2017). Kaynakları sınırlı bir dünyada giderek artan nüfusun nasıl besleneceği büyük bir sorun oluşturmaktadır. Çünkü mevcut gıda sistemleri dünya nüfusunu yeterince beslemekte eksik kalmakta, mevcut ve gelecek nesiller için gıda üretimini riske sokmakta, gıda güvenliğine, olumsuz sağlık sonuçlarına ve çevre üzerinde zararlara neden olmaktadır (Fischer ve Garnett, 2016; Wiseman ve ark., 2019).

Mevcut gıda sistemi, hem iklim değişikliğine sebep olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının % 20-30'undan hem de biyolojik çeşitlilik kaybından, ormansızlaşmadan, arazi kullanım değişikliklerinden sorumludur (Fischer ve Garnett, 2016). Tarım faaliyetleri, tatlı suyun % 70'inin ve ekilebilir arazilerin üçte birinden fazlasının kullanılmasından sorumludur. Doğal kaynakların büyük bir kısmının kullanılmasında gıda sisteminin payı oldukça fazladır (IPCC, 2015; Whitmee ve ark., 2015). Gıda sisteminde, gıdanın sofraya gelene kadar geçtiği bütün aşamaların çevre üzerinde etkileri bulunmaktadır. Hayvansal ürünler özellikle de et tüketimi bitkisel ürün tüketimine göre çevre üzerinde daha büyük bir yük oluşturmaktadır. Et tüketiminin azalması daha az sera gazı emisyonuna neden olmaktadır (Hedenus ve ark., 2014). Günlük 100 gram ve üstü et tüketimi kişi başına 7.2 kg/gün CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı emisyonuna neden olurken, günlük 50 gram ve daha az et tüketimi 4.7 kg/gün CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı emisyonuna neden olmaktadır (Wiseman ve ark., 2019).

Nüfusu beslemek için gıda üreten tarım sektöründe, artan dünya nüfusu için kaynak bulma ihtiyacı bir baskı oluştururken, iklim değişikliklerinin yol açtığı sorunlar bu baskıyı daha da arttırmaktadır (Fischer ve Garnett, 2016; Macdiarmid ve ark., 2012). Bu yüzden mevcut gıda sisteminin, hem insanların hem de gezegenin sağlığı için bir değişimden geçmesi gerekmektedir (Wiseman ve ark., 2019). 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara, küresel gelirin üç katına çıkacağı beklentisi sebebiyle gıda sisteminin neden olacağı çevresel baskının % 50-92 artacağı öngörülmektedir (Springmann ve ark., 2018). Bu çevresel baskının oluşmaması için küresel gıda sistemi daha sağlıklı ve sürdürülebilir olmalıdır (Wiseman ve ark., 2019).

Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin yol açabileceği sorunlar doğal kaynaklarımız üzerinde tehdit oluşturmakta ve bu nedenle sürdürülebilir beslenmeye ilgiyi arttırmaktadır (Auestad ve Fulgoni, 2015). Mevcut beslenmemiz aşırı kilolu olma, obezite ve vitamin mineral yetersizlikleri gibi hastalıkların yükünde artışa da neden olmaktadır (Scheelbeek ve ark., 2020). Obezite dünya çapında her geçen gün artma eğilindedir. Bu durum her üç kişiden birinin fazla kilolu veya obez olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Micha ve ark., 2020). Türkiye'de ise durum, 2017 yılı Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması'na göre (TBSA) 19 yaş ve üzerindeki bireylerin % 36.6'sı fazla kilolu, % 30'u obez,

% 4.1'i ise morbid obezdir. Bir yanda obezite ciddi bir sağlık sorunu oluştururken diğer yanda dünyada her dokuz kişiden birinin de açlık sıkıntısı çekmesi mevcut gıda sisteminin adaletsizliğinin önemli bir göstergesidir ve bu sorunun çözümünde sürdürülebilir diyetlerin önemini göstermektedir (TBSA, 2019).

Sürdürülebilirlik kavramı sürdürülebilir kentler, sürdürülebilir yaşam, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir gezegen gibi pek çok farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır (Güner, 2020; Yavuz, 2010). Sürdürülebilir beslenme kavramı da bunlardan biridir. Sürdürülebilir beslenme terimi ilk kez Gussow ve Clancy tarafından 1986 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Beslenme kılavuzlarında gıda ve sağlık arasındaki etkileşimin incelendiğini, gıda ve çevre arasındaki etkileşimin dikkate alınmadığını belirtip beslenme tercihlerinin çevre üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Gussow ve Clancy, 1986). Sürdürülebilir diyetin 2010 yılına kadar ise bir tanımı bulunmamaktadır. 2010 yılında Roma'da Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından düzenlenen Biyoçeşitlilik ve Sürdürülebilir Diyetler sempozyumunda "*Sürdürülebilir diyetler günümüz ve gelecek nesillerde sağlıklı yaşam için besin ve beslenme güvenliğine katkı sağlayan düşük çevresel etkileri olan diyetlerdir. Sürdürülebilir diyetler ekolojik sisteme ve biyolojik çeşitliliğe karşı saygılı ve koruyucudur, kültürel olarak kabul edilebilir, erişilebilir, ekonomik olarak adil ve uygun fiyatlı, doğal ve insan kaynaklarını en iyi şekilde kullanırken beslenme açısından yeterli, güvenli ve sağlıklı diyetlerdir*" olarak tanımlanmıştır (FAO, 2010). Sürdürülebilir bir yaşam için sürdürülebilir diyetlerin benimsenmesi başlıca gerekliliklerdendir (Yüksel ve Özkul, 2021). Kanada diyetisyenlerinin sürdürülebilir bir diyet için temel mesajları; bitki bazlı diyet tüketilmesi, başta geviş getiren hayvan eti olmak üzere et tüketiminin azaltılması, mevsimlik, yöresel sebze ve meyvelerin tüketilmesi, aşırı tüketimin, gıda israfı ve kaybının azaltılması, sertifikalı balıkların tercih edilmesi, bebeklerin anne sütü ile beslenmesi, işlenmiş gıda tüketiminin azaltılmasını sağlayan politika ve stratejilerin teşvik edilmesi şeklindedir (Carlsson ve ark., 2020).

Sürdürülebilir uygulamalar politika tarafından destek görmezse, tarım sektöründe herhangi bir değişim olması beklenemez (Wyatt, 2015). Sürdürülebilir diyetler hakkındaki algıları, farkındalıkları anlamak bu konu hakkında geliştirilmesi gereken politikalar için bir kaynak olabilir. Ayrıca kişilerin besin tercihlerini etkileyen faktörlerin anlaşılması önemlidir çünkü kişilerin besin tercihlerindeki değişiklikler çevresel sorunları azaltabilir. Tercihleri nelerin etkilediğinin anlaşılması sürdürülebilir diyetin yaygınlaştırılması konusunda yol gösterebilir. Diyet-çevre-sağlık arasındaki ilişkilerinin daha iyi anlaşılması sağlanılarak sürdürülebilir bir beslenme tarzının benimsenmesi küresel ölçekte büyük önem teşkil etmektedir (Sabaté, 2019).

Literatür incelendiğinde sürdürülebilir beslenme ile ilgili ülkemizde sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Sürdürülebilir beslenmenin gelecek nesiller için önemi düşünüldüğünde üniversite öğrencileri gibi genç popülasyonların sürdürülebilir

beslenme hakkındaki düşünce ve davranışlarını anlamak çok önemlidir. Bu çalışma, dünyada giderek önem kazanan sürdürülebilir beslenme ile ilgili farkındalığın artması, bu konu hakkında politikalar geliştirilmesi ve literatüre katkı sağlamak için bir vakıf üniversitesinde lisans düzeyinde eğitimine devam eden öğrencilerin sürdürülebilir beslenme hakkındaki davranışlarının ve bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi ile bunların besin tercihleri üzerindeki ilişkisinin incelenmesi amacıyla planlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Evren ve Örneklem

Üniversite öğrencilerinin sürdürülebilir beslenme konusundaki bilgi ve davranışlarını belirlemek amacıyla planlanan bu kesitsel çalışmanın evrenini Bahçeşehir Üniversitesinde lisans düzeyinde eğitimine devam eden öğrenciler (n= 12777) oluşturmaktadır. Örneklem sayısı % 90 güven aralığı ve % 5 hata payı olarak değerlendirildiğinde en az 265 olarak hesaplanmıştır ve rastgele örnekleme yöntemi seçilmiştir. Çalışmanın dahil olma kriterleri Mayıs-Aralık 2021 tarihleri arasında Bahçeşehir Üniversitesinde lisans düzeyinde eğitime devam ediyor olmak, 18 yaş ve üzeri olmak, internet erişimi olmak; dışlanma kriterleri ise besin seçimlerini etkileyecek hastalığı ve ilaç kullanımı olmak, uluslararası öğrenci olarak belirlenmiştir. Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır. Çalışmaya bu kriterleri sağlayan 412 öğrenci katılmıştır. Tekrarlayan ya da eksik cevaplı katılımcılar çalışmadan dışlanmış ve sonuç olarak çalışma 268'i kadın 87'si erkek olmak üzere toplam 355 kişi ile tamamlanmıştır.

### 2.2. Araştırma Etiği ve Standartlarına Uyum

Bu çalışma için, Bahçeşehir Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan 10.02.2021 tarihli 2021/02 sayılı izin alınmıştır. Çalışmanın gönüllü onam bilgilendirmesi doldurulacak olan online anketin ilk kısmında yer almaktadır. Çalışmaya katılmayı kabul edenler gönüllü onam kısmında yer alan "kabul ediyorum" kutusunu işaretlemeleri durumunda ankete başlayabilecekleri bir sistem ile ankete gönüllü olarak katılabilmişlerdir. Çalışma süresince gizlilik, gizliliğin korunması, özerkliğe saygı gibi etik prensiplere uygun hareket edilmiştir.

### 2.3. Anket Formu

Sürdürülebilir beslenme davranışı ve bilgi düzeyini ölçmeye yönelik herhangi bir Türkçe ölçek bulunmadığından bu bilgileri değerlendirmek için hazırlanan anket soruları araştırmacılar tarafından ilgili literatür taranarak oluşturulmuştur (Alsaffar, 2016; Auestad ve Fulgoni, 2015; FAO, 2010; Johnston ve ark., 2014; Willett ve ark., 2019). Çalışma öncesi anket, 25 gönüllü öğrenci üzerinde test edilmiştir ve nihai hali oluşturulduktan sonra anket üniversite öğrencilerine öğrenci dekanlığı e-mail sistemi ile iletilmiştir.

Çalışmada, 4 bölümden oluşan anket formu ile öğrencilerin genel bilgileri, besin seçim testi (BST), sürdürülebilir beslenme ile ilişkili davranışlar ve sürdürülebilir beslenme bilgi düzeyi ile ilgili veriler elde edilmiştir.

Öğrencilerin yaşı, cinsiyeti, okuduğu bölüm, yaşadığı ortam ve hane gelir durumu ile ilgili bilgiler genel bilgiler kısmında sorgulanmıştır. Öğrencilerin okudukları bölümler 3 başlık altında karşılaştırılmıştır; Beslenme ve diyetetik bölümü, sağlık bilimleri

fakültesi diğer bölümleri (Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Hemşirelik, Çocuk Gelişimi) ve diğer fakülte bölümleri (Diş Hekimliği Fakültesi, Eğitim Bilimleri Fakültesi, Hukuk Fakültesi, İletişim Fakültesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Konservatuvar, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri, Tıp Fakültesi).

Sürdürülebilir beslenme ile ilişkili davranışları ölçmek için 5'li likert tipinde (Hiçbir zaman, Nadiren, Bazen, Genellikle, Her zaman) 19 madde hazırlanmıştır. Öğrencilerden bu ifadeler için kendilerine en uygun cevabı vermeleri istenmiştir. Sürdürülebilir beslenme ile ilişkili davranışa en uygun olmayan ölçütten (Hiçbir zaman) en uygun ölçüte (Her zaman) doğru sırasıyla 1,2,3,4,5 puan verilmiştir ve katılımcıların sürdürülebilir beslenme davranış puanı hesaplanmıştır. Bu kısımdan alınabilecek en yüksek puan 95'tir. Tüm öğrencilerin (n=355) sürdürülebilir beslenme davranışı ölçülmüştür.

Sürdürülebilir beslenme bilgi düzeyini ölçmek için 5'li likert tipinde (Kesinlikle Katılmıyorum, Katılmıyorum, Kararsızım, Katılıyorum, Tamamen Katılıyorum) 21 madde hazırlanmıştır. Öğrencilerden bu ifadeler için kendilerine en uygun cevabı vermeleri istenmiştir. Sürdürülebilir beslenme bilgisine en uygun olmayan ölçütten (Kesinlikle katılmıyorum) en uygun ölçüte (Tamamen katılıyorum) doğru sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 puan verilmiştir. Bu kısımda yer alan üç madde ters puanlandırılmıştır ve katılımcıların sürdürülebilir beslenme bilgi puanı hesaplanmıştır. Bu kısımdan alınabilecek en yüksek puan 105'tir. Sürdürülebilir beslenme terimini daha önceden duymayan öğrencilerin (n = 180) sürdürülebilir beslenme bilgisi ölçülmemiştir.

Sürdürülebilir beslenmeye dikkat etme durumu için öğrencilere 5'li likert tipinde bir soru sorulmuştur. "Hiç dikkat etmiyorum" seçeneğinden "Çok dikkat ediyorum" seçeneğine doğru sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 puan verilmiştir. Bu soru sadece sürdürülebilir beslenme terimini daha önceden duyan öğrencilere (n = 175) sorulmuştur.

Besin Seçim Testi (FCQ: Food Choice Questionnaire), 1995 yılında Stepteo ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olup (Stepteo, 1995) ölçeğin Türkçe validasyonu ise Dikmen ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılmıştır. (Dikmen ve ark., 2016). BST, 36 madde ve 9 alt boyuttan (sağlık, ruh hali, kolaylık, duysal çekicilik, doğal içerik, fiyat, ağırlık kontrolü, aşinalık ve etik kaygı) oluşan 4'lü likert tipte (çok önemli değil, biraz önemli, orta derecede önemli, çok önemli) bir ölçektir.

### 2.4. İstatistiksel Analizler

Verilerin analizi için IBM SPSS 22 versiyonu programı kullanılmıştır (IBM, 2013). Araştırmada verilerin karşılaştırmalarında Independent Sample T-Test, One way ANOVA, Mann Whitney U Testi, Pearson Ki-Kare analizi kullanılmıştır. BST'nin, sürdürülebilir beslenme bilgi ve davranış puanlarına etkisi araştırılırken Çoklu Regresyon analizinden faydalanılmış olup, sürdürülebilir beslenme bilgi ve davranış puanları arasındaki ilişki için ise Pearson Korelasyon analizi kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistiklere ilişkin; frekans (n) ve yüzde (%), minimum-maksimum, ortalama, standart sapma değerlerine yer verilmiştir. İstatistiksel anlamlılık p<0.05 olarak belirlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Genel Özellikler

Lisans düzeyinde eğitimine devam eden öğrencilerin sürdürülebilir beslenme hakkındaki davranışlarının ve bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi ile bunların besin tercihleri üzerindeki ilişkisinin incelenmesi amacıyla kesitsel olarak planlanan bu çalışmada, çalışmaya yaşları 18 ile 35 yıl ( $20.9 \pm 2.7$ ) arasında değişen 268'i (% 75.5) kadın, 87'si (% 24.5) erkek olmak üzere toplam 355 öğrenci katılmıştır. Öğrencilerin % 28.2'si beslenme ve diyetetik, % 4.8'si sağlık bilimleri fakültesi

beslenme ve diyetetik harici bölümler, % 67.1'i diğer fakülte bölümleri (% 26.5 mühendislik ve doğa bilimleri, % 13.2 İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler ve % 27.3 diğer bölümler) öğrencisidir. Öğrencilerin % 68.2'sinin evde aile ile birlikte yaşadığı, % 53.8'inin gelirinin giderinden yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrencilerin genel özellikleri

	Kadın (n=268)	Erkek (n=87)	Toplam (n=355)	P*
	n (%)	n (%)	n (%)	
<b>Okunan Bölüm</b>				<b>&lt;0.001</b>
Beslenme ve Diyetetik	96 (35.8)	4 (4.6)	100 (28.2)	
SBF-Diğer Bölümler	12 (4.5)	5 (5.8)	17 (4.8)	
Diğer Fakülte Bölümleri	160 (59.7)	78 (89.7)	238 (67.1)	
<b>Yaşanılan Ortam</b>				0.111
Evde aile ile birlikte	192 (71.6)	50 (57.5)	242 (68.2)	
Evde arkadaşlar ile birlikte	16 (6.0)	11 (12.6)	27 (7.6)	
Evde tek başına	30 (11.2)	14 (16.1)	44 (12.4)	
Yurtta	25 (9.3)	10 (11.5)	35 (9.9)	
Diğer	5 (1.9)	2 (2.3)	7 (2)	
<b>Hane gelir durumu</b>				0.396
Gelir > Gider	140 (52.4)	51 (58.6)	191 (53.8)	
Gelir = Gider	98 (36.6)	30 (34.5)	128 (36.1)	
Gelir < Gider	30 (11.2)	6 (6.9)	36 (10.1)	

\*Pearson Ki-Kare Analizi

### 3.2. Sürdürülebilir Beslenme Terimini Duyma Durumu

Öğrencilerin % 49.3'ünün sürdürülebilir beslenme terimini daha önceden duyduğu ve en çok % 33.2'sinin bu terimi sosyal medyadan duyduğu saptanmıştır. Sürdürülebilir beslenme terimini daha önceden duymayan öğrencilerin % 74.4'ü (n:134) sürdürülebilir beslenme ile ilgili bilgi edinmek istediğini ve bu bilgiyi en çok % 24.1 ile sağlık profesyonellerinden edinmek istedikleri saptanmıştır (Tablo 2). Çeşitli popülasyonlarla yürütülen çalışmalarda sürdürülebilir beslenme terimini duyma sıklıklarının çok değişken olduğu görülmektedir; Gülsöz (2017) tarafından 20 yaş ve üzeri bireylerde yapılan çalışmada katılımcıların % 24.3'ünün, Özen Ünal (2019) tarafından diyetisyen ve diyetisyen adayları ile yapılan çalışmada katılımcıların % 54.9'unun, Akay (2020) tarafından sağlık alanında öğrenim gören üniversite öğrencileri ile yapılan çalışmada katılımcıların % 40.9'unun, Garipoğlu ve Çakır (2020) tarafından yetişkin bireylerde yapılan çalışmada ise katılımcıların % 35.6'sının daha önceden sürdürülebilir beslenme terimini duyduğu saptanmıştır. Beslenme ve sağlık ile ilgili popülasyonlarda sürdürülebilir beslenme terimi farkındalığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Fakat bu çalışmada öğrencilerin % 67'sinin diğer fakültelerde öğrenim görmesine rağmen sürdürülebilir beslenme terimi farkındalığının literatürdeki diğer çalışmalardan daha yüksek olması, sürdürülebilir beslenmenin yıllar geçtikçe bilinirliğinin artması ve daha güncel bir çalışmanın sonucu olması olarak

yorumlanabilir. Bu çalışmada sürdürülebilir beslenme teriminin en çok % 33.2 ile sosyal medyadan duyulmuş olması da bu sonucu desteklemektedir. Ayrıca sürdürülebilir beslenme terimini duymayan öğrencilerin % 74.4'ünün sürdürülebilir beslenme ile ilgili bilgi edinme isteğinin olması, çalışmamızdaki üniversite öğrencilerinin konuya verdikleri önemi göstermektedir. Sürdürülebilir beslenmenin gelecek nesiller için önemi düşünüldüğünde genç popülasyonların sürdürülebilir beslenme hakkındaki düşünce ve davranışlarını anlamak çok önemlidir. Benzer şekilde, yapılan başka bir çalışmada da üniversite öğrencilerinin sürdürülebilir beslenme terimini % 44.8 ile medyadan duyduğu ve %79.30'unun sürdürülebilir beslenme ile ilgili eğitim almak istedikleri bulunmuştur (Akay, 2020). Bir diğer çalışmada ise en çok sırasıyla sağlık profesyonellerinden ve sosyal medyadan sürdürülebilir beslenmenin duyulduğu saptanmıştır (Garipoğlu ve Çakır, 2020). Yapılan bir çalışmada, sosyal medyanın sürdürülebilirlik uygulamalarını yaymak için güçlü bir araç olduğu belirtilmektedir (Gori ve ark., 2020). Dolayısıyla, sosyal medya sürdürülebilir beslenme teriminin duyurulmasına büyük katkı sağlayabilir.

Tablo 2. Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme terimini duyma durum ve bilgi edinme istekleri

Sürdürülebilir beslenme terimini;	n (%) (n=355)	Sürdürülebilir beslenme terimi duymayanlarda*;	n (%) (n=180)
<b>Duyuma durumu</b>		<b>Bilgi edinme isteği *</b>	
Evet	175 (49.3)	Evet	134 (74.4)
Hayır	180 (50.7)	Hayır	46 (25.6)
<b>Duyuma kaynağı<sup>a</sup></b>		<b>Bilginin edinilmek istendiği kaynak<sup>*,a</sup></b>	
Kitap, gazete, dergi	58 (14.4)	Kitap, gazete, dergi	55 (14.2)
Lisans eğitiminde aldığı dersler, Eğitimler	47 (11.6)	Lisans eğitiminde aldığı dersler, Eğitimler	56 (14.5)
Bilimsel makalelerden	57 (14.1)	Bilimsel makalelerden	60 (15.5)
Televizyon	38 (9.4)	Televizyon	35 (9.1)
Sosyal Medya	134 (33.2)	Sosyal Medya	87 (22.5)
Sağlık Profesyonellerinden	63 (15.6)	Sağlık Profesyonellerinden	93 (24.1)
Diğer	7 (1.7)		

\* Hayır cevabını veren öğrenciler n=180

<sup>a</sup> Çoklu cevap verilmiştir

### 3.3. Sürdürülebilir Beslenme Davranış ve Bilgi Durumu

Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme davranış puan ortalaması  $66.1 \pm 13.2$  olarak saptanmıştır. En yüksek puan ortalamasını “Tabağıma tüketebileceğim kadar gıda almaya dikkat ederim” maddesi  $4.4 \pm 0.9$  olarak almıştır ve öğrencilerin bu maddeye “genellikle” yönünde cevap verdikleri tespit edilmiştir, en düşük puan ortalamasını ise “İthal besin tüketmemeye dikkat ederim” maddesi almıştır. Bu maddeye  $2.2 \pm 1.1$  puan ortalaması ile “nadiren” yönünde cevap verilmiştir (Tablo 3). Öğrencilerin genellikle israf ve gıda artığı oluşturmamaya ve artıklarını değerlendirmeye yönelik davrandıkları bulunmuştur. Bir gıda israf edildiği zaman, sera gazı emisyonuna etkisinden dolayı gıda üretimi ve tüketiminden kaynaklanan çevresel etkileri daha da artmaktadır (FAO, 2011). Öğrencilerin bu konudaki dikkatlerinin yüksek olması gıdaların çevresel etkisinin azalmasına katkı sağlayabilir. En az önem verilen davranış ise ithal besin tüketimine yönelik olmuştur. Üretim ve tüketim noktaları arasında mesafenin azalmasının daha az sera gazı emisyonuna neden olabileceği görüşü olduğu gibi gıdanın sera gazı emisyonunun büyük çoğunluğunun üretim aşamasında oluştuğunu, gıda milinden kaynaklanan önemsiz olduğunu, gıdanın taşındığı uzaklıktan çok nasıl taşındığının daha önemli olduğunu belirten görüşler de bulunmaktadır (Lee ve ark., 2017; Weber ve Matthews, 2018). Öğrencilerin bu konudaki davranış puanının düşük olması bu konudaki bilgilerin de tartışmalı olmasından ya da öğrencilerin bu konuda yeterli fikirleri olmamasından kaynaklanabilir.

Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme bilgi puan ortalaması  $82.6 \pm 8.6$  olarak saptanmıştır. En yüksek puan ortalamasını

“Sürdürülebilir beslenme kişinin besin ögesi ihtiyaçlarını karşılamalı ve sağlıklı yaşamı desteklemelidir” maddesi  $4.7 \pm 0.6$  olarak almıştır öğrencilerin bu maddeye “Kesinlikle Katılıyorum” yönünde cevap verdikleri tespit edilmiştir; en düşük puan ortalamasını ise “Tahıl ürünlerinin (ekmek, bulgur, makarna vb.) tüketiminin çevresel etkisi fazladır” maddesi  $2.9 \pm 1.1$  puanı ile öğrencilerin “Kararsızım” yönünde cevap verdikleri tespit edilmiştir (Tablo 3). Öğrenciler sürdürülebilir beslenmenin içeriğini sağlıklı beslenme açısından doğru tanımlamışlardır. Ayrıca besine ulaşım kolaylığı, israf, üretim aşamaları ve gıda kaybı ile sürdürülebilir beslenme arasındaki ilişkiyi doğru tanımlamışlardır. Öğrencilerin bu konulardaki bilgi düzeylerinin yüksek olması sürdürülebilir beslenmeye olumlu katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, öğrencilerin tahıl ürünlerinin ve kurubaklagil tüketiminin çevresel etkisi konusundaki bilgi düzeylerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Tahıl ve kurubaklagillerin hayvansal kaynaklı ürünlere göre çevre üzerinde daha az bir yük oluşturduğu konusunda öğrenciler bilgilendirilmelidir (Clune ve ark., 2017).

Tablo 3. Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanı ile madde puan ortalamaları

Sürdürülebilir Beslenme			
Davranış Puanı ortalaması (n=355)	66.1±13.2	Bilgi Puanı ortalaması (n=175)	82.6±8.6
Maddeler	Ort.±SS.	Maddeler	Ort.±SS.
Mevsiminde besin tüketmeye dikkat ederim.	3.7±1.1	Sürdürülebilir beslenmenin çevresel etkileri düşük olmalıdır.	4.1±1.0
Yerel besin tüketmeye dikkat ederim.	3.1±1.1	Sürdürülebilir beslenme ekonomik olmalıdır.	4.2±0.8
İşlenmiş besin tüketmemeye dikkat ederim. (salam, sosis, çikolata, cips vb.)	3.0±1.2	Sürdürülebilir beslenme ulaşılabilir olmalıdır.	4.5±0.6
İthal besin tüketmemeye dikkat ederim.	2.2±1.1	Sürdürülebilir beslenme kültürel olarak kabul edilebilir olmalıdır.	3.7±1.1
Besinleri israf etmemeye dikkat ederim.	4.3±0.9	Sürdürülebilir beslenme kişinin besin ögesi ihtiyaçlarını karşılamalı ve sağlıklı yaşamı desteklemelidir.	4.7±0.6
Mutfak alışverişimi yerel pazarlardan yapmaya dikkat ederim.	3.0±1.2	Yerel besinlerin tüketimi sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	4.2±0.9
Gıda ambalaj atıklarını azaltmaya dikkat ederim.(paketli gıda ambalajları, cam şişe vb.)	3.3±1.3	Mevsiminde besin tüketmek sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	4.5±0.8
Besinlerin tarladan sofraya gelene kadar geçtiği işleme, depolama, soğutma, paketleme, nakliye süreçlerini düşünerek doğa dostu besinler satın almaya dikkat ederim.	2.8±1.3	Hayvansal kaynaklı besinler yerine bitkisel kaynaklı besinler tüketmek sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	3.9±1.1
Bir besini satın almadan önce gıda etiketini incelerim.	3.4±1.2	İşlenmiş besin tüketmemek sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	4.0±1.2
Tabağımda gıda artığı bırakmamaya dikkat ederim.	4.2±1.0	İthal besin tüketmemek sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	3.4±1.2
Tabağıma tüketebileceğim kadar gıda almaya dikkat ederim.	4.4±0.9	Sürdürülebilir beslenme maliyetli değildir.	3.1±1.1
Gıda artıklarını değerlendirmeye (bir sonraki öğünde tüketmek, hayvanlara vermek, kompost yapmak vb.) dikkat ederim.	4.2±1.1	Besinleri israf etmemek sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	4.5±0.8
Genellikle hayvansal kaynaklı besinler yerine bitkisel kaynaklı besinler tüketirim.	2.8±1.2	Enerji içeriği düşük besin içeriği yüksek besinler sürdürülebilir beslenmeyi destekler	3.4±1.0
Tükettiğim besinlerin çevresel etkisinin az olmasına dikkat ederim.	2.8±1.2	Besin üretim süreçlerinin sera gazı üzerindeki etkisi vardır.	4.3±0.8
Kabuklarını soymam gereken sebzelerin ve meyvelerin kabuklarını ince soymaya dikkat ederim.	3.7±1.3	Besinlerin tarladan sofraya gelene kadar geçtiği işleme, depolama, soğutma, paketleme, nakliye süreçlerinin çevre üzerinde etkisi vardır.	4.5±0.7
Bir besini pişirirken iyi değerlendirmeye çalışırım, o besinden en az atıkla yemek yaparım.	3.7±1.2	Et ve ürünlerinin tüketiminin çevresel etkisi fazladır.	4.1±1.1
Artan yemekleri değendiririm, çöpe atmam.	3.9±1.1	Süt ve ürünlerinin tüketiminin çevresel etkisi fazladır.	3.9±1.0
İhtiyacım kadar satın almak için alışverişe liste ile giderim.	3.7±1.3	Sebze ve meyvelerin tüketiminin çevresel etkisi fazladır.	3.1±1.2

Hazır gıdalar tüketmek yerine evde pişirilmiş taze gıdaları tüketmeye dikkat ederim.	3.8±1.0	Tahıl ürünlerinin (ekmek, bulgur, makarna vb.) tüketiminin çevresel etkisi fazladır.	2.9±1.1
		Kurubaklagil (nohut, kurufasulye,mercimek vb.) tüketiminin çevresel etkisi fazladır.	3.0±1.1
		Besin kayıp ve atıklarının azaltılması sürdürülebilir beslenmeyi destekler.	4.5±0.7
Bilgi puanı			
Davranış puanı	r=0.405, p=0.001*		

\*Pearson Korelasyon Analizi

Öğrencilerin sürdürülebilir beslenme bilgi puanı ile sürdürülebilir beslenme davranış puanı arasında ise orta seviyede, pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ( $r = 0.405$ ,  $p = 0.001$ ) (Tablo 3). Torabian-Riasati ve arkadaşları (2017) tarafından lisans öğrencileri üzerinde yapılan bir çalışmada, benzer şekilde sürdürülebilir beslenme bilgi ve tutum arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Kurumsal şirket çalışanlarında yapılan başka bir çalışmada sürdürülebilir beslenme bilgisi ile davranışı arasında yüksek seviyede, pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Atar, 2021). Başka bir çalışmada da sürdürülebilirlik bilgi düzeyi arttıkça sürdürülebilir tüketim davranışının da arttığı bulunmuştur (Ateş, 2018). Sürdürülebilir beslenme bilgi düzeyi davranışları etkilemektedir. Bireylerin bilgi düzeyinin artması sağlanabilirse sürdürülebilir beslenmeye dikkat etme durumu da artacağından daha sürdürülebilir diyetlerin yaygınlaşması olasıdır. Geleceğin tüketicileri ve karar vericileri olan üniversite öğrencilerinin sürdürülebilirliği destekleyen bireysel beslenme alışkanlıkları kişisel ve sosyal çevrelerine olumlu etkide bulunabilmekte ve beslenme sisteminin sürdürülebilir gelişimine aktif olarak katkıda bulunabilmektedir (UNESCO, 2014).

### 3.4. Sürdürülebilir Beslenme Davranış ve Bilgi Puanının Cinsiyet ve Bölümlere Göre Karşılaştırılması

Sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanlarının cinsiyet, bölüm ve gelir düzeyine göre farklılıkları Tablo 4'de gösterilmektedir. Sürdürülebilir beslenme davranış puanı kadınlarda erkeklere göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ( $p = 0.001$ ), fakat okunan bölüm ve gelir düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p = 0.110$ ). Sürdürülebilir beslenme bilgi puanı kadınlarda daha yüksek olsa da bu istatistiksel açıdan anlamlı değildir ( $p=0.135$ ), bölümler ve gelir durumu arasında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ) (Tablo 4).

Atar'ın (2021) kurumsal şirket çalışanlarında yaptığı çalışmada sürdürülebilir beslenme ile ilgili hem davranış hem de bilgi düzeyi kadınlarda daha yüksek bulunmuştur. Üniversite

öğrencileri üzerinde yapılan başka bir çalışmada da sürdürülebilir beslenme bilgi puanı kadınlarda daha yüksek saptanmıştır (Yüksel ve Önal, 2021). Kadınların erkeklere göre çevre konusunda daha fazla endişe duymakta olduğu ve bu endişelere göre hareket etmeye daha yatkın oldukları belirtilmektedir (Luchs ve Mooradian, 2012; Strapko ve ark., 2016). Diğer taraftan lisans öğrencileri ile yapılan benzer bir çalışmada ise cinsiyetin bilgi düzeyinde bir farklılık oluşturmadığı bulunmuştur (Torabian-Riasati ve ark., 2017). Bu güncel çalışmada cinsiyetler arası bu farklılık katılımcıların büyük çoğunluğunun (%75.5) kadın olmasından kaynaklanabilir.

Bu güncel çalışmada, sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanı ile okunan bölüm arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ). Yapılan bir çalışmada çevreye duyarlı beslenme bilgisinin beslenme ve diyetetik bölümü öğrencilerinde daha fazla olduğu bulunmuştur (Cambaz, 2021). Başka bir çalışmada da sosyal bilimlerde okuyan öğrencilere göre beslenme ve sağlık bölümleri öğrencilerinin gıda sürdürülebilirliği bilgisi anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Torabian-Riasati ve ark., 2017). Beslenme ve diyetetik bölümü mezunu olan diyetisyenler sürdürülebilir beslenmeye olan ilgiyi arttırmayı sağlayabilecek önemli bir meslek grubudur. Bu ilginin artması sağlanabilirse sürdürülebilir beslenme, ulusal ve uluslararası beslenme kılavuzlarında kendine daha fazla yer bulabilme olasılığına sahip olabilir (Fischer ve Garnett, 2016).



Tablo 4. Sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanının cinsiyet ve bölümlere göre karşılaştırılması

Faktörler	Sürdürülebilir Beslenme					
	Davranış Puanı (n=355)			Bilgi Puanı (n=175)		
	n	Ort.±SS.	p	n	Ort.±SS.	p
<b>Cinsiyet</b>						
Kadın	268	68.1±13.0	<b>0.001<sup>a</sup></b>	147	83.0±8.5	0.135 <sup>a</sup>
Erkek	87	60.1±11.8		28	80.4±8.8	
<b>Okunan Bölüm</b>						
Beslenme ve Diyetetik	100	68.3±12.8	0.110 <sup>b</sup>	63	82.8±9.4	0.858 <sup>b</sup>
SBF-Diğer Bölümler	17	67.2±14.0		7	84.0±7.7	
Diğer Fakülte Bölümleri	238	65.1±13.2		105	82.4±8.2	
<b>Hane gelir durumu</b>			0.980 <sup>b</sup>			0.419 <sup>b</sup>
Gelir > Gider	191 (53.8)	66.1±12.8		91 (52)	81.9±8.5	
Gelir = Gider	128 (36.1)	66.0±13.2		70 (40)	82.9±9.0	
Gelir < Gider	36 (10.1)	66.5±15.3		14 (8)	84.9±6.5	

SBF: Sağlık Bilimleri Fakültesi. <sup>a</sup>Independent Sample T-Test, <sup>b</sup>One Way ANOVA testi

### 3.5. Sürdürülebilir Beslenmeye Dikkat Etme Durumu İle Sürdürülebilir Beslenme Davranış ve Bilgi Puanlarının Karşılaştırılması

Öğrencilerin kendi bildirdikleri sürdürülebilir beslenmeye dikkat etme durumu ile sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi

Tablo 5. Sürdürülebilir beslenmeye dikkat etme durumu ile sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanlarının karşılaştırılması

Sürdürülebilir beslenmeye dikkat etme durumu	Sürdürülebilir Beslenme (n=175)					
	Davranış Puanı			Bilgi Puanı		
	n	Ort.±SS.	p	n	Ort.±SS.	P
Çok dikkat ediyorum	9	79.8±9.3	<b>0.001</b>	9	88.0±8.2	<b>0.024</b>
Dikkat ediyorum	75	73.3±11.5		75	84.0±8.4	
Ne dikkat ediyorum, ne etmiyorum	61	68.9±10.4		61	81.5±8.2	
Az dikkat ediyorum	23	63.8±13.8		23	80.5±8.2	
Hiç dikkat etmiyorum	7	55.7±8.9		7	76.7±11.5	

One Way ANOVA testi

### 3.6. Sürdürülebilir Beslenme Davranış ve Bilgi Durumlarının Besin Seçimlerine Etkisi

Sürdürülebilir beslenme davranış puanının, besin seçiminde sağlık, ruh hali, doğal içerik, ağırlık kontrolü ve etik endişe alt boyutları üzerinde 0.05 anlamlılık düzeyinde etkili olduğu bulunmuştur. Sürdürülebilir beslenme davranışında bir birimlik artışının sağlık üzerinde 0.030 birimlik artışa, ruh hali üzerinde 0.017 birimlik artışa, doğal içerik üzerinde 0.036 birimlik artışa, ağırlık kontrolü üzerinde 0.021 birimlik artışa, etik endişe üzerinde 0.034 birimlik artışa neden olduğu saptanmıştır. Sürdürülebilir beslenme bilgi puanının, besin seçiminde kolaylık, fiyat ve ağırlık kontrolü alt boyutları üzerinde 0.05 anlamlılık düzeyinde etkili olduğu bulunmuştur. Sürdürülebilir beslenme bilgi düzeyinde bir birimlik artışın kolaylık üzerinde 0.014 birimlik artışa, fiyat üzerinde 0.015 birimlik artışa, ağırlık kontrolü üzerinde 0.018 birimlik azalışa neden olduğu saptanmıştır (Tablo 6).

puanları arasında anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ( $p < 0.05$ ). Sürdürülebilir beslenmeye çok dikkat ettiğini belirten öğrencilerin sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanı en yüksek bulunmuştur (Tablo 5). Yapılan bir çalışmada da sağlıklı beslendiğini düşündüğünü belirten katılımcıların sürdürülebilir beslenme davranış puanı daha yüksek bulunmuştur (Atar, 2021).

Mevcut gıda üretim ve tüketim şekilleri, çevresel bozulmanın ana nedenleri arasındadır (Ruini ve ark., 2016). Sürdürülebilir beslenme, gıda sistemlerindeki kayıpları ve israfı azaltmanın yanı sıra, aşırı tüketimi azaltmak ve daha düşük çevresel etkilere sahip besleyici diyetlere geçişi kolaylaştırmak için diyet tercihlerinde yapılan değişiklikleri içeren bir kavramdır. Sürdürülebilir beslenme sistemleri içinde yeterli beslenmeyi sağlamak küresel olarak da çok önemlidir (Alsaffar, 2016). Besin seçimleri doğrudan sağlığı etkilerken, genel anlamda beslenme de çevreyi etkilemektedir. Fakat, gençlerin beslenmenin çevresel etkilerini bilmedikleri de tespit edilmiştir (Dornhoff ve ark., 2020; Willett ve ark., 2019). Bizim çalışmamıza benzer bir çalışmada üniversite öğrencilerinde gıdaların çevreye hiçbir etkisi olmadığını düşünenlerin sıklığı kadınlarda ve erkeklerde sırasıyla % 48.2 ve % 71.2 olarak bulunmuş ve yazarlar öğrencilerin sürdürülebilir beslenmeye dayalı beslenme ve çevre ilişkisi hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaçları olduğunu bildirmişlerdir (Yüksel ve Önal, 2021). Diğer yandan, çevreyi önemsemeyen daha duyarsız bireylerin genç, erkek cinsiyette, daha düşük gelirli veya daha

düşük eğitim düzeyine sahip olanlar olduğu belirlenmiştir (Gilg ve ark., 2005). Bizim çalışmamızda ise öğrenciler besin üretim ve tüketimine kadar olan süreçlerin çevre üzerine etkisi olduğunu doğru tanımlamışlardır. Bizim çalışmamızın genç, yüksek gelir ve

eğitim düzeyinde olan vakıf üniversitesi öğrencilerinde yapılmış olması da katılımcıların sürdürülebilir beslenme davranışlarının literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olmasında etken olabilir.

Tablo 6. Sürdürülebilir beslenme davranış ve bilgi puanlarının besin seçim testine etkisi

Besin Seçim Testi	Sürdürülebilir Beslenme			
	Davranış Puanı (n=355)		Bilgi Puanı (n=175)	
Alt Boyutları	$\beta$	p	$\beta$	P
Sağlık	<b>0.030</b>	<b>0.001</b>	-0.007	0.248
Ruh Hali	<b>0.017</b>	<b>0.001</b>	-0.005	0.508
Kolaylık	0.003	0.511	<b>0.014</b>	<b>0.036</b>
Duyusal Çekicilik	0.006	0.156	0.005	0.449
Doğal İçerik	<b>0.036</b>	<b>0.001</b>	-0.007	0.326
Fiyat	0.006	0.212	<b>0.015</b>	<b>0.040</b>
Ağırlık Kontrolü	<b>0.021</b>	<b>0.001</b>	<b>-0.018</b>	<b>0.020</b>
Aşinalık	0.010	0.042	0.001	0.883
Etik Endişe	<b>0.034</b>	<b>0.001</b>	-0.008	0.236

Çoklu regresyon analizi

### 3.7.Çalışmanın Kısıtlılıkları

Bu çalışmanın bir takım sınırlılıkları mevcuttur. Öncelikle tek merkezli bir çalışma olduğundan elde edilen sonuçlar tüm üniversite öğrencilerine ve bir diğer tüm üniversite öğrencilerine genellenemez. Öğrencilerin büyük çoğunluğunu kadınlardan oluşması cinsiyetler arası karşılaştırmaları etkilemiş olabilir. Çalışma COVID-19 pandemisi döneminde yapıldığı için online anket yöntemi seçilmiştir, veriler kişisel beyana dayanmaktadır. Literatürde hem sürdürülebilir beslenme bilgi ve davranışı ölçeği hem de sürdürülebilir besin tercihi ölçeği güvenilir ve geçerli bir ölçek olmayışı çalışmanın sınırlı olduğu yönlerinden biridir.

## 4. Sonuç

Bu çalışma sürdürülebilir beslenme bilgi ve davranışların besin tercihleri üzerindeki etkisini inceleyen ilk çalışmadır. Sürdürülebilir beslenme bilgisi ile davranışları arasında pozitif ilişki olduğu saptanırken besin tercihlerinin sürdürülebilir beslenme bilgisi ve davranışından etkilendiği bulunmuştur. Dünyada giderek önem kazanan sürdürülebilir beslenme ile ilgili farkındalığın artmasının sağlanması ve bu konu hakkında politikalar geliştirilmesi, şu andaki ve gelecekteki nüfusun gereksinimlerinin karşılanabilmesi için gerekmektedir. Daha büyük ve çeşitli popülasyonlarda (sporcular, vejeteryenler, veganlar) sürdürülebilir beslenme ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

## Kaynakça

- Akay, G. (2020). *Sürdürülebilir beslenme ve çevre ilişkisi hakkında sağlık alanında öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alsaffar, A. A. (2016). Sustainable diets: The interaction between food industry, nutrition, health and the environment. *Food science and technology international*, 22(2), 102-111.

- Atar, A. (2021). *Kurumsal şirket çalışanlarının sürdürülebilir beslenme hakkındaki bilgi, tutum ve davranışlarının değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ateş, H. (2018). Fen Bilgisi ve Sosyal Bilimler öğretmen adaylarının sürdürülebilir tüketim davranışlarının ve bilgi düzeylerinin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 31(2), 507-531.
- Auestad, N. ve Fulgoni III, V. L. (2015). What current literature tells us about sustainable diets: emerging research linking dietary patterns, environmental sustainability, and economics. *Advances in Nutrition*, 6(1), 19-36.
- Cambaz, M. (2021). *Çevreye duyarlı beslenme ölçeğinin türkçe geçerlilik ve güvenilirliği*. (Yüksek Lisans Tezi). Yeditepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Carlsson L, Seed B, Yeudall F. (2020). *The role of dietitians in sustainable food systems and sustainable diets. toronto: dietitians of canada*. [https://www.dietitians.ca/DietitiansOfCanada/media/Documents/Resources/Sustainable-Food-Systems-Dietitians-Roles-\(Role-Paper\).pdf](https://www.dietitians.ca/DietitiansOfCanada/media/Documents/Resources/Sustainable-Food-Systems-Dietitians-Roles-(Role-Paper).pdf) Erişim tarihi: 10.03.2022
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766-783.
- Dikmen, D., İnan-Eroğlu, E., Göktepe, Z., Barut-Uyar, B., ve Karabulut, E. (2016). Validation of a Turkish version of the food choice questionnaire. *Food quality and preference*, 52, 81-86.
- Dornhoff, M., Hörschemeyer, A., & Fiebelkorn, F. (2020). Students' conceptions of sustainable nutrition. *Sustainability*, 12(13), 5242.
- FAO. (2010). Sustainable diets and biodiversity directions and solutions for policy, research and action. <https://www.fao.org/3/i3004e/i3004e.pdf>. Erişim tarihi: 05.02.2022.
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste—extent, causes and prevention*. <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf> adresinden edinilmiştir.

- Fischer, C. G. ve Garnett, T. (2016). *Plates, pyramids, and planets: developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: a state of play assessment*. Rome: FAO.
- Garipoğlu, G. ve Çakır, B. (2020). Investigation of Knowledge and Behaviour of Adult Individuals in Terms of Sustainable Nutrition. *Aurum Journal of Health Sciences*, 2(Supplement 1 (Congress issue)), 1-4.
- Gilg, A., Barr, S., & Ford, N. (2005). Green consumption or sustainable lifestyles? Identifying the sustainable consumer. *Futures*, 37(6), 481-504.
- Gori, E., Romolini, A., Fissi, S., ve Contri, M. (2020). Toward the dissemination of sustainability issues through social media in the higher education sector: evidence from an Italian case. *Sustainability*, 12(11), 4658.
- Gussow, J.D. ve Clancy, K. (1986). Dietary guidelines for sustainability. *J Nutr Educ*, 18(1), 1-5.
- Gülsöz, S. (2017). *Yirmi yaş ve üzeri bireylerin sürdürülebilir beslenme konusundaki bilgi düzeylerinin ve uygulamalarının değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güner, U. (2020). *Çevresel sürdürülebilirlik*. [https://books.google.com.tr/books?id=g9rNDwAAQBAJ&p rintsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?id=g9rNDwAAQBAJ&p rintsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) Erişim tarihi: 10.04.2022.
- Hedenus, F., Wirsenius, S., ve Johansson, D. J. (2014). The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic change*, 124(1), 79-91.
- IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2015). *Climate change 2014: mitigation of climate change*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_a r5\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_a r5_full.pdf) Erişim tarihi: 28.12.2021.
- Johnston, J. L., Fanzo, J. C., ve Cogill, B. (2014). Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. *Advances in nutrition*, 5(4), 418-429.
- Lee, G. E., Miller, S. R., ve Loveridge, S. (2017). Modelling local food policy and greenhouse gas emission due to transportation. *Journal of Regional Analysis and Policy*, 47(1100-2019-3673), 75-87.
- Luchs, M. G., ve Mooradian, T. A. (2012). Sex, personality, and sustainable consumer behaviour: Elucidating the gender effect. *Journal of Consumer Policy*, 35(1), 127-144.
- Macdiarmid, J. I., Kyle, J., Horgan, G. W., Loe, J., Fyfe, C., Johnstone, A., ve McNeill, G. (2012). Sustainable diets for the future: can we contribute to reducing greenhouse gas emissions by eating a healthy diet?. *The American journal of clinical nutrition*, 96(3), 632-639.
- Micha, R., Mannar, V., Afshin, A., Allemandi, L., Baker, P., Battersby, J., ... ve Grummer-Strawn, L. (2020). *2020 global nutrition report: action on equity to end malnutrition*. <https://globalnutritionreport.org/reports/2020-global-nutrition-report/> Erişim tarihi: 26.02.2022.
- Özen Ünal, G. (2019). *Diyetisyen ve diyetisyen adaylarının sürdürülebilir beslenme konusundaki bilgi ve tutumlarının değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ruini, L., Ciati, R., Marchelli, L., Rapetti, V., Pratesi, C. A., Redavid, E., & Vannuzzi, E. (2016). Using an infographic tool to promote healthier and more sustainable food consumption: the double pyramid model by barilla center for food and nutrition. *Agriculture and agricultural science procedia*, 8, 482-488.
- Sabaté, J. (2019). *Environmental Nutrition: Connecting Health and Nutrition with Environmentally Sustainable Diets*. Academic Press.
- Scheelbeek, P., Green, R., Papier, K., Knuppel, A., Alae-Carew, C., Balkwill, A., ... ve Dangour, A. D. (2020). Health impacts and environmental footprints of diets that meet the Eatwell Guide recommendations: analyses of multiple UK studies. *BMJ open*, 10(8), e037554.
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... ve Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519-525.
- Stephoe A., Pollard T.M., & Wardle J. (1995). Development of a measure of the motives underlying the selection of food: The food choice questionnaire. *Appetite*, 25(3), 267-284.
- Strapko, N., Hempel, L., MacIlroy, K., ve Smith, K. (2016). Gender differences in environmental concern: Reevaluating gender socialization. *Society & natural resources*, 29(9), 1015-1031.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2019). *Türkiye beslenme ve sağlık araştırması* (Sağlık Bakanlığı Yayın No:1132). [https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/TBSA\\_RAPOR\\_KITAP\\_20.08.pdf](https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/TBSA_RAPOR_KITAP_20.08.pdf) Erişim tarihi: 01.04.2022.
- Torabian-Riasati, S., Lippman, S.R., Nisnevich, Y. and Plunkett, S.W. (2017). Food Sustainability Knowledge and Its Relationship with Dietary Habits of College Students. *Austin J Nutri Food Sci*, 5(2): 1089.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2014). *UNESCO roadmap for implementing the global action programme on education for sustainable development*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230514> Erişim tarihi: 11.04.2022.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html> Erişim tarihi: 09.04.2022.
- Weber, C. L., ve Matthews, H. S. (2008). Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environmental Science & Technology*, 42(10), 3508-3513.
- Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A. G., de Souza Dias, B. F., ... ve Yach, D. (2015). Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386(10007), 1973-2028.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... ve Murray, C. J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492.
- Wiseman, S. A., Dötsch-Klerk, M., Neufingerl, N., ve de Oliveira Martins, F. (2019). Future Food: Sustainable Diets for Healthy People and a Healthy Planet. *International Journal of Nutrology*, 12(01), 023-028.

- Wyatt, M. A. (2015). *Sustainable diets: Understanding nutrition educators' perceptions* (Order No. 1591865). ProQuest Dissertations ve Theses Global veri tabanı. (1702769123).
- Yavuz, V. A. (2010). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri/Concept Of Sustainability And Sustainable Production Strategies For Business Practices. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 63-86.
- Yüksel, A. ve Özkul, E. 2021. Sürdürülebilir Diyet Modellerinin Değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 35(2), 467-481.
- Yüksel, A., & Önal, H. Y. (2021). Evaluation of University Students' Knowledge of and Practices for Sustainable Nutrition. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(2), 146-156.



# Yenilikçi Bir Uygulama Olarak Elektrikli Bisiklet Paylaşım Sistemlerinin İncelenmesi

Mehmet Çağrı Kızıldaş<sup>1\*</sup>, Yunus Emre Ayözen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-9428), [themacagri@yandex.com](mailto:themacagri@yandex.com)

<sup>2</sup> T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9394-1568), [yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr](mailto:yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr)

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 16 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1076641)

**ATIF/REFERENCE:** Kızıldaş, M. Ç. & Ayözen, Y. E. (2022). Yenilikçi Bir Uygulama Olarak Elektrikli Bisiklet Paylaşım Sistemlerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 271-275.

## Öz

Kentleşme ve motorlu taşıtlardaki artış karayolu trafik tıkanıklığı ve ilgili problemleri arttırmaktadır. Bu da ileri teknoloji bağlamında alternatif ve yenilikçi çözümleri tetiklemektedir. Türler arası entegrasyon ve dengeli türel dağılımın sağlanması gerekliliği ise bilinmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada ilk olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler eksenli olarak mevcut durum aktarılmış olup ardından ise elektrikli bisiklet paylaşım sistemleri incelenmiştir. Sonrasında batı şarj sistemi ve veri aktarımı konuları sırası ile sınanmıştır. Ardından bu bağlamda işletim performansı değerlendirilmiş olup son olarak da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kentleşme, dengeli türel dağılım, yenilikçi teknoloji

## A Review of Electrical Bicycle Sharing Systems as an Innovative Application

### Abstract

Urbanization and motorization increases encourage traffic congestion and related problems. This triggers alternative and innovative solution in the context of advanced technology. The necessity of providing balanced modal distribution and intermodal integration is a well-known issue. In this paper within this framework firstly existing case is expressed on axial of developing and developed countries and then electrical bicycle sharing systems are reviewed. After these battery charging system and data transfer processes are examined respectively. Later in this context operational performance is evaluated and lastly conclusions and recommendations are shared.

**Keywords:** Urbanization, balanced modal distribution, innovative technology

\* İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0001-9852-9428, [themacagri@yandex.com](mailto:themacagri@yandex.com)

## 1. Giriş

Gelişmiş paylaşım kullanımlı araç sistemleri son on yılda dünya geneline paralel olarak ortaya çıkmıştır. Araç paylaşımı bir paylaşımli kullanım araç tasnifi olup olgunlaşmış ve küresel ölçekte de ticarileşmiş bir vaziyettedir. Araç paylaşım tarihi, araç paylaşımı kullanıcıları için maliyet, esneklik ve erişilebilirliğin geliştirilmesine odaklanmak dâhilinde günlük araç kiralama ve taksi kullanımı arasında uygun bir şekilde paylaşımli araç kullanımı dâhilinde dokümanlaştırılmıştır. Çeşitli çalışmalar ise araç sahipliğini ve seyahat talebini azaltmak adına stratejiler vaat ettiğini de göstermektedir (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç., 2018).

Araç paylaşımı birçok yönü ile bisiklet paylaşımından farklı bir husus iken birçok genel işletimsel karakteristikler de ortaya konmaktadır. Özellikle de araç tahsisi zorlukları yapısaldir bilhassa da tek şeritli yönlü seyahatlerin baskın olduğu sistemler için bu durum daha da geçerli bir hal almaktadır. Filo boyutu ve araç dağıtımı muhtemelen en önemli işletimsel zorlukları teşkil etmektedir. Teknoloji, filo yönetimini desteklemektedir ve aynı zamanda da paylaşımli elektrikli araçların uygulanabilirliğini de geliştirmektedir. Otomat bisiklet ve bateriler ile istasyondan uzakta bisikletin güvenlik unsurları daha da karmaşıklaşan hususları ifade etmektedir. Sonuç olarak birçok ticari açıdan elverişli elektrikli bisiklet 2000 ABD dolarından fazla bir perakende değerine sahip olup bu da hırsızlıkları azaltmakta, varlık yönetimi ve uygun iş modeli geliştirilmesini daha önemli bir hale getirmektedir. Elektrikli bisikletlerin bisiklet paylaşım sistemlerine entegre edilmesi ile ilgili zorlukların çoğu halen havada kalan hususlara işaret etmektedir. Hâlihazırda geliştirilmesi gereken bir dizi işletimsel model bulunmakta olup henüz söz konusu bu modellere verilen dikkat ise yetersiz kalmaktadır (Altan, M.F. ve Kızıldaş, M.Ç., 2020). Bu tarz çalışmalar kapsamında paylaşımli bir sistemdeki elektrikli bisikletlerin yaygınlaşmasının çeşitli anahtar özellikleri değerlendirilmektedir. Eşsiz işletimsel gereksinimlere odaklanmakta, hâlihazırda üçüncü ya da dördüncü nesil bisiklet paylaşım sistemi tasarımları kapsamında elektrikli bisiklet paylaşımı için işletimlerin mahiyetini ve bir sistem mimarisini önermektedir. Batari yönetim gereksinimlerinin öncül bir analizi ise ortaya konulmuş olup nihai sonuçlar ve bir gelecek elektrikli bisiklet paylaşımı pilot uygulaması değerlendirilmektedir.

Bisiklet paylaşım sisteminde ısrarcı olmak ve düşük maliyetli mobil teknolojinin gelişimi dâhilindeki hırsızlık ve filo yönetimi kaynaklı zorluklar ise 3. nesil bisiklet paylaşım sistemlerinin ortaya çıkışını etkilemektedir. Elektrikli bisiklet paylaşımı araç paylaşımı sistemi kapsamı dâhilinde birçokları tarafından önerilmektedir ancak birçok da zorluğu ifade etmektedir. Özellikle de nispeten kısa mesafeler, gelişmiş filo yönetimi gerektiren yoğun abonman sistemleri dâhilinde nispeten uzun şarj süreleri ile birleştirilmektedir. İstasyonlarda artık daha uzun bir süre araç karşılamak yeterlilik söz konusu değildir ve fakat uygun bir şekilde şarj edilmiş olan araçlara ise gerek duyulmaktadır. Elektrikli bisiklet sistemleri ve mahiyeti önerilmektedir. Fakat az bir kısmı başarı ile uygulanmaktadır (Nair, R. vd. 2012).

Tipik bir elektrikli bisiklet paylaşım sistemi; bir bisikleti, otomat, şarj istasyonu ve destek sisteminden oluşmaktadır. Bir elektrikli bisiklet paylaşım sisteminin çekirdeği ve en maliyetli unsuru ise elektrikli bisiklet olmaktadır. Basit bir gerçek ise şudur ki baterilerin yeniden şar edilmesi gerekmektedir, elektrikli olmayan bisikletlere kıyaslan nispeten daha yüksek birim maliyetli bisikletlerle eşleştirilmekte olup ve de fakat istasyonlar dâhilindeki bir sistemi gerektirmektedir. Bisiklet tasarım

mahiyetleri ise ciddi çeşitlilikler arz etmemektedir ve fakat istasyonların tasarım unsurlarının tayininde ise baterinin sabit ya da hareketli olması anahtar bir unsuru teşkil etmektedir. Batari kullanımını ve dolayısı ile de şarj talebini önemli ölçüde etkileyebilen bir elektrikli bisiklet tasarım unsuru, elektrik enerjisinin kontrolünün bir yolunu da ifade etmektedir. İki öncül motor kontrol mahiyeti ise güç pedalı ve manüel çevirmedi. Pedal çevirme mahiyeti ise bir çevirme valfi vasıtası ile elektrikli motorun kontrolünü basitçe bir şekilde kullanıcıya devretmektedir. Elektrikli motor çıktısı ise gaz pedalının konumu ile orantılı olmaktadır. Bu söz konusu kontrol yöntemi tipik olarak bisikletliye herhangi bir pedal çevirme çabası sarf etmeyi gerektirmemektedir. Ve dolayısı ile de sürücünün sıhhi fayda teminini azaltmakta ve de elektrik enerjili destek mesafesini de kısaltmaktadır. Pedal destek bisikletleri pedal çevirme çabalarını ölçmek adına bir sensör içermektedir ve maksimum kullanıcı çabasını azaltmak ya da sınırlandırmak adına elektrik enerjisi ilave etmektedir. Bu söz konusu sistem ise pedal çevirmek adına sürücü için gereksinimleri saf dışı bırakmaksızın uzun mesafeler ve dik eğimlerin aşılması adına sürücüye de yardımcı olabilmektedir. Bu bağlamda da artan sürücü girdisi, elektrik destekli olarak alınan mesafeyi de arttırmakta ve hâlihazırda da sürücüye çeşitli sağlık faydaları temin etmeği de sürdürmektedir (Smith, D. vd. 2013).

Bir elektrikli paylaşım sistemindeki istasyonlar üç ana hedef dâhilinde hizmet vermekte olup bunlar ise fiziksel güvenlik, otomat ve şarjdan oluşmaktadır. Bu noktada ilk iki işlev ise istasyon bazlı, elektrikli olmayan bisiklet paylaşım sistemleri ile paylaşılmaktadır. İstasyon fiziksel olarak da bisikletleri korumalıdır. Bu da; kullanıcıların istasyona geri bıraktıklarında bisikletlerin manüel olarak güvenliğinin gerektiği yerlerde basit bir geleneksel bisikleti askılığı gibi olmalıdır. Bunun ile de beraber elektromekanik bir kilitleme sistemi geri dönüş sürecini basitleştirmekte ve bir bisikletin geri döndüğünü ve uygun bir şekilde güvenliğe alındığını doğrulamak adına bir fırsatı temin etmektedir (Cherry, C. ve He, M., 2010).

Hırsızlığa karşı güvenliğin temini süresince istasyonlar sistem kullanıcıları tarafından bisikletlere erişimi temin etmelidir. Bu bağlamda otomat sistemi bir kullanıcı tanımlamalıdır ve bir elektromanyetik kilidin açılması sureti ile tipik olarak bir bisiklete erişimi temin etmelidir. Bu söz konusu unsur işe dayalı işletimlerin kalbidir ve fatura kullanıcıları için gerekli veri kullanımını toplamaktadır. Otomat sisteminin aynı zamanda da geri döndüğünde bisikleti tanımlaması gerekmekte olup uygun bir şekilde güvenliğine onaylamalı ve de kullanıcının bisikleti geri bıraktığını da kaydetmelidir. Eğer ki söz konusu sistem birden fazla kullanıcıdan oluşuyor ise ve kullanıcının da bisikletini herhangi bir istasyonda bırakmasına imkân tanınmıyor ise herhangi bir istasyon, istasyonlar arası etkileşime bağlanmalıdır. Bu bağlantı; hücresel ya da telsiz internet teknolojisi kullanmak sureti ile oldukça kolay bir şekilde teşkil edilebilir ve fakat aynı zamanda da telli iletişim de kullanılabilir. Çok istasyonlu sistemdeki paylaşılabilir veri ise sistem boyunca geri dönüşlerin elverişliliği için hem yer ve hem de bisiklet temin etmek adına sistem boyunca bisikletlerin dağılımının izlenmesi adına kullanılabilir. İstasyonlar aynı zamanda da kullanıcıya, gerekli iyileştirmeleri temin etmek adına otomatikleştirilmiş ve sıra bakım personelinin kaynaklı hizmet veremez durumdaki bisikletlerin önlenmesi bisiklet hizmet verilebilirliği hakkında bilgi girişi için kullanıcıya imkân tanımaktadır. Bu söz konusu çekirdek işlevlerine ilaveten ise istasyonlar aynı zamanda, sistemi hava koşullarından korumak ve güvenli aydınlatmayı temin etmek

adına bir üst kaplama örtüsü de içerebilmektedir (Gleason, R. ve Miskimins, L., 2012)

Otomobile ve petrole bağımlılığın sürekli arttığı karayolu temelli büyüyen kentsel sistemlerde alternatif çözümler yoğun bir şekilde aranmaktadır. Bu noktada hem otomobil için alternatif yakıtlar hem alternatif ulaştırma türleri (toplu taşıma temelli) ve hem de alternatif enerjiye dayalı ulaştırma türlerine yönelik araştırma ve çalışmalar yürütülmektedir. Elektrikli bisikletler bunun önemli bir yönünü teşkil etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bateri şarjı söz konusu bu uygulamadaki birincil güç tüketimi olduğundan ve de bateriler sistemin bir tamamlayıcı unsuru olduğundan dolayı da bir elektrikli bisiklet paylaşım sistemi güneş enerjisindeki ideale en yakın uygulama olabilir. Bunun ile beraber yeterli rezerve enerji ise fırtınalı hava periyotlarında kesintisiz bir hizmet temin etmek adına da sağlanmalıdır. Gerçek şudur ki kullanım ve gücün bu söz konusu kısıtı karşılayabilen fırtınalı havalar boyunca düşmesi beklenmektedir. Hibrid şebeke ve güneş enerjisi hem yenilenebilir bir enerji kaynağının faydalarını ve hem de kesintisiz bir hizmetin her ikisini birden temin etmektedir (Kızıldaş, 2016).

Şarj profilleri bateri kimyasına büyük oranda bağlı olmaktadır. Bir elektrikli bisiklet için bateri kimyasının seçimi ise baterinin enerji yoğunluğuna göre şekillenmektedir. Lityum iyon, nikel metal hibrid, nikel kadmiyum ve sırlanmış kurşun asidi bateri kimyalarının hepsi kullanılmaktadır ve fakat lityum tabanlı bateriler ise nispeten yüksek enerji yoğunluğuna dayalı olarak birincil en genel türü teşkil etmektedirler. Kimyaya bağlı olmaksızın baterileri şarj etme süreleri ise hızlı şarj etme ya da yavaş şarj etme olarak tasnif edilebilir. Genelde daha yavaş bir şarj oranı ise bateri ömrünü uzatmakta, depolanan enerjiyi maksimize etmekte, baterinin fazla ısınması ve fazla şarj olması risklerini ise minimize etmektedir. Ticari elektrikli bisiklet bateri şarjı ise şarj süresinin tipik olarak 4 ila 6 saat arasında değişmesi dâhilinde tipik olarak şarj süresi ve bateri ömrünü dengelemektedir. Bu kapsamda da bir istasyondaki bateri şarj sistemi, bir profilden fazla bir terkip ya da bu profillerin herhangi birsinin şarj edilmesinden faydalanabilmektedir. Bateri yönetim sistemi ise ideal olarak sistemdeki hem talep ve hem de depolamanın tarihsel olarak hesabı ya da gözlemlenmesine imkân tanımakta ve de şarj edilmiş bateri elverişliliği düzeyini tahkim eder iken bateri ömrünün de maksimize edilmesi adına uygun bir şarj profilini seçmektedir (Buck, D. ve Buehler, R., 2012)

Bu bağlamdaki bir diğer mahiyet ise yer değiştirebilir bir bateriyi içermekte ve de bir bateri yönetim kulübesinin içerisinde yeniden şarj edilen bateriler için bitmiş bateriler ile takas etmek adına sisteme imkân tanımaktadır. Çünkü elektrikli bisiklet baterileri ise daha az ağırlıktadır, kullanıcılar ise bisiklet kontrol sürecinin bir parçası olarak baterileri takas etmeğe elverişli olmaktadır. Bu söz konusu durum da elektrikli araç paylaşım mahiyetine kıyasla önemli bir ayrımı teşkil etmektedir. Söz konusu bu mahiyet altında ise kullanıcılar bir elektrikli bisikleti kontrol etmekte olup otomatik olarak kilidi açılmaktadır. Eş anlı olarak bir bateri bir ayrık bateri yönetim sisteminden dağıtılmaktadır ve de kullanıcı da fiziksel olarak bisiklete bateriyi yerleştirmektedir. Sistem zirve kullanım düzeylerinde olduğunda dahi baterinin yeniden şarj olmasına imkân tanır bir şekilde bateriyi en yüksek şarj oranında tanımlayabilmektedir ve de elverişli bisiklet sayısından daha fazla sayıdaki bateriyi hazır hale

getirmektedir. Bu noktada kullanıcı bisikleti geri getirdiğinde ise aynı zamanda bateriyi de getirmiş olmakta ve de şarj durumuna bağlı olarak diğer bateriler ile adeta bir dağıtım kuyruğuna girmiş olmaktadır (Leppers, R. vd. 2012).

Bu kapsamda da destek sistemi bir veri ağı, idari destek ve bakım desteğini içermektedir. Burada veri ağı ise merkezi bir kontrol düğüm noktası ile istasyonlar arasındaki veri aktarımını gerçekleştirebilmektedir. Kullanıcı verisi ve ödeme bilgisine ilave olarak da bu söz konusu sistemi bisikletin yer değiştirmesi hakkında (yerleşim, hizmet verebilirlik, kullanım vs.) ve bütün bir sistem mevcut durumu hakkında da bilgi aktarımı gerçekleştirebilme yeterliliğine de haiz olarak teşekkül etmektedir. Söz konusu bu bilgi, bütün bir sistemin idaresi adına da oldukça yüksek bir değeri teşkil edebilmektedir. Hırsızlığa karşı izleme gereçleri ise aynı zamanda da ödemeye karşı yardım ve hırsızlığın önlenmesi adına da personeli acil duruma geçirmek için bir yönetim veri ağı ile de entegre bir hale gelmektedir. Bir kullanıcı ara yüzü olarak internet sitesi ve mobil uygulamanın entegrasyonu ise aynı zamanda da sistemin pazarlanması ve de yüksek düzey bir kullanıcı bilgisinin ve en nihayetinde de kullanıcı memnuniyetinin temini adına da oldukça faydalı olabilmektedir (Barla, C. vd. 2012).

Bisiklet paylaşım sistemi işletimleri v kullanım terimleri çeşitlidir ve sistem bazlı olarak değişimler göstermektedir. Üçüncü nesil sistemlerin çoğunda ise bir kullanıcı (genellikle de abone) bir bisiklet paylaşım istasyonundaki kimlik girişi vasıtası ile bisiklet kontrolü yapılmaktadır. Sistem abonenin kimliğini kontrol etmekte ve bir bisikleti otomatik olarak vermektedir. Söz konusu bisiklet kullanıcıya atanmakta ve genellikle de önceden tanımlı bir zaman süreci dâhilinde de aynı ya da bir başka istasyona bisikleti bırakmaktan sorumlu olmaktadır. Çoğu sistem içerisinde ise bisikletler sistem dâhilindeki herhangi bir istasyona bırakılmaktadır. Kullanıcı kendi varış noktasındaki münhasır elverişli otopark kapasitesi dâhilinde bir istasyon belirlemektedir ve de bir otomatik kilit askısına ise bisikletini geri bırakmaktadır. Sistem ise bisikleti otomatik olarak tanımlamakta ya da kullanıcı kendi kimlik bilgilerini bisikleti bırakır iken sisteme tekraren girmektedir. Bu noktada bazı sistemler bakım işaretlemelerine imkân tanımakta ve de eğer ki de bakım problemi tespit edildi ise bisiklet elverişsiz olarak tasnif edilmektedir. Kontrolün ardından bisiklet tekraren tekraren bir dahaki kontrole kadar kullanıcı topluluğunun hizmeti için yapılandırılmaktadır (Maurer, L.K., 2012).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Elektrikli bisiklet mesafesi yoğun bir şekilde araziye, sürücünün ağırlığına ve gerekli olan destek düzeyine bağlı olmaktadır. Ticari olarak da en elverişli bisikletler 30-40 km mesafeler için tanıtılmakta olup ve fakat ilgili güç idaresinin uyarısı ve arazinin zorluğu, sürücünün ağırlığı ve seyahatin dur kalk karakteristiklerinin hepsi de söz konusu olmaktadır. Bu bağlamda da 70 kg sürücü ağırlığı dâhilinde kentsel olarak tepelik bir arazide çeşitli donanımlara haiz test sürüşü ise temsili bir elektrikli bisiklet (240 Watt saat bateri) için 20 km ila 25 km arasındaki mesafeler için ürün vermektedir. Bu kapsamda da paylaşımlı bir elektrikli bisiklete haiz bir kentin bildirilenden daha az bir mesafeye sahip olduğu görülmektedir (Maurer, L.K., 2012). Geleneksel bir bisiklet paylaşım sistemi altında ise bu söz konusu paylaşımlı elektrikli bisikletlerin mesafesi, seyahat süreçleri kısa ve de bisikletlerin de kontrol edilenden daha fazla şart olduğu durum dışında sistemin ortalama günlük talebini karşılamakta

yetersiz kalmaktadır. Aslında yoğun periyotların sonu itibari ile özellikle de eğer ki elektrikli bisikletler, bunların daha ileri zaman periyotları için kontrol edildiği ve de yeniden şarj istasyonlarının da yaygın olmadığı yerlerdeki bir sistemde devreye giriyor ise filonun önemli bir kısmı hizmet dışı olabilmektedir. Tekil bir iki saatlik seyri sefer bir bisiklet baterisini bütünü ile bitirmekte ve de söz konusu bu bisiklet kalan hizmet periyodu boyunca etkin bir şekilde hizmet dışı kalabilmektedir. Bu bağlamda şarj süresi 4 ila 6 saat arasında değişmektedir ve fakat daha ileri düzeyli bateri ve şarj teknolojileri ise şarj süresini 30 dakikaya kadar düşürmektedir. Bu kapsamda hızlı şarj etme ise bisiklet paylaşım sisteminin işletimini önemli bir ölçüde geliştirmektedir (Hu, J. vd. 2012).

Bu bağlamda ise elektrikli bisiklet talebinin tahmin altında kalması ya da mesafenin tahminin üstüne çıkması durumunda ise filo boyutunun artırılmasının dışında hizmet uygunluğunun artırılması adına az sayıda çözüm kalmaktadır. Elektrikli bisikletlerin her zaman ileri, bisiklet dışı ve bateri yönetimine elverişli olmasını garanti etmek adına başka alternatifler de bulunmaktadır. Eğer ki uygun bir şarj edilen bateri sayısı var ise elektrikli bisikletler her zaman için elverişli olabilmektedir. Bateri fazlalığı dâhilinde bütün bisikletler bir istasyonda kontrol edildiğinde dahi söz konusu bu istasyon halen belirli bir sayıdaki baterinin şarj olmasını temin edebilmektedir. Bir istasyonda 10 bisikletin bulunabildiği ve de 15 baterinin şarj edilebildiği kabulü yapılsın. Eğer ki bu noktada bisikletlerin yarısı şarj edilir ve de bütünü ile bitmiş bateriler ile geri döner ise bu söz konusu bisikletler aynı anda tekraren hizmete sunulabilir. Bu kapsamda daha muhtemel bir senaryo ise istasyonun (ya da sistemin) belirlenmiş olan bir enerji kapasitesi ile başlayacağı ve de talep dalgalanmalarından ötürü de gün boyunca kapasitesinden düşeceği yönündedir. Burada günün sonunda ise toplam kapasite başlangıçtakinden daha az olmaktadır ve fakat bateriler gece boyu yeniden şarj olduğundan dolayı da hizmet temin etmek için ise yeterli olmağa devam etmektedirler. Söz konusu bu mahiyet kolaylıkla ölçülebilir ve de elastik bir talebe de sahip olmaktadır. Çoklu kısa seyahatler için günlük enerji taleplerinin karşılanması adına her bir bisikletteki büyük boyutlu baterinin montajından ziyade bisikletler arasında bateri kaynağını paylaşmaktadır (Ibeas, A. vd. 2012).

Bu bağlamda gösterim adına 10 adet elektrikli bisiklet ve 15 adet bateri (her birisi 240'ar Watt saatlik) ile varsayımlı bir istasyon dikkate alınmaktadır. Söz konusu bu istasyonun seyahat talebinin günün 12 saati bazlı olarak bisiklet başına 8 seyahat değerinde olup bu noktada her bir seyahat de 6 kilometre uzunluğunda olmaktadır. Her bir seyahat 60 Watt saat ya da 480 Watt saat/bisiklet\_gün gerektirmektedir. Ortalama olarak da her bir bisikletin bateri kapasitesi ise günlük bir talebin yaklaşık olarak yarısı kadar teşekkül etmektedir. Bu söz konusu gösterim için yüksek derecelerde fayda ve gün boyunca da az düzeyde şarj kabulü yapılmaktadır. Lityum iyon baterilerinin şarj profilleri ile uyumlu olmak sureti ile enerji talebinin yaklaşık 1/3'ü orana haiz olan bir şarj oranını kullanmaktadır. Bu bağlamda ise baterilerin değiştirilmesi yolu ile de filodaki bütün bisikletlerin tam kullanımını garanti altına alınmaktadır. Eğer ki bateri talebi artar ya da azalır ise, başboş bisikletlerin telafisi adına istasyona yeni bisiklet eklemekten ziyade daha fazla sayıda bateri eklenebilir ya da çıkartılabilir. Görülmektedir ki söz konusu basitleştirilmiş taslak altında, hizmet periyodu sonunda (saat 19:00) bateri kapasitesi 600 Watt saate düşecektir. Eğer ki bateriler bisiklet üzerinde yeniden şarj edilir ise bütün bateriler (2400 Watt saat) beklenen hizmet bitiminden önce saat 17:00 itibari ile

tükenecektir. Elbette ki gerçek zamanlı işletimler ciddi anlamda değişimler göstermektedir ve de gelecek dönemdeki ampirik çalışmaların güncel talep ve kapasiteyi tahmin etmesine de gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda da gerçek talep profilleri ise haftanın günleri boyunca, zirve talep tanımlamaları dâhilinde haftanın günü ve günün saatine göre değişimler göstermektedir. Ulaştırma seyahatlerinin ihtimali yapısı aynı zamanda da söz konusu bu gösterimi önemli ölçüde karmaşıklştırmaktadır [15].

Bateri yönetimi ise bu söz konusu yeni dördüncü nesil sistemlerdeki bir diğer optimizasyon düzeyini devreye sokmaktadır. Bu bağlamda dördüncü nesil sistemlerin anahtar özelliklerinden bir tanesi ise bisikletlerin etkin dağılımı için özellikle de kullanıcıyı ödüllendirmek adına bisikletlerin daha özelleşmiş bir yeniden dağılımını teşkil etmiş olmasıdır. Aynı zamanda bateriler de etkin bir şekilde dağılmalıdır böylelikle de bütün istasyonlardaki bateri kapasitesi ise bütün istasyonları garanti altına almak adına enerji depolamasının minimum düzeyini korumakta olup bu da tam şarj olmuş müsait baterilerin belirli bir düzeyine sahip olmaktadır. Bu bağlamda kullanıcılar ise hem bisiklet ve hem de baterilerin yeniden dağılımı için farklılaşan şekillerde ödüllendirilmektedir. Bu noktada büyük bir depolama baterisinin şarj edilmesi ve de elektrikli bisiklet baterilerinin şarj edilmesi dâhilinde bateri bir çözüm olup araç bazlı güneş enerjisi şarj etme istasyonları için önerilmektedir. Elektrikli bisikletler takas edilmeğe müsait olduklarından dolayı da güneş enerjisi, diğer baterilerden şarj edilen bateriler ya da güneş enerjisinin çevriminden kaynaklı verimlilik kayıpları dışında elektrikli bisiklet baterilerini doğrudan şarj edebilmektedir. Bu kapsamda da bir bateri bankasının gerekliliğinin elverişliliğini garanti altına almak adına takas dâhilinde daha büyük bateri bankalarına, sıkı şebekeli bateri yönetim sisteminden daha çok gerek duyulacaktır.

#### 4. Sonuç

Elektrikli bisiklet paylaşım sistemlerine has olarak ne sistem işletimlerinin bir taslağı ve ne de bazı zorlukların aşılması adına gerekli olan entegre sistem unsurlarına dair bir çalışma bulunmaktadır. Bu kapsamdaki çalışmalarda; ilk olarak çeşitli çözümler ortaya çıkartılmakta ve de hâlihazırdaki kapsamda bir elektrikli bisiklet paylaşım sisteminin geliştirilmesi ile ilgili bazı zorlukların bir değerlendirmesi de temin edilmektedir (Zinner, C. vd. 2012).

Burada önerilen sonuç ise Tennessee Üniversitesi Knoxville kampüsündeki elektrikli bisiklet paylaşım sistemi ve ortak bir bisikletin geliştirilmesi adına bir kavram ispatlama pilot testi ile ilişkili olmaktadır. Söz konusu bu sistem ise sonbahar 2010- ilkbahar 2011 döneminde kontrollü bir pilot testi kapsamında paylaşılacak olan 6 adet geleneksel bisiklet ve 15 adet elektrikli bisiklete ev sahipliği yapan 2 adet istasyondan teşekkül etmektedir. Bisikletler kendilerinin ve sistemin üzerindeki günlük enerji taleplerinin ampirik göstergelerini bir araya getirmek adına sensörlerinin dahil edilmesi bağlamında donatılmaktadır ve de yine bisikletler sağlam ve tekrarlanabilir bir elektrikli bisiklet paylaşım modelini geliştirmeyi hedefleyecek olup bu da diğer bisiklet paylaşımı ya da çok türlü sistemler ile entegre olabilir. Tennessee Üniversitesi Knoxville kampüsü bir elektrikli bisiklet paylaşım sistemi için idealdi ve de çünkü bu söz konusu kampüs geleneksel bir bisiklete gerek bırakmayacak bir şekilde elektrikli bisiklet ile sürüş yapılabilir olan geniş bir potansiyel kullanıcı havuzu içerisinde tepelik ve geniş bir araziye yayılı bir durumda olmaktadır. Daha fazla veri ortaya çıktıkça etkin ulaşırma türleri



boyunca daha fazla birey hareket halinde iken enerji kullanımı ve sera gazı salımlarını azaltan bir ulaştırma sisteminde elektrikli bisikletler önemli bir boşluğu da doldurabilirler (Parkes, S. ve Marsden, G., 2012). Elektrikli bisikletler dünyanın birçok bölgesinde eş anlı olarak popülerlik kazanmışlardır. Bazı araştırmacılar bu söz konusu paylaşımlı elektrikli bisikletlerin hâlihazırdaki bisiklet paylaşım sistemlerinden daha yüksek hizmet parametrelerini temin edebileceğini önerir iken düşük çevresel etkileri ortaya koymaktadır. Yakın dönem araştırma bulgularına dayalı olarak geleneksel bisikletlere kıyasla uzun seyahat mesafeleri ve tepelikler boyunca daha az yorulma ve terleme, bisikletin önündeki çeşitli bariyerlerin bertarafına da yardımcı olabilir. Ayrıca buna da ilave olarak elektrikli bisiklet sürücüleri ile ilgili bir saha çalışması ise ortaya çıkarmaktadır ki çoğu elektrikli bisiklet sahibi, elektrikli bisikletleri, geleneksel motorlu taşıtlara ya da geleneksel bisikletlere tercih etmektedir (Parkes, S. ve Marsden, G., 2012). Elektrikli bisikletlerin zamana ve çok kişiden oluşan bir topluluğa yüksek maliyetler dâhilinde yaygınlık göstermesi bağlamında da bir elektrikli bisiklet paylaşımı, algılanan teknoloji giderlerinin yanı sıra fiyat engelinin aşılması potansiyeline sahip olmaktadır (Lee, B. vd. 2012). Paylaşımlı bir mücavir alanda elektrikli bisiklet tedariki aynı zamanda elektrikli araç teknolojisini anapara baskısı ya da taahhüdü olmaksızın potansiyeli kullanıcıya sunmaktadır. Elektrikli bisiklet paylaşımı kullanıcıları diğer motorlu ulaştırma türlerine karşın elektrikli hareketliliğine teşvik etmekte olup yenilenebilir enerji, şarj edilebilir altyapı ve kamusal güvenlik artışına ön ayak olmaktadır (Kızıldaş, M.Ç., 2018). Kullanıcıların diğer motorlu ulaştırma türlerinden türel geçişine tesir etmek sureti ile ve de düşük ağırlıklarından dolayı elektrikli bisikletler temiz ulaştırma dâhilinde değerlendirilen bir teknoloji olmaktadır (van Dijk, S. vd. 2013).

Türkiye’de otomobil sahipliği giderek artmaktadır. Türkiye’de yerli otomobil üretimi sınırlıdır bunun ile beraber son dönemde gerçekleştirilen kayda değer girişimler bulunmaktadır. Öte yandan ülkemiz petrol fakiri bir ülkedir. Şehirler hızla büyümektedir, nüfus artış eğilimi devam etmektedir, şehirleşme ise hızla devam etmektedir. İstihdam, hareketlilik ve tüketim kültüründeki değişim hızı da yüksektir (Gojanovic, B. vd. 2011). Bu bağlamda elektrikli araçlar Türkiye için stratejik bir değerdedir. Elektrikli bisikletler bunun en önemli unsurlarındandır. Öte yandan Türkiye’nin pek çok şehrindeki engebeli arazi yapısı ise konvansiyonel bisikletin etkin icrasını manidir (Kızıldaş, M.Ç. ve Altan, M.F., 2017). Dolayısı ile bu yönü ile de bisiklet kullanımındaki eşğin aşılması Türkiye için elektrikli bisiklet üretim, kullanım ve yaygınlaşmasına sıkı sıkıya bağlı olmaktadır.

## 5. Teşekkür

Yahyâ Âlparslan Kızıldaş’a teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Altan, M.F., Kızıldaş, M.Ç., (2018) Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropoliten Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, ULAKBİM
- Altan M.F., Kızıldaş M.Ç., (2020) Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM
- Nair, R., Miller-Hooks, E., Hampshire, R.C., Busic, A., 2012. Large-scale vehicle sharing systems: analysis of Vélib. *Int. J. Sust. Transport.* 7, 85e106.
- Langford, B., Cherry, C., Yoon, T., Worley, S., Smith, D., 2013. North America’s first ebike share: a year of experience. *Transport. Res. Record: J. Transport. Res. Board* (In Press).
- Cherry, C., He, M., 2010. Alternative methods of measuring operating speed of electric and traditional bikes in China-implications for travel demand models. *J. East. Asia Soc. Transport. Stud.* 8, 1424e1436.
- Gleason, R., Miskimins, L., 2012. Exploring Bicycle Options for Federal Lands: Bike Sharing, Rentals and Employee Fleets. Western Transportation Institute.
- Kızıldaş, M. Ç. “Avrupa Birliği ve Ulaştırma Politikaları-2”, URL: <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=8>(Erişim zamanı; Ağustos, 08, 2016).
- Buck, D., Buehler, R., 2012. Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- Theurel, J., Theurel, A., Lepers, R., 2012. Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. *Ergonomics* 55, 773e781.
- Louis, J., Brisswalter, J., Morio, C., Barla, C., Temprado, J.-J., 2012. The electrically assisted bicycle: an alternative way to promote physical activity. *Am. J. Phys. Med. Rehab.* 91, 931e940.
- Maurer, L.K., 2012. Feasibility study for a bicycle sharing program in Sacramento, California. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- Angeloudis, P., Hu, J., Bell, M.G.H., 2012. A strategic repositioning algorithm for bicycle-sharing schemes. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- Romero, J.P., Moura, J.L., Ibeas, A., Benavente, J., 2012. Car-bicycle combined model for planning bicycle sharing systems. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- Clean. Prod. 48, 211e219. Sperlich, B., Zinner, C., Hébert-Losier, K., Born, D.-P., Holmberg, H.-C., 2012. Biomechanical, cardiorespiratory, metabolic and perceived responses to electrically assisted cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112, 4015e4025.
- Parkes, S., Marsden, G., 2012. City bike hire schemes e emerging trends in Europe. In: Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington DC.
- 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.
- Kızıldaş, M.Ç. 2018. Ulaştırma Yatırımları ve Ekonomik Kalkınmanın Değerlendirilmesi, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, 8-10 Kasım, İstanbul
- Silvester, S., Beella, S.K., van Timmeren, A., Bauer, P., Quist, J., van Dijk, S., 2013. Exploring design scenarios for large-scale implementation of electric vehicles; the Amsterdam Airport Schiphol case. J.
- Gojanovic, B., Welker, J., Iglesias, K., Daucourt, C., Gremion, G., 2011. Electric bicycles as a new active transportation modality to promote health. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 2204e2210

Kızıldaş, M.Ç., Altan, M.F., (2017) Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.



# Antosiyanin Stabilite Artırma Metotları: Fenolik Kopigmentasyonu

Şeyma Nur Demirci<sup>1\*</sup>, Banu Metin<sup>2</sup>, Mehmet Demirci<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6127-4174), tseyma61@hotmail.com

<sup>2</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3203-0058), banu.metin@izu.edu.tr

<sup>3</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4394-9852), mehmet.demirci@izu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1097890)

**ATIF/REFERENCE:** Demirci, Ş. N., Metin, B. & Demirci, M. (2022). Antosiyanin Stabilite Artırma Metotları: Fenolik Kopigmentasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 276-281.

## Öz

Renk, gıdaların tüketiciler tarafından kabulünü etkileyen en önemli duyuşal özelliklerden biridir. Gıdaların kendine özgü renkleri olmasına rağmen işlenmeleri esnasında sıcaklık, asitlik ve ışık gibi etmenler ile kayıplar olmaktadır. Günümüzde gıdaların renginin korunması amacı ile renk maddeleri sıklıkla kullanılmaktadır. Artan tüketici bilincine paralel olarak yapay boyaların tüketimi her geçen gün azalmaktadır. Son yıllarda bitkisel kaynaklı doğal renk maddelerine olan ilgi artmıştır. Antosiyanin, klorofil ve karoten gibi bitkisel kaynaklı doğal renklendiriciler farklı gıdalarda kullanılmaktadır. Antosiyaninler, doğal gıda boyası sektörünün en fazla kullanılan pigmentlerinden birisi olup, gıdalara kırmızı, pembe, mor ve mavi renklerin verilmesinde kullanılmaktadır. Antosiyaninlerin gıda boyası olarak kullanılabilmesinin önündeki en büyük engel gıda işleme proseslerine dayanıksız olmasıdır. Termal işlemler, pH değişimi, şeker konsantrasyonu, ışık ve oksijen gibi faktörler antosiyaninlerin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle antosiyaninlerin farklı proseslere dayanımı değişik metotlar ile artırılmaktadır. Enkapsülasyon, moleküler kopigmentasyon ve metal kompleksleri bu konuda en umut verici metotlardandır. Bu derlemede antosiyaninlerin fenolik bileşikler ile kopigmente edilerek stabilitesinin artırılması konusunda literatür taraması yapılarak sonuçlar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antosiyaninler, doğal renklendiriciler, fenolik kopigmentasyonu, stabilite.

# Anthocyanin Stability Enhancement Methods: Phenolic Copigmentation

## Abstract

Color is one of the most important sensory properties that affect the acceptance of foods by consumers. Although foods have unique colors, there are losses due to factors such as temperature, acidity, and light during processing. Today, artificial coloring agents are frequently used to preserve food color. In parallel with the increasing consumer awareness, the consumption of synthetic dyes is decreasing day by day. Interest in natural color pigments of vegetable origin has increased in recent years. Natural colorants of plant origin, such as anthocyanin, chlorophyll, and carotene, are used in different foods. Anthocyanins are one of the most widely used pigments in the food colorant industry and used to give foods red, pink, purple, and blue color. The biggest obstacle to using anthocyanins as food dyes is that they are not resistant to food processing. Factors such as thermal processes, pH change, sugar concentration, light, and oxygen limit the use of anthocyanins. Therefore, the stability of anthocyanins in different process is increased by different methods. In this review, a literature search on the stability-increasing methods of anthocyanins by copigmenting with phenolic compounds was performed, and the results were examined.

**Keywords:** Anthocyanins, natural colorants, phenolic copigmentation, stability.

\* Sorumlu Yazar: [tseyma61@hotmail.com](mailto:tseyma61@hotmail.com)

# 1. Giriş

## 1.1. Gıda ve Renk

FDA, renklendiricileri ‘gıdaya, ilaca veya kozmetiğe eklendiğinde veya uygulandığında (tek başına veya diğer maddelerle reaksiyona girerek) renk verebilen herhangi bir boya, pigment veya madde’ olarak tanımlamaktadır (FDA, 2020). Renk, bir gıda ürününün duyu kalitesi için temel bir niteliklerdir. Hem yapay hem de doğal renklendiriciler, gıdaları görsel olarak daha çekici hale getirmek ve gıda işleme esnasında meydana gelen renk kayıplarını önlemek amacıyla katılmaktadır. Proses esnasında ve sonrasında gıdanın renginin korunması, tüketici kabulünü artırır (Chien ve ark., 2022; Neves ve ark., 2021).

Gıda endüstrisi, genel olarak daha yüksek kimyasal ve fiziksel stabilite, renklendirme gücü ve doğal renklendiricilerden daha düşük maliyetli oldukları için doğal renklendiriciler yerine sentetik renklendiricileri tercih etmektedir (Neves ve ark., 2021). Son yıllarda, gıdalarda kullanılan katkı maddelerinin, yani azo boyaların toksisitesi üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Yapay boyaların kullanımının sınırlandırılması ile ilgili endişelerin temel dayanağı, bu boyaların bağırsak mikrobiyotası tarafından (azoindirgenme) karsinojenik metabolitlere dönüşebilme potansiyelleridir (Feng ve ark., 2012).

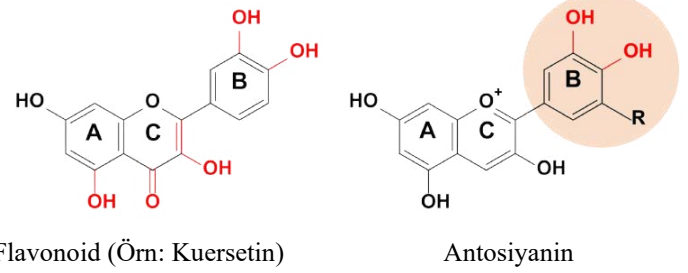
Bazı sentetik renklendiricilerin uygun olmayan tüketiminin bazen karaciğer ve böbrek üzerinde toksik etkilere yol açabileceği bildirilmiştir. Sentetik gıda renklendiricilerinin tüketiminin, yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL-C) miktarını düşürdüğü, glutatyon sekresyonu (GSH), süperoksit dismutaz (SoD) ve plazma bağışıklık sistemi yüzdesini de azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca bu renklendiriciler plazma lipid lipoproteinini ve toplam kolesterolü (LDL-C) de önemli ölçüde artırmıştır (Sadar ve ark., 2017).

Gıdalar, özellikle meyve ve sebzeler, doğal olarak başlıca dört grup pigment tarafından renklendirilir: yeşil (klorofiller), sarı-turuncu-kırmızı (karotenoidler), kırmızı-mavi-mor (antosiyantinler) ve kırmızı (betanin) (Rodriguez-Amaya, 2016).

## 1.2. Antosiyantinler

Antosiyantinler, flavonoidler grubunda yer alan suda çözünen, düzlemsel molekül yapısına sahip bir bitkisel pigmenttir (Mattioli ve ark., 2020). Genellikle farklı şeker parçalarıyla bağlanan iki benzen halkasının farklı pozisyonlarında bir veya daha fazla hidroksil veya metoksi grubuna sahiptirler (Kay ve ark., 2017). Şu ana kadar, hidroksil ve metoksi gruplarının sayıları ve konumları, şeker parçalarının sayıları ve türleri ile şeker açılmasının kapsamı ve türlerine göre değişen 600'den fazla doğal antosiyantin keşfedilmiştir (Shen ve ark., 2022). Yapısal olarak, antosiyantinler, antosiyantin moleküllerinin çekirdek kısımları olan aglikonlar olarak adlandırılan antosiyantinlerden türetilir. Aglikonlar, flavonoidler grubundadır ve aromatik bir halkadan (A), oksijen içeren bir heteroaromatik halkadan (C) ve üçüncü bir halkadan (B) oluşur (Şekil 1). 30 adet aglikon tanımlanmasına rağmen siyanidin, peonidin, pelargonidin, petunidin, malvidin ve delphinidin gibi farklı bitkilerde yaygın olarak bulunan altı adet antosiyantin bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır (Luo ve ark., 2018). Serbest aglikonlar oldukça kararsızdır, bu nedenle doğal kaynaklarda genellikle glikozileşmiş veya açillenmiş formlarda bulunurlar. Glikoz en yaygın bağlanan şekerdir, ancak ramnoz, galaktoz, ksiloz,

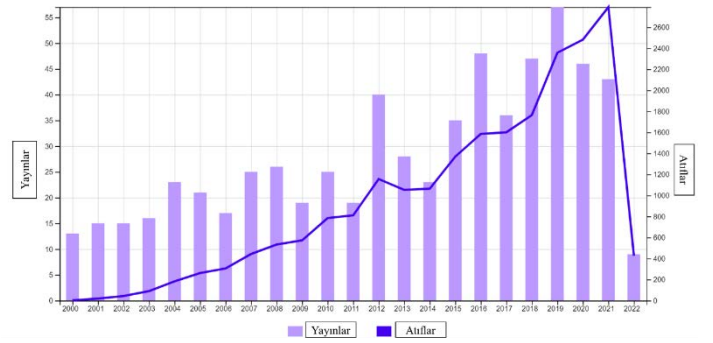
arabinoz veya glukuronik asit gibi diğer şekerler ile de bağlanırlar (Santos-Buelga ve González-Paramás, 2019).



Şekil 1. Flavonoid ve antosiyantin kimyasal yapısı (Zhao ve Yuan, 2021)

## 1.3. Kopigmentasyon

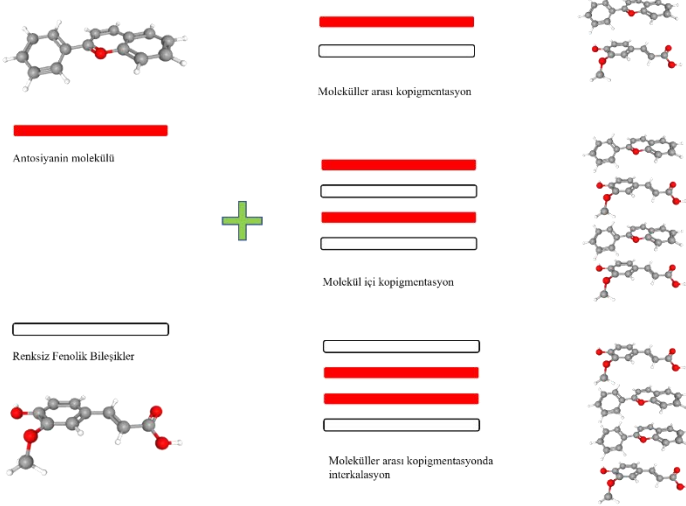
Antosiyantinler, gıdaların hızla renk kaybına neden olan sıcaklık, pH, ışık, oksijen, enzimler ve metal iyonları gibi çevresel faktörlere karşı hassastır. Bu nedenle, antosiyantin pigmentleri ile renklendirilmiş gıda ürünlerinin renk kalitesini korumak için antosiyantinlerin stabilitesinin iyileştirilmesi çok önemlidir. Antosiyantinlerin stabilitesini iyileştirme yöntemleri arasında temel olarak mikrokapsülasyon, kopigmentasyon, moleküler modifikasyon, biyolojik makromolekül kompleksleştirme ve antioksidasyon yer almaktadır (Cortez ve ark., 2017). Bu metotlar arasında kopigmentasyon, kullanılabilir ajanların çokluğu ve bitkisel kaynaklı olabilmeleri gibi avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Son 20 yılda antosiyantin kopigmentasyonu ile ilgili yapılan akademik çalışmaların sayısında dikkat çekici bir artış gözlemlenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. 2000-2022 kopigmentasyon ile ilgili Web of Science verileri

1931 yılında Robinson ve Robinson (1931), bazı renksiz bileşiklerin zayıf bağlanmalarla antosiyantinlerin rengini etkilediğini keşfetti ve böylelikle ‘kopigment’ ifadesi ortaya çıkmış oldu. Geniş bir konjuge  $\pi$  sistemine sahip olan antosiyantinler, görünür bölgede absorbe olurlar ve çok hızlı bir biçimde diğer pigment ve kofaktörler ile supramoleküler kompleksler oluşturabilirler. Bu pigment ve kofaktörler, çoğunlukla fenolik asitler ve flavonoidler ve onların ardından da alkaloidler, amino asitler ve metal iyonlarıdır (Trouillas ve ark., 2016). Moleküller arası kopigmentasyon yapılarının, kopigment ve antosiyantin moleküllerinin kovalent olmayan bağlar yoluyla etkileşime girmesiyle oluşturulan ve suyun flavilyum katyon kromoforu üzerindeki nükleofilik saldırısını fiziksel olarak sınırlandırarak renk stabilitesini artıran  $\pi$ - $\pi$  istifleme yapıları olduğu ifade edilmektedir (Teixeira ve ark., 2013). Diğer bir ifade ile kopigmentasyon kompleksleri, flavilyum kromoforunu suyun

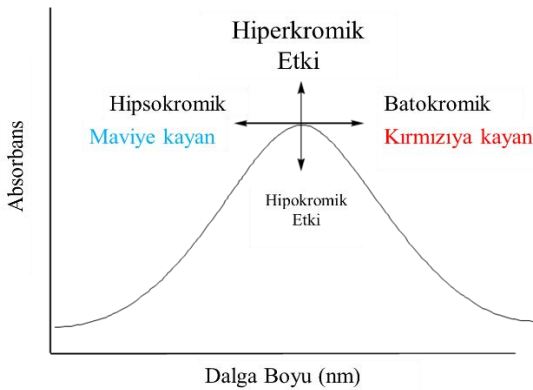
nükleofilik saldırısından koruyan, bir sandviç konfigürasyonu oluştururlar (Şekil 3). (Fanzone ve ark., 2015). Genel olarak, daha büyük düzlemsel yapılara sahip moleküller daha iyi kofaktörler olarak kabul edilir, çünkü pigment-kofaktör kompleksinin van der Waals etkileşimleri, pigmentler ve kofaktör molekülleri arasındaki geniş düzlemsel yüzeylerin varlığı ile artar (Cruz ve ark., 2010). Kopigmentasyon etkisi, antosiyaninlerin renginin derinleşmesine (hiperkromik etki) ve daha yüksek dalga boylarına doğru maksimum absorpsiyon dalga boyunun (batokromik kayma) artmasına neden olur (Şekil 4) (Marković ve ark., 2005).



Şekil 3. Antosiyanin komplekslerinin  $\pi$  istiflenme türleri

### 1.3.1. Fenolik Bileşikler ile Kopigmentasyon

Kopigmentler,  $\pi$ - $\pi$  istiflemesine imkân tanıyacak yeterince geniş bir  $\pi$  konjuge sistemine ve OH ve C=O gibi Hidrojen bağı alıcısı/vericisi olabilecek gruplara sahip olmalıdır. Tanımlanmış doğal pigmentler, çözünür taninler, flavonoidler ve fenolik asitlerdir. Flavonoid kopigmentlere flavonoller, flavonlar, flavanoller ve hatta dihidroflavonoller dahil edilebilir.  $\pi$  konjugasyonlarının bütün trisiklik çekirdek yapısı (A, B ve C halkaları) üzerine genişleyebilmesinden dolayı flavonlar ve flavonoller (kuersetin, izokuersetin ve rutin) en etkili kopigmentasyon ajanlarıdır. Ferulik, sinapik, kafeik ve klorojenik asit gibi çeşitli hidroksisünamik asit ve türevleri flavonoller ve dihidroflavoller kadar güçlü kopigmentasyon etkisine sahiptir (Trouillas ve ark., 2016).



Şekil 4. Absorpsiyon spektrumlarındaki kaymalar için terminoloji (Celli ve ark., 2018).

Antosiyaninlerin fenolik bileşikler ile kopigmente edilmesi ile ilgili çalışmalar Tablo 1.'de özetlenmiştir.

Kanha ve ark. (2019) siyanidin 3 – O – glikozit antosiyanini 1:1, 1:10 ve 1:100 konsantrasyonlarında ferulik asit ile kopigmente ederek 50, 70 ve 90 °C' deki termal stabilitesini incelemiştir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak reaksiyon sabiti değerleri azalırken yarılanma ömrü değerleri artmıştır. Gerçekleşen kopigmentasyon tepkimeleri ekzotermik olmuştur. Benzer şekilde şeker kamışı antosiyaninlerine farklı konsantrasyonlarda ferulik asit ilavesi ile örneklerde batokromik kaymalar görülmüştür. Ayrıca Gibbs serbest enerjisi 0 olarak gözlemlenmiştir. Bu da kopigment ile bağlanmaların rastgele olduğunu göstermektedir (Xu ve ark., 2022). Böğürtlen posası antosiyaninlerinin ferulik asit ile zenginleştirildiği bir başka çalışmada depolama sonunda daha iyi bir  $a^*$  değeri elde edilmiştir. Sıcaklık uygulamasında yarılanma süreleri artmıştır. Işık altında bozulma oranları kontrole göre daha az ölçülmüştür (Fan ve ark., 2019).

Kırmızı şarap örneklerinin elajik asit ile kopigmente edildiği bir çalışmada, daha iyi  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine sahip olmuştur. Raf ömrü boyunca daha stabil renk gözlemlenmiştir (Zhang ve ark., 2018). Kırmızı şarap üzerindeki benzer bir çalışmada rozamarinik asit ilavesi ile daha düşük  $L^*$  değeri ve daha yüksek  $a^*$  değeri elde edilirken raf ömrü boyunca da renk kaybı azaltmıştır (Zhang ve ark., 2022). Xu ve ark. (2022), şeker kamışı antosiyaninlerine 1:0 ve 1:100 arasında değişen farklı konsantrasyonlarda vanilik asit ilave ederek kopigmente etmiştir. Batokromik kaymalar gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Üzüm ekstraktlarına stabilizasyon amacı ile ilave edilen kafeik asit, örneklerin ısıl stabilitesinin 1:1 M konsantrasyonda artırmıştır. pH:3'teki kopigmentasyon hem ışığa hem de ısıya dayanıklı olarak gözlemlenmiştir (Gris ve ark., 2007). Benzer şekilde yaban mersini antosiyaninleri (Sun ve ark., 2022) ve kırmızı şarap (Zhang ve ark., 2022) örneklerine de katılan kafeik asit  $L^*$  değerlerini azaltmış ve  $a^*$  değerlerini artırmıştır. Ayrıca raf ömrü boyunca da antosiyanin kayıplarını en aza indirmişlerdir.

Batokromik kaymanın gözlemlendiği bir diğer çalışmada Çin Myrika antosiyaninleri sinapik asit ile kopigmente edilmiştir.  $L^*$  değerleri azalırken  $a^*$  değerleri artmış ve termal özellikleri de iyileşmiştir (Zhu ve ark., 2020). Yaban mersini şarabına siringik asidin katıldığı benzer çalışmada fermentasyon öncesi ve sonrası daha düşük bir  $L^*$  değeri ve daha yüksek  $a^*$  değeri gözlemlenmiştir. Daha yüksek alkol ve daha düşük şeker konsantrasyonu da elde edilmiştir (Sun ve ark., 2022). Şaraba katılan gallik asit çalışmasında ise gallik asidin yüksek konsantrasyonları antosiyaninleri azaltmıştır. Siyanidin peonidin ve malvidin daha stabil antosiyaninler olmuştur (Zhao ve ark., 2022).

Yaban mersini (Sun ve ark., 2022) ve normal şarap (Zhao ve ark., 2020) örneklerine kuersetinin kopigmente edici ajan olarak katıldığı çalışmalarda yaban mersininde fermentasyon öncesi ve sonrası daha düşük bir  $L^*$  değeri ve  $a^*$  değeri gözlemlenmiştir. Normal şaraplarda ise  $\pi$ - $\pi$  istiflenmesi gözlemlenmiştir. Glikon bileşikleri kopigmentasyonun oluşmasında etkili olmuşlardır.

Hernández-Herrero & Frutos (2015) erik konsantresi antosiyaninlerini rutin ile zenginleştirerek stabilitesini incelemişlerdir. 5 haftalık raf ömrü boyunca rutin ile kopigmente edilmiş ürünler daha iyi bir stabilite göstermiştir. Böğürtlen şarabı posası antosiyaninleri ve sprey kurutulmuş böğürtlen antosiyaninlerinin stabilitesi rutin ilavesi ile artırılmaya

çalışılmıştır. Böğürtlen şarabı posası örneklerinde depolama sonunda daha iyi bir a\* değeri gözlemlenmiştir. Sıcaklık uygulamasında yarılanma süreleri artmıştır. Işık altında bozulma oranları kontrole göre daha az ölçülmüştür. Oksidasyon daha az olmuştur (Fan ve ark., 2019). Böğürtlen örneklerinde ise 35°C'deki yarılanma süresi kontrole göre artmıştır (Weber ve ark., 2017).

Zhao ve ark. (2022) şaraplara kateşin ilave ederek raf ömrü boyunca stabilitesini artırmaya çalışmışlardır. Düşük miktarlarda bile sarı renk oluşmuştur. Depolama süresince renk açılması gözlemlenmekle birlikte, daha düşük miktarlarda bile sarı renk oluşumu gözlemlenmiştir. a\* ve b\* değerinde azalma olmuştur. Benzer şekilde Zhao ve ark. (2020) kırmızı şaraplara epikateşin ilave etmişler ve  $\pi$ - $\pi$  istiflenmelerinin olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1. Fenolik kopigmentasyon ile yapılmış çalışmalar

	Fenolik Bileşik	Konsantrasyon	Bitki/ürün	Antosiyanin	Referans	
Fenolik Asitler	Elajik Asit	300 mg/L	Kırmızı şarap	Delfinidin-3-O-glikozid, Petunidin-3-O-glikozid, Peonidin-3-O-glikozid, Malvidin-3-O-glikozid	Zhang ve ark., 2018	
	Rozamarinik Asit	150 mg/L	Kırmızı şarap	Malvidin-3-O-glikozid	Zhang ve ark., 2021	
	Vanilik Asit	1:0, 1:1, 1:10, 1:20, 1:40, 1:60, 1:80 ve 1:100	Şeker kamışı antosiyaninleri		Xu ve ark., 2022	
	Ferulik asit	1:1, 1:10, ve 1:100			Siyanidin-3-O-glikozid	Kanha ve ark., 2019
		1:0, 1:1, 1:10, 1:20, 1:40, 1:60, 1:80 ve 1:100	Şeker kamışı antosiyaninleri			Xu ve ark., 2022
		0.1 mM örnek 0.25 mM kopigment	Böğürtlen posası antosiyaninleri			Fan ve ark., 2019
	Kafeik Asit	0.5:1, 0.8:1, 1:1	Üzüm ekstraktları			Gris ve ark., 2007
		1:1 M	Yaban mersini	Delfinidin glikozid, Delfinidin galaktozid, Siyanidin glikozid, Siyanidin galaktozid, Siyanidin arabinozid, Petunidin galaktozid, Malvidin glikozid, Malvidin galaktozid, Malvidin arabinozid		Sun ve ark., 2022
		150 mg/L	Kırmızı şarap	Malvidin-3-O-glikozid		Zhang ve ark., 2021
	Sinapik asit	1:0-1:30	Çin Myrica antosiyaninleri			Zhu ve ark., 2020
Siringik asit	0.2 g/L	Yaban mersini şarabı	Delfinidin glikozid, Delfinidin galaktozid, Siyanidin glikozid, Siyanidin galaktozid, Siyanidin arabinozid, Petunidin galaktozid, Malvidin glikozid, Malvidin galaktozid, Malvidin arabinozid		Sun ve ark., 2022	
Gallik asit	1:40 M	Şarap			Zhao ve ark., 2022	
Flavonoidler (flavonoller, flavonlar, flavanoller dihidroflavonoller)	Kuersetin	1:1 M	Yaban mersini	Delfinidin glikozid, Delfinidin galaktozid, Siyanidin glikozid, Siyanidin galaktozid, Siyanidin arabinozid, Petunidin galaktozid, Malvidin glikozid, Malvidin galaktozid, Malvidin arabinozid	Sun ve ark., 2022	
		1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5		Siyanidin-3-O-glikozid, peonidin-3-O-glikozid, Delfinidin-3-O-glikozid, petunidin-3-O-glikozid, and malvidin-3-O-glikozid	Zhao ve ark., 2020	
	Rutin		Erik konsantresi	Siyanidin 3-glikozid and Siyanidin 3-rutinozid	Hernández-Herrero & Frutos, 2015	
		0.1 mM örnek 0.25 mM kopigment	Böğürtlen posası antosiyaninleri		Fan ve ark., 2019	
		1 g örnek 1,48 g rutin	Böğürtlen antosiyaninleri		Weber ve ark., 2017	
	Kateşin ve Epikateşin	1:40 M	Şarap			Zhao ve ark., 2022
1:0, 1:5, 1:10, 1:20, 1:40, 1:80			Siyanidin-3-O-glikozid, peonidin-3-O-glikozid, Delfinidin-3-O-glikozid, petunidin-3-O-glikozid, and malvidin-3-O-glikozid		Zhao ve ark., 2020	

## 2. Sonuç

Antosiyaninler, gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan renk maddelerinin başında gelmektedir. Proses şartlarına olan dayanımları, bu pigmentlerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Son yıllarda enkapsülasyon, açılma ve kopigmentasyon gibi metotlar yardımı ile bu bileşiklerin stabilitesi artırılmaya çalışılmıştır. Kopigmentasyon işlemi, doğal ajanların kullanılması nedeni ile ön plana çıkmaktadır. Hidrojen alıcı ve verici özelliği yüksek olan fenolik bileşiklerin yer aldığı bu yöntemde pigment ve kopigment  $\pi$ - $\pi$  istiflenmeleri ile kompleks oluşturmada ve antosiyanin moleküllerini dış etmenlerden koruyarak renginin kaybolmasını engellemektedir. Ferulik, gallik, sinapik ve siringik asit gibi fenolik asitlerin yanı sıra rutin, kuersetin ve kateşin gibi flavonoidler de bu işlemde kullanılmaktadır. Bu ajanlar yardımı ile stabilitesi artan antosiyaninlerin kullanım alanları artmaktadır. Bu konuda ileride yapılacak çalışmalarda farklı fenolik bileşiklerin de denenerek daha stabil yapı sağlayacak kopigmentlerin eldesi sağlanabilir.

## 3. Kaynakça

- Chien, Y. S., Chang, C. W., & Huang, C. C. (2022). Differential surface partitioning for an ultrasensitive solid-state SERS sensor and its application to food colorant analysis. *Food Chemistry*, 383, 132415.
- Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 180-198.
- Cruz, L., BRAs, N. F., Teixeira, N., Mateus, N., Ramos, M. J., Dangles, O., & De Freitas, V. (2010). Vinylcatechin dimers are much better copigments for anthocyanins than catechin dimer procyanidin B3. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(5), 3159-3166.
- Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou, J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food chemistry*, 275, 299-308.
- Fanzone, M., González-Manzano, S., Pérez-Alonso, J., Escribano-Bailón, M. T., Jofré, V., Assof, M., & Santos-Buelga, C. (2015). Evaluation of dihydroquercetin-3-O-glucoside from Malbec grapes as copigment of malvidin-3-O-glucoside. *Food chemistry*, 175, 166-173.
- FDA, 2020. Overview of food ingredients, additives & colors. Available online: <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/overview-food-ingredients-additives-colors>. (Accessed on 23 November 2020).
- Feng, J., Cerniglia, C. E., & Chen, H. (2012). Toxicological significance of azo dye metabolism by human intestinal microbiota. *Frontiers in bioscience (Elite edition)*, 4, 568.
- Gris, E. F., Ferreira, E. A., Falcão, L. D., & Bordignon-Luiz, M. T. (2007). Caffeic acid copigmentation of anthocyanins from Cabernet Sauvignon grape extracts in model systems. *Food Chemistry*, 100(3), 1289-1296.
- Hernández-Herrero, J. A., & Frutos, M. J. (2015). Influence of rutin and ascorbic acid in colour, plum anthocyanins and antioxidant capacity stability in model juices. *Food Chemistry*, 173: 495-500.
- Kanha, N., Surawang, S., Pitchakarn, P., Regenstein, J. M., & Laokuldilok, T. (2019). Copigmentation of cyanidin 3-O-glucoside with phenolics: Thermodynamic data and thermal stability. *Food Bioscience*, 30, 100419.
- Kay, C. D., Pereira-Caro, G., Ludwig, I. A., Clifford, M. N., & Crozier, A. (2017). Anthocyanins and flavanones are more bioavailable than previously perceived: A review of recent evidence. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8, 155-180.
- Luo, C. L., Zhou, Q., Yang, Z. W., Wang, R. D., & Zhang, J. L. (2018). Evaluation of structure and bioprotective activity of key high molecular weight acylated anthocyanin compounds isolated from the purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L. cultivar Eshu No. 8). *Food Chemistry*, 241, 23-31.
- Marković, J. M. D., Petranović, N. A., & Baranac, J. M. (2005). The copigmentation effect of sinapic acid on malvin: A spectroscopic investigation on colour enhancement. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 78(3), 223-228.
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, 25(17), 3809.
- National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 145858, Flavylium. Retrieved April 3, 2022 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Flavylium>.
- Neves, M. I. L., Silva, E. K., & Meireles, M. A. A. (2021). Natural blue food colorants: Consumer acceptance, current alternatives, trends, challenges, and future strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 163-173.
- Robinson, G. M., & Robinson, R. (1931). A survey of anthocyanins. I. *Biochemical Journal*, 25(5), 1687.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20-26.
- Sadar, P., Dande, P., Kulkarni, N., & Pachori, R. (2017). Evaluation of toxicity of synthetic food colors on human normal flora and yeast. *International Journal of Health Sciences and Research*, 7(8), 110-114.
- Santos-Buelga, C., González-Paramás, A.M. (2019). Anthocyanins Encyclopedia of Food Chemistry (pp. 10–21), 10.1016/B978-0-08-100596-5.21609-0
- Shen, Y., Zhang, N., Tian, J., Xin, G., Liu, L., Sun, X., & Li, B. (2022). Advanced approaches for improving bioavailability and controlled release of anthocyanins. *Journal of Controlled Release*, 341, 285-299.
- Sun, X., Shokri, S., Gao, B., Xu, Z., Li, B., Wang, Y., & Zhu, J. (2022). Improving effects of three selected co-pigments on fermentation, color stability, and anthocyanins content of blueberry wine. *LWT*, 113070.
- Teixeira, N., Cruz, L., Brás, N. F., Mateus, N., Ramos, M. J., & de Freitas, V. (2013). Structural features of copigmentation of oenin with different polyphenol copigments. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(28), 6942-6948.
- Trouillas, P., Sancho-García, J. C., De Freitas, V., Gierschner, J., Otyepka, M., & Dangles, O. (2016). Stabilizing and modulating color by copigmentation: Insights from theory and experiment. *Chemical reviews*, 116(9), 4937-4982.
- Weber, F., Boch, K., & Schieber, A. (2017). Influence of copigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from blackberry. *LWT*, 75, 72-77.
- Xu, Z., Wang, C., Yan, H., Zhao, Z., You, L., & Ho, C. T. (2022). Influence of phenolic acids/aldehydes on color intensification of cyanidin-3-O-glucoside, the main anthocyanin in

- sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Food Chemistry*, 373, 131396.
- Zhang, B., Wang, X. Q., Yang, B., Li, N. N., Niu, J. M., Shi, X., & Han, S. Y. (2021). Copigmentation evidence of phenolic compound: The effect of caffeic and rosmarinic acids addition on the chromatic quality and phenolic composition of Cabernet Sauvignon red wine from the Hexi Corridor region (China). *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104037.
- Zhang, X. K., He, F., Zhang, B., Reeves, M. J., Liu, Y., Zhao, X., & Duan, C. Q. (2018). The effect of prefermentative addition of gallic acid and ellagic acid on the red wine color, copigmentation and phenolic profiles during wine aging. *Food Research International*, 106, 568-579.
- Zhao, X., & Yuan, Z. (2021). Anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) and their role in antioxidant capacities in vitro. *Chemistry & Biodiversity*, 18(10), e2100399.
- Zhao, X., Ding, B. W., Qin, J. W., He, F., & Duan, C. Q. (2020). Intermolecular copigmentation between five common 3-O-monoglucosidic anthocyanins and three phenolics in red wine model solutions: The influence of substituent pattern of anthocyanin B ring. *Food Chemistry*, 326, 126960.
- Zhao, X., He, F., Zhang, X. K., Shi, Y., & Duan, C. Q. (2022). Impact of three phenolic copigments on the stability and color evolution of five basic anthocyanins in model wine systems. *Food Chemistry*, 375, 131670.
- Zhu, Y., Chen, H., Lou, L., Chen, Y., Ye, X., & Chen, J. (2020). Copigmentation effect of three phenolic acids on color and thermal stability of Chinese bayberry anthocyanins. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3234-3242.





# Entegre Kentsel Su Yönetimi, Kentsel Su Güvenliği ve Değerlendirme Yöntemi Üzerine Bir Çalışma

Cengiz Koç<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000 0001 7310 07 3X) [cengizko9@gmail.com](mailto:cengizko9@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 16 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1104414)

**ATIF/REFERENCE:** Koç, C. (2022). Entegre Kentsel Su Yönetimi, Kentsel Su Güvenliği ve Değerlendirme Yöntemi Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 282-295.

## Öz

Günümüzde birçok kent su kaynağı ve yönetimi açısından önemli güçlükler ile karşı karşıyadır. Entegre Kentsel Su Yönetimi, sürdürülebilir ekonomik, sosyal ve çevresel amaçlara ulaşabilmek için kentsel gelişme ile havza yönetimini aynı ekseninde ele almayı gerektirir. Arazi kullanım planlaması ve ekonomik kalkınma, su temini, sanitasyon, yağmur suyu ve atık su yönetim konularıyla birlikte bir bütün olarak ele alınmalıdır. Entegre Kentsel Su Yönetim yaklaşımı, kamuoyu oluşturma ve siyasi karar alma süreçlerinde bölünme veya tekrardan sakınmak için su sektörünü planlarken arazi, konut, enerji ve ulaşım gibi diğer kentsel sektörleri de bütünleştirmelidir. Birçok ülkede kentsel su güvenliğini sağlamak oldukça zordur. Az sayıdaki çalışma, su güvenliğini bölgesel düzeyde değerlendirirken, birçok çalışma, kentsel düzeyde başarılı olmak amacıyla ölçümlerin uygulanması ve su güvenliğini değerlendirmenin eksikliğini vurgulamıştır. Kentsel su güvenliğini ölçmeye odaklanan çalışmalar bütünsel olmayıp, su güvenliğinin mevcut durumunu ve dinamiklerini ölçmek için bir değerlendirme çerçevesinin nasıl tanımlanacağı ve kullanılacağı konusunda hala fikir birliğine varılamamıştır. Günümüzde, kentsel su güvenliğinin açıkça tanımlanmış ve geniş çapta onaylanmış bir tanımı da yoktur. Bu zorluğun üstesinden gelmeyi amaçlayan bu çalışma, kent yerleşimi ve kentsel alanlarda uygulanabilecek bir değerlendirme çerçevesi ve kentsel su güvenliğini daha iyi anlamak için sistematik bir iş tanımlaması sağlayacaktır. Kentsel su güvenliğinin önerilen iş tanımı Birleşmiş Milletler'in su ve sanitasyonla ilgili sürdürülebilir kalkınma hedefine ve insan haklarına dayanmaktadır. Kentsel su güvenliğini sağlamak için kullanılan değerlendirme çerçevesi, içme suyu ve insanlar, ekosistem, iklim değişikliği ve suyla ilgili tehlikeler ve sosyo ekonomik faktörleri temel almaktadır. Bu çerçeveyi uygulamak hükümetlere, politikacılara ve su paydaşlarına kıt kaynakları daha etkili ve sürdürülebilir bir hedefleme konusunda yardımcı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Entegre kentsel su yönetimi, Kentsel su güvenliği, İçme suyu, Sanitasyon, Ekosistem, Sosyo-ekonomik, İklim değişikliği, Su-kıt şehirler, Halk sağlığı.

## A Study on Evaluation Method and Urban Water Security, Integrated Urban Water

### Abstract

Today, many cities are faced with significant difficulties in terms of water supply and management. Integrated Urban Water Management requires addressing together urban development and watershed management in order to achieve sustainable economic, social and environmental objectives. All of the water supply, sanitation, rainwater and wastewater management issues should be considered as a whole with land use planning and economic development. The purpose of an Integrated Urban Water Management approach is to integrate with other urban sectors such as land, housing, energy and transport with planning water sector in order to avoid fragmentation or recurrence in the process of policy making and decision making. In many countries, it is very difficult to ensure urban water security. While few studies have assessed water security at the regional level, many have highlighted the lack of assessment of water security and implementation of measures in order to be successful at the urban level. Studies focused on measuring urban water security are not holistic, and there is still no consensus on how to define and use an assessment framework to measure the current state and dynamics of water security. Currently, there is no clearly defined and widely approved definition of urban water security. This study, aiming to cope with this challenge, will provide an assessment framework applicable to urban settlement and urban areas, and a systematic work description to better understand urban water security. The proposed work description of urban water security is based on the United Nations' sustainable development goal regarding water and sanitation, and human rights. The assessment framework used to ensure urban water security is based on drinking water and people, ecosystem, climate change and water-related hazards and socio-economic factors. Implementing this framework will help governments, politicians and water stakeholders target at scarce resources more effectively and sustainably.

**Keywords:** Integrated urban water management, Urban water security, Drinking water, Sanitation, Ecosystem, Socio-economic, Climate change, Water-scarce urbans, Public health.

\* Sorumlu Yazar: [cengizko9@gmail.com](mailto:cengizko9@gmail.com)

## 1. Giriş

Dünya, ağırlıklı olarak insan yerleşimlerinin ve ekonomik faaliyetlerin hakim olduğu kentsel haline gelmektedir. Birleşmiş Milletler (UN) World Urbanization Prospects 2018 yılı raporuna göre dünya nüfusunun yarısından fazlası (4,2 milyar insan) kentsel alanlarda yaşamakta ve bu sayının 2050 yılına kadar %68 artarak 2,5 milyar kişiye ulaşması beklenmektedir. Kentleşme, kentsel su güvenliği ve ekonomik büyümeyle birlikte hareket etmektedir. Sürdürülebilir büyüme için hızlı kentleşmenin kentsel su güvenliği üzerine etkilerinin ulusal ve belediye kalkınma gündeminin merkezinde olması gerekmektedir (Maheshwari vd., 2016; Artioli vd., 2017; Scanlon vd., 2017). Kentsel su güvenliği kavramı çok yönlü olup, kentsel metabolizma, ekolojik güvenlik, entegre kentsel su yönetimi, su-enerji-gıda güvenlikleri ağı, risk yönetimi, esnek ve uyarlanabilir su yönetimi ve suya duyarlı şehirler gibi daha geniş çerçeve ve kavramlar ile ilişkilidir (Maheshwari vd., 2016; Artioli vd., 2017; Scanlon vd., 2017; Aboelnga vd., 2018; Brown vd., 2009). Bu çerçeveler arasındaki sinerji ve değişimlerin açık olarak anlaşılması, kentsel su güvenliğinin ne anlama geldiği konusunda daha fazla netlik sağlayacak, kentsel düzeyi kapsayan su güvenliği kavramının sistematik olarak kullanılmasına yardımcı olacaktır. Kentsel alanlar, büyük geçişler yaşamakta, nüfus ve ekonomik büyüme nedeniyle artan talep baskısı taşkın ve kuraklık gibi iklim değişikliği aşırılıklarıyla karşı karşıya kalmaktadır (Sadoff, 2005; Haddeland vd., 2014). Bu koşullar, yetersiz su ve sanitasyon hizmetleri, başarısız yağmur suyu yönetimi, su kalitesi ve ekosistem bozulması, sosyo-ekonomik kalkınma, insan ve su güvenliği için tehdit oluşturmaktadır (Wheater & Gober, 2015; UNESCO, 2019; Gheuens vd., 2019). Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın %80'ni kentlerde üretildiği için kenterin ekonomi üzerine önemli etkileri bulunmaktadır (UNESCO, 2019). Bu nedenle, kentsel su güvenliğini sağlamanın gerektiği gibi dikkate alınmaması, insanlığın gıda, ekonomik, ekolojik ve ulusal güvenliğini tehdit edebilecek acil bir sorundur (Jimenez vd., 2014; World Economic Forum, 2015; Steffen vd., 2015; Mekonnen & Hoekstra, 2016; Hartley vd., 2017; Gerlak vd., 2018). Su güvenliği, politikacılar ve hükümetler için sağlanması gereken önemli önceliklerden birisidir. Bir kavram olarak su güvenliği, son yirmi yılda bir dizi çalışma ve tartışmada daha fazla dikkate alınmış ve kentsel su yönetimine değer katmaya odaklanan araştırmacılar, geliştirme paydaşları ve politikacılar arasında ortak bir değer haline gelmiştir (Chad & Christopher, 2018; Vorosmarty vd., 2010). Çoğu su güvenliği değerlendirmesi, yerel düzeyde her zaman uygulanabilir olmayan bölgesel ve ulusal düzeyde gerçekleştirilmiştir. Su güvenliği kavramı, ulusal, politik, teknik veya insan güvenliği gibi farklı şekillerde düşünüldüğü zaman disiplinler arasında kullanılan farklı tanımlamalar, yorumlar ve değerlendirmeler ile karmaşık bir hale gelmektedir (Pahl-Wostl, 2007; Bakker, 2012; Garfin vd., 2016; Halbe vd., 2013; Van & Arriens, 2014; Grey & Sadoff, 2007). Su güvenliği, entegrasyon, sürdürülebilirlik, uyarlanabilirlik, esneklik, su, enerji ve gıda bağı gibi ilgili kavramlar ile birlikte su yönetiminin birincil amacıdır (Biswas, 2004; Clement, 2013). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, geçen on yılda su güvenliği için çok sayıda tanım ve değerlendirme çerçevesinin evrimini göstermiştir (Allan vd., 2018). Ancak, kentsel düzey de dahil olmak üzere su güvenliğinin mevcut durumunu ve dinamiklerini ölçmek için bir değerlendirme çerçevesinin nasıl işlevsel hale getirileceği ve tanımlanacağı konusunda hala üzerinde anlaşmaya varılmış bir

anlayış bulunmamaktadır. Ayrıca, kentsel su güvenliğinin açık ve yaygın olarak onaylanmış bir tanımı yoktur (Clement, 2013; Allan vd., 2018; Cook vd., 2013; Nazif vd., 2013; Howlett & Cuenca, 2017; Damkjaer & Taylor, 2017). Su güvenliği farklı şekillerde çerçevelendirilir; bazı çerçeveler risklere odaklanırken, diğerleri insan ihtiyaçlarını karşılamak için su kaynaklarının geliştirilmesine odaklanan geniş bir anlayışı benimsemiştir (Giordano, 2017; Garrick & Hall, 2014). Su güvenliğinin yaygın olarak kullanılan üç tanımı arasında önemli bir benzerlik ve örtüşme vardır: Bunlar, Global Water Partnership, World Bank (Grey & Sadoff, 2007), and UN-Water (Zeitoun vd., 2016; Hoekstra vd., 2018; Global Water Partnership, 2000; UN-Water, 2013). UN-Water, tüm perspektifleri ve boyutları yakalayan bütünsel ve disiplinler arası bir tanımı benimsemesi nedeniyle ulusal su güvenliği çerçevesinin temelini oluşturmaktadır. Çoğu ulusal su stratejisi, bir süreç olarak ve su güvenliğini sağlamak ve suyu topluma ilişkilendirmek için iyi bir çerçeve olarak entegre su kaynakları yönetimi (ESKY) ilkesi üzerine inşa edilmiştir (Hussein, 2019). Ancak, ESKY uygulaması, su yönetiminin zorluklarına, belirsizliklerine ve karmaşıklığına kapsamlı çözümler sunmadığı için eleştirilmektedir (Phillis vd., 2017). Birçok çalışma, yerel düzeyde su güvenliği önlemlerini uygulama ve su güvenliği değerlendirme eksikliğini vurgulamıştır (Cook & Bakker, 2012; Grey vd., 2013; Srinivasan vd., 2017). Bunlar, kentsel su sorunlarını etkili bir şekilde ele almak ve karar vericilere kentsel su güvenliğini sağlamak için güçlü politika araçları ve önlemleri sağlamak için yerel düzeyde su güvenliği dinamiklerindeki önemli farklılıkları yansıtmalıdır (Allan vd., 2018; Rouse, 2013). Su güvenliğine ilişkin geniş tanımlar ve değerlendirme çerçeveleri arasında su güvenliği konusunda farklı bakış açıları sağlamak için şehir düzeyinde birçok iyi yapılandırılmış göstergeler dizisi uygulanmıştır (Falkenmark, 1989). En yaygın kullanılan göstergeler, su stresi indeksi ve su yoksulluk indeksi gibi bağımsız indekslerdir (Sullivan, 2002; Lawrence vd., 2002; Jensen & Wu, 2018). Bu indeksler, şehir düzeyi de dahil olmak üzere her düzeyde uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, kentsel su güvenliğinin dinamiklerini ve çeşitli yönlerini yakalayacak kadar belirgin değildirler (Gassert vd., 2014 Komnenic vd., 2009; ADB, 2013). Ayrıca, kullanılan eşikler genellikle keyfidir ve bilimsel ilkelere dayanmaz. Ulusal su güvenliği sıralamasının bir parçasını oluşturan Asya Kalkınma Bankası'nın kentsel su güvenliği indeksi (ADB, 2016; Van Leeuwen, 2013) gibi kompozit göstergeler, tüm kentsel alanların ortalamalarını kullanır, bu nedenle kentsel düzeydeki karar vericiler tarafından kullanılması bir ölçüde uygundur. Kentsel su güvenliği sorunlarını tespit etmek için şehir planı çerçevesinde şehre özgü bir su endeksi geliştirilebilir ve uygulanabilir (Phillis vd., 2017; Van Leeuwen vd., 2016; Siemens, 2012; Arcadis, 2015; Berg, 2000) ancak, farklı şehirlerde entegre su kaynakları yönetim uygulamasını özel olarak ölçmeyi ve şehirleri sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlardaki dirençleri açısından kıyaslamayı amaçlamalıdır (Berg, 2000; Berg & Marques, 2011; Danilenko vd., 2014; WEF, 2019). Bu çalışma, entegre kentsel su yönetimini, kentsel su güvenliğinin farklı boyutlarına sahip yeni bir çalışmayı tanımlama ve değerlendirme çerçevesi sağlayarak mevcut olan bilgi açığını kapatmayı amaçlamaktadır.

## 2. Entegre Kentsel Su Yönetimi

Entegre Kentsel Su Yönetimi'nin (EKSU) ardındaki fikir, tutarlı bir çerçevenin bir parçası olarak tüm kentsel su sistemini ele

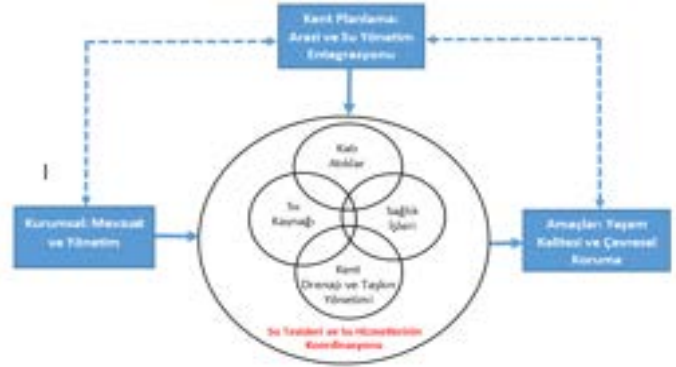
almaktır (Srinivas, 2009). Şekil 1, EKSY'nin bir araya getirdiği birbiriyle ilişkili aktivitelerden bazılarını açıklamaktadır. EKSY'nin geleneksel kent su yönetiminden farklılaştığı konular aşağıda sıralanmaktadır.

- Kentsel bir havzada mevcut olan farklı su kaynaklarını (yüzey suyu, yeraltı suyu, yağmur suyu, atıksu, tuzdan arındırılmış su) ve ilişkilerini birlikte ele alır,
- Farklı su kaynaklarının kalitesini (geri kazanılmış su dâhil) göz önünde bulundurur ve farklı ihtiyaçlar için gereken kalite ile eşleştirmeye çalışır,
- Su depolama, dağıtım, arıtma, geri dönüşüm ve bertaraf süreçlerini ayrı faaliyetler yerine bütünlük içerisinde bir döngünün parçası olarak inceler ve altyapıyı buna göre planlar,
- Mevcut su kaynaklarının kaynağında korunması ve kullanılması için planlar,
- Şehir ile aynı su kütlelerine bağlı olan diğer kullanıcı (kırsal yerleşim) ve arazilerin çeşitlerini dikkate alır,
- Şehirler için suyu yöneten resmi (kuruluşlar, mevzuat ve politikalar) ve resmi olmayan kurumların geniş bir aralığını dikkate alır,
- Ekonomik etkinliği, sosyal eşitliği ve çevresel sürdürülebilirliği dengelemeyi amaçlar,

EKSY daha geniş bir kapsam içerisinde yer almaktadır. EKSY'nin geleneksel hidrolojik analiz ve yönetim birimi havzadır (Koç, 2015). Şehirlerin havzaların önemli bir parçası olduğu göz önünde alındığında, EKSY'nin kentsel su sektörünün kırsal su kaynağı, tarım, endüstri ve enerji gibi kentsel sınırların dışında kent su sektörünün uyumuna izin vermek için havza bağlamında EKSY planları ve yönetim süreçleriyle bağlantılı olması gerekmektedir. EKSY kendi içinde bir son değil, bir bütünün parçasıdır. Bu nedenle, su güvenliğiyle ilgili olarak bir havza alt sistemini izlemek için bir araçtır (Koç vd., 2018).

EKSY için çerçeve, sistem mühendisliği yaklaşımlarını içeren entegre bir kentsel su döngüsü modelini temel almaktadır (Şekil 2). EKSY geri dönüşüm programlarının entegrasyonu (gri-su, geri kazanılmış su ve yağmur suyu hasadı) kadar standart kentsel su akışlarını da (içme suyu, atık su ve akış) dikkate almaktadır. Su, enerji ve gıda ilişkisinde olduğu gibi farklı kentsel kaynak akışları arasındaki ilişkiler entegre su yönetim modelinde ele alınmalıdır. Sistem yaklaşımı, kentsel su döngüsünün fiziksel özellikleriyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda kurumsal, mali ve politik yapılarını da kapsamaktadır. Bu nedenle, insanlar ve oluşturduğu çeşitli örgütsel/organizasyon şekilleri kentsel su sisteminin ayrılmaz unsurlarıdır (van der Steen ve Howe, 2009). EKSY sistem modelinin sınırları yan etkileri önlemek için yeterince geniş tutulmalıdır. Çok dar tutulan sistem sınırları bireysel alt sistemlerin zararlı bir alt optimizasyonuna neden olabilir. Kentsel su döngüsü içerisinde yer alan çevresel ilişkiler vurgulanmalıdır. Bu ilişkiler göz ardı edildiğinde, kentsel su döngüsünün farklı unsurları arasındaki etkileşimler birbirini olumsuz yönde etkilerken, aynı zamanda pozitif sinerji de gözden kaçırılabilir. Karmaşık etkileşimleri ve ilişkileri yakalamak için EKSY modelleme araçları sistem genelinde olası müdahalelerin etkilerini tahmin etmelidir. Şehir ölçeğinde su, enerji ve kirleticilerin dinamik dengelerini değerlendirerek EKSY'ni destekleyebilecek bir dizi farklı karar-destek ve kapsam modeli bulunmaktadır. Bu araçlar, kentsel su yönetimi için yenilikçi teknolojilerin ve sistemlerin kısa ve uzun vadeli etkileri hakkında rehberlik sağlamak üzere tasarlanmış (Bates vd., 2010) olup, su tüketimi, maliyetler ve enerji kullanımını en aza indiren sistem yapılandırmalarını tanımlamaya da yardımcı olmaktadır. Her ölçeğe veya bölgeye uyabilen EKSY modeli

bulunmamaktadır. Su yöneticileri, ölçek seçiminin etkilerini dikkate almalıdır. Doğal ve sosyal faktörlere bağlı olarak çeşitli sınır seçenekleri vardır. Bununla birlikte, her biri ülkelere, bölgelere, havzalara ve belediyelere karşılık gelen yönetimin iç içe geçmiş seviyelerine sahip olacaktır.



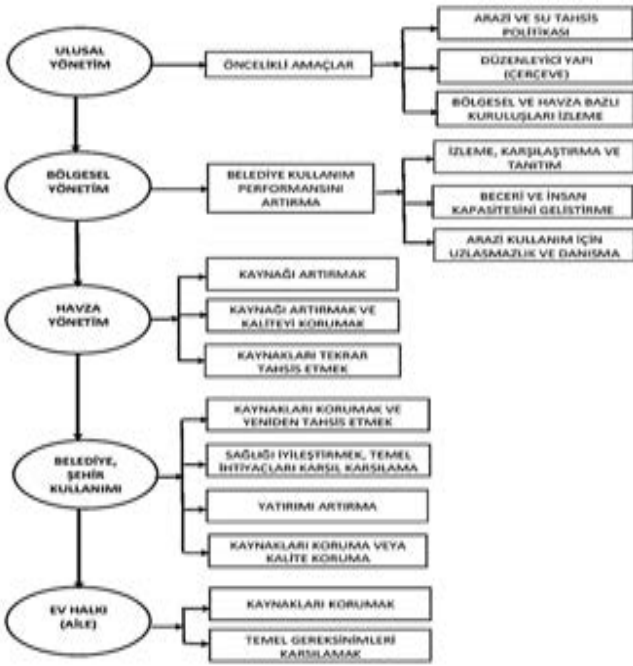
Şekil 1. Entegre Kent Su Yönetimi (Tucci, 2009)(Figure 1. Integrated urban water management(Tucci, 2009)

EKSY'nin uygulanması, tutarlı yasal ve politik çerçeveler tarafından desteklenen kamu ve özel aktörler ile birlikte uygun bir kurumsal yapının oluşturulmasını gerektirir. Suya erişim ve kullanımı sağlamak ve kullanıcılar arasında oluşabilecek çatışmaları önlemek için tüm karar verme aşamalarında uyumlu bir eyleme ihtiyaç duyulurken, şehir yönetimleri sürdürülebilir kentsel kalkınmanın önünü açmak için daha fazla rol oynamalıdır. Şehirlerdeki su yöneticileri ve karar vericilerin harekete geçmesi zorunludur. EKSY için gerekli politik ve kurumsal düzenlemelerin bazıları aşağıda sunulmakta olup, bunlar;

- Eşitlik ve etkinlik amaçlarını dengelerken, paydaş taleplerini dikkate alarak mevcut su kaynaklarını önceden belirlemek, paylaşmak ve yönetmek için kapsamlı politikalar ve stratejiler geliştirmek,
- Kaynakların sürdürülebilir yönetimiyle ilgili analizler, seçimler ve kararlarda yer alan kullanıcı alt-sektörlerini tutmak,
- Mega kentler için yeni su kaynaklarına yönelik seçimlerin ekonomik kalkınma amaçları, sosyal eşitlik ve ülkenin geri kalanının su ihtiyacını olumsuz etkilememesini sağlamak,
- Kısa vadeli finansal hesaplamaların ötesine geçen ve sürdürülebilir çevre yönetiminin etkilerini ciddiye alan uzun vadeli planlama kültürünü teşvik etmek,
- Hem “yumuşak” (kurumsal gelişim ve kapasite geliştirme) hem de “sert” (büyük ve küçük altyapı) sürdürülebilir çözümlere, özellikle kapalı döngü sistemlerine yatırım yapmak,
- Gelişmiş veri kalitesi, yönetmelik ve politikaya yönelik güvenilir bilgi kaynaklarıyla daha etkili izleme sistemleri uygulamak,

Son yirmi yılda gelişen serbest piyasa yaklaşımları kentsel toplulukların temel ihtiyaçlarını karşılama çabalarına ağırlık vermiştir. Bu yaklaşımlar, verimsiz ve tepkisiz olarak nitelendirilen kamu hizmetlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Piyasa liderliğindeki stratejilerin, verimliliği artırması, yeni finansal akışlar yaratması ve daha fazla hesap verebilirlik sağlaması beklenmektedir (UNDP, 2006). Ekonomik verimlilik, sosyal eşitlik ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi kurmak ve sürdürmek için merkezi yönetimler, suyu devlet mülkiyeti haline getiren ve su tahsisi için bütünlük bir çerçeve sağlayan yasalar çıkarmayı tercih etmektedir.

Hidrolojik sınırlar nadiren idari sınırlar ile örtüşmektedir. Şehir yönetiminin gözetimi altındaki kentsel havzalar devlet veya ulusal sınırları aşan havzalar içerisinde yer alabilmektedir. Merkezi hükümetler, kent-kırsal sürekliliğinin tamamını kapsayan şehirleşme ve su yönetimi üzerine ülke çapında perspektiflerin dile getirilmesine aracılık etmelidir. Köyleri, kasabaları ve şehirleri bütünleştiren geniş ekonomik alanlar için politika oluşturmayı seçerken, merkezi yönetimler kırsal ve kentsel alanlar arasındaki yaşam standardı farklılıklarını ortaya çıkarmalıdır (ADB, 2011). Merkezi hükümetler, bakanlıklar veya bölümlere sorumlulukları devretmek ve ülkenin politik gündeminde kentsel kalkınma ve su yönetiminin durumunu tanımlayacak bir konumda olmalıdır. Merkezi yönetimler, kaynak yönetimi konusundaki görüşmeler için tüm paydaşları bir araya getirme yetkisine sahiptir.



Şekil 2. Yönetimin farklı seviyeleri için entegre kent su yönetiminin amaçları (Figure 2. Objectives of integrated urban water management for different levels of management)

Merkezi yönetim önemli bir rol oynamasına karşın kentsel planlama konularına ilişkin kararlar, kendilerini etkileyenlere mümkün olduğunca yakın bir şekilde alınmalıdır. Bu koşul, âdemi merkezîyet sisteminin tam olarak gerçekleşmesini gerektirmektedir. İdari görevlerin devredilmesinin yanında yerel yönetimler politik ve mali yönden de güçlendirilmelidir. Bu yapı, kentsel ve kırsal yetkililer, ulusal ve yerel düzeyde karar vericiler ile kamu ve özel sektör arasında yeni ve daha güçlü ilişkilerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Şehirlerin hızlı büyümesini sürdürülebilir şekilde yönetmek, etkin yerel yönetim, kentsel planlama uzmanları açısından daha fazla kapasite, yerel düzeyde daha fazla kaynak kullanımı ve kentsel gelişmenin daha önceki idari sınırları aştığı alanlarda belediye sınırlarının yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Özellikle, EKSY, su temini, sağlık, yağmur suyu ve toplam sıvı ve katı atıklar gibi kentsel su hizmetlerinin unsurlarını planlama ve yönetiminin geliştirilmesini gerektirir.

Verilen bu hizmetlerin tümü birbirleriyle ilişkilidir. Bu tesislerin kurumsal yönetimi genellikle merkezi bir güçlük oluşturmaktadır. Dünyanın birçok yerinde, şehir planlaması,

belediyeler içinde ayrı bir bölümü oluşturmakta ve planlama ile diğer bölümler arasındaki bütünlüğü sağlanmaktadır. Bu durum, kentsel alanın daha çok parçalanmasına ve verimsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Mekânsal planlar ve altyapı planları arasında üst seviyede bir uyum yoktur.

### 3.Kentsel Su Güvenliğini Değerlendirmek için Metodoloji

Önerilen çerçeve, kentsel su güvenliği tanımına dayalı göstergeler oluşturmak için standart bir metodoloji kullanarak mevcut ve gelecekteki su güvenliği durumunu bilimsel olarak değerlendirmek için kentsel su güvenliği ihtiyaçlarına ve kendine özgü özelliklerine göre geliştirilmiştir.

Kentsel su güvenliğini işlevsel hale getirme metodolojisi; (1) su kıtlığı olan bir şehirde suyun nasıl yönetildiğini anlamak; (2) kentsel su güvenliğiyle ne anlatmak istediğimiz; (3) daha sonra bir çalışma tanımı önermek; (4) su ve sanitasyon için Birleşmiş Milletler'in insan haklarına ilişkin sürdürülebilir kalkınma hedefini içeren bir çalışma tanımına dayalı bir kentsel su güvenliği çerçevesini uygulamaya koymak; (5) bu çerçeveyi karar vericiler için değerlendirmek ve yorumlamak; ve (6) endeksin ölçülmesi (Şekil 3) (Aboelnga vd., 2019).



Şekil 3. Kentsel su güvenliğini değerlendirmek için akış şeması (Figure 3. Flow chart for assessing the urban water security)

#### 3.1. Kentsel Su Sistemini Anlamak

2019 yılı Küresel Riskler raporuna göre birçok şehir, tatlı su kaynaklarının miktarı ve kalitesi üzerindeki olasılık ve etki açısından en büyük küresel tehditlerden biri olarak derecelendirilen su kaynağı kriziyle suyun tükenme riskiyle karşı karşıyadır (Kala & Sunil, 2007). Kentsel sistemlerde su kaynağının tipik tarzı sürekli ve güvenli temiz içme suyu sağlamak için tasarlanmıştır. Günümüzde artan şehirleşme ve iklim değişikliği su temini üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır, bunun sonucu olarak 1,2 milyar insan aralıklı su temini sistemleri altında günde 24 saatten daha az su almaktadır (Sashikumar vd., 2003; Ingeduld vd., 2006; LeChevallier vd., 2003). Aralıklı su temini, su kalitesinin bozulması ve halk sağlığı sorunlarına, artan sızıntı, hızlanan aşınma ve yıpranma, yasadışı kullanımlara, düşük hizmet kalitesi ve etkisiz talep yönetimiyle birlikte ciddi kentsel su güvensizliğine neden olmaktadır (Choe vd., 1996; Coelho vd., 2003; Aboelnga vd., 2018). Kentsel su güvenliği için bir değerlendirme çerçevesi geliştirmenin başlıca amacı kentsel su sistemini ve

güvensizliğini etkileyen faktörleri daha iyi tanımlamaktır. Bu nedenle, ilk adım, “su nasıl işletilmeli ve yönetilmeli, altyapı üzerindeki kısıtlamalar nelerdir ve kentsel su güvenliğini sağlamak için altyapıya hangi stratejiler getirilmelidir” sorularını yanıtlamak için mutlaka bir teşhis yaklaşımının ortaya konmasıdır. Ürdün’de su kıtlığı yaşayan Madaba kenti koşulunda bir su dengesi yürütmeyi özetleyen bir makalede (Aboelnga vd., 2018; Saidan vd., 2019), giriş ve çıkış akımlarının ölçülmesi, dağıtım şebekesinde oluşan yüksek düzeydeki su kayıplarının nedenleri, su sisteminin güvensizliği, suyla ilgili riskler, değişen iklim ve artan talep nedeniyle kesintili su temini gibi suyla ilgili ortaya çıkan sorunlara neden olan hassasiyetler detaylandırılmıştır. Çalışma, gelir getirmeyen suyu sistematik olarak devreye sokmanın bir yolu olarak; altyapı, onarım, ekonomik farkındalık ve baskı çerçevesi aracılığıyla kentsel su güvenliğini etkileyen önemli bir su kaybı bileşeni olan fiziksel kayıpları azaltmaya yönelik öneriler sunmuştur (Aboelnga vd., 2018).

### 3.2. Kentsel Su Güvenliğinin Temel Tanımı

İkinci adım, “kentsel su güvenliği” terimini tanımlamayı içerir. Çalışma tanımı, sistemin değerlendirileceği kriterleri ve kıyaslamaları belirler. Kentsel su güvenliğinin yaygın olarak kabul edilen bir tanımı yoktur (Allan vd., 2018). Yaygın olarak atıfta bulunulan tanımlar açısından yapılan bir inceleme sadece üçü kentsel düzeyle ilgili olan 25 su güvenliği tanımı belirlemiştir (Falkenmark, 1986). GWP (2000) göre su güvenliği, hane halkından küresele kadar her düzeyde su güvenliği, doğal çevrenin korunmasını ve geliştirilmesini sağlarken, herkesin temiz, sağlıklı ve üretken bir yaşam sürmek için uygun bir maliyetle yeterli ve güvenli suya erişebilmesidir. World Bank-Grey&Sadoff (2007) göre su güvenliği, sağlık, geçim kaynakları, ekosistemler ve üretim için kabul edilebilir bir miktar ve kalitede suyun mevcudiyeti ile birlikte insanlara, çevreye ve ekonomilere yönelik kabul edilebilir suyla ilgili bir risk seviyesidir. UN-Water (2003) göre su güvenliği, bir nüfusun geçim kaynaklarının, insan sağlığının ve sosyo-ekonomik kalkınmanın sürdürülmesi, su kaynaklı kirlilik ve suyla ilgili felaketlere karşı korumanın sağlanması, ekosistemleri barış ve siyasi istikrar ortamında korumak için yeterli miktarlarda ve kabul edilebilir kalitede suya sürdürülebilir erişimi güvence altına alma kapasitesidir.

### 3.3. Kentsel Su Güvenliğinin Önerilen Çalışma Tanımı

Kentsel su güvenliğini ortaya koyan bir kavram oluşturabilmek için mevcut tanımlar incelendiğinde UN-Water (2003) tanımının daha genel ve bütüncül olduğu görülmektedir. Daha kullanışlı tanımlar için daha fazla analiz ve şartname gerekmektedir. BM su güvenliği, sürdürülebilir su yönetimi sağlamak için farklı boyutlara ve çapraz sektörlerle sahip geniş bir çerçeveye dayanmaktadır. Bu çalışma, kentsel su güvenliğine yerleştirilen farklı unsurları belirten 64/292 sayılı kararda temiz su ve sanitasyonun sürdürülebilir kalkınma hedefi bağlamında UN su ve sanitasyon insan haklarından perspektifler üretmek için UN-Water tanımındaki değişiklikleri önermektedir (UNESCO, 2019). Her koşula uyabilen bir önerme olmayacağı için yeterli ve kabul edilebilir olan tanımda yer alan anlaşılması zor terminolojileri tanımlamak için su paydaşlarının rolünü vurgulayan bir kentsel su güvenliği tanımı öneriyoruz. Bu nedenle, kentsel su güvenliği, geçim kaynaklarını sürdürmek için uygun bir maliyetle sürekli, fiziksel ve yasal olarak mevcut olan

yeterli miktarda ve kabul edilebilir kalitede suya sürdürülebilir ve adil erişimi sağlamak için su sisteminin ve su paydaşlarının dinamik kapasitesi, insan refahı ve sosyo-ekonomik kalkınma, su kaynaklı kirlilik ve suyla ilgili afetlere karşı koruma sağlamak ve barış ve siyasi istikrar ortamında ekosistemleri korumak, olarak tanımlanabilir.

## 4. Kentsel Su Güvenliğini Değerlendirme Çerçevesi

### 4.1. Sistem Sınırları ve Değerlendirme Çerçevesini Kurma

Çalışma, kentsel su sistemlerinin performansını etkileyen sosyal, ekonomik, kurumsal ve çevresel özellikler olmak üzere kent çevresi ve kentsel bölgelerdeki tüm kentsel su döngüsünü ele almaktadır. Kentsel su sistemi su döngüsündeki ana süreçleri içermektedir. Bu döngü, içme suyu üretimi, su arıtma tesisleri, içme suyu depolama ve dağıtım, atık su toplama, arıtma ve deşarjdan oluşmaktadır. Sistem sınırı mekansal ve zamansal olmak üzere iki faktör tarafından belirlenir. Mekansal ölçek sistemin fiziksel boyutunu ifade eder. Mevcut araştırma bağlamında, bir şehrin tüm coğrafi alanı, tüm sakinleri ve su kaynaklarının tüm kullanıcıları kentsel alan özelliklerini göstermektedir. Zamansal ölçek, kentsel su güvenliğinin dinamik durumunu ölçmek için yeterince belirlenmiştir. Kentsel su güvenliğinin çalışma ve sistem sınırı tanımına dayalı olarak bir sonraki adım kentsel düzeyde özel olarak tasarlanmış bir dizi göstergenin seçilmesi ve sınıflandırılmasıdır. Endeks, kentsel alanlarda su güvenliğini değerlendirmek için ağırlıklı bir toplam puana dayanmaktadır. Çerçevenin tasarımı, sorunları ve öncelikleri ortaya koymak amacıyla kapsamı belirleme, risklerin incelenmesi ve kriterlerin geliştirilmesi ve veri kullanılabilirliğinin gözden geçirilmesini içermektedir. Tasarım aşamasının sonunda amaç kentsel su güvenliğini ölçmek için bir dizi gösterge seti geliştirmektir. Kentsel su güvenliğini dört ana özelliğe ayırmak için sağlam gösterge ve değişkenler ile değerlendirmenin temelini oluşturabilen su güvenliği dinamiklerini ve bunlarla ilişkili bütünsel bakış açılarını anlamak çok önemlidir.

#### 4.1.1. İçme Suyu ve İnsan Refahı

Evsel su kaynaklarının mevcudiyeti ve çeşitliliği (örneğin, tuzdan arındırma, suyun yeniden kullanımı, yağmur suyu hasadı), su ve enerji sistemlerinin erişilebilirliği, rasyonelliği ve verimliliğinin yanı sıra kalite, yeterlilik ve eşitlik ve diğer kaynaklara bağımlılık göz önünde bulundurularak analiz edilmelidir (Tablo 1).

Su mevcudiyeti, su stres endeksi açısından su kıtlığını ölçmek için kullanılan ortak göstergelerden biridir (Falkenmark vd., 1989; Jimenez ve Asano, 2008). Su kaynaklarının çeşitliliği, talebi karşılamak için alternatif su kaynakları (tuzdan arındırma, atık suyun yeniden kullanımı, su hasadı) ve azaltıcı önlemleri güvence altına alarak bir su kaynağına bağımlılık riskini azalttığı için kentsel su güvenliğini sağlamanın en önemli anahtarıdır (Howard & Bartram, 2003). Farklı kaynaklardan sürdürülebilir ve entegre su sağlamayı güvence altına almak için sistem kapasitesinin iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır (UNESCO, 2019). Buna ek olarak enerji, suyun evlere taşınmasında ve atık su arıtma tesislerinin işletilmesinde önemli rol oynar (Wakeel vd., 2016). Enerji kaynaklarının eksikliği

birçok şehri enerji tedarik süresini kısaltmaya zorlamaktadır (Kala vd., 2007; Charalambous & Laspidou, 2017). Birleşmiş Milletler insan hakkı olan su için su kaynağının yeterli ve sürekli olması gerektiğini belirtmektedir (UNESCO, 2019). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), temel gereksinimlerin çoğunun karşılandığından ve çok az sağlık sorununun ortaya çıktığından emin olmak için kişi başına günde 50 ile 100 litre su gerektiğini belirtmektedir (Waldron, 2005).

Tablo 1. İçme suyu ve insan refahının özellikleri, göstergeleri ve değişkenleri (Table 1. Characteristics, indicators and variable of drinking water and human well-being)

Özellikler	Göstergeler	Değişkenler	Birimler
Su Miktarı	Mevcut olma	Toplam su kaynakları/Toplam nüfus	m <sup>3</sup> /kişi/yıl
	Çeşitlilik	Tekrar kullanılan su/Atıksu üretimi	%
		Alternatif su kaynaklarının katkısı	%
		Alternatif enerji kaynaklarının katkısı	%
	Tüketim	Resmi tüketim/Toplam nüfus	L/kişi/gün
	Güvenilirlik	Gelir getirmeyen su	%
		Altyapı Sızma Endeksi= Mevcut yıllık gerçek kayıp/Kaçınılmaz yıllık gerçek kayıplar	
		Ölçülen su (Su tüketimi ölçülen hanelerin yüzdesi)	%
		Şebekelerdeki enerji verimliliği	%
		Gelir getirmeyen sudan kaynaklanan ticari kayıplar	%
Su Kalite Standartları	İçme Suyu Kalitesi	WHO ve yöresel uygulanan standartları karşılayan içme suyu örneklerinin oranı	%
	Atıksu Arıtma Tesisi	WHO ve yöresel uygulanan standartları karşılayan atıksu arıtma tesisi örnekleri oranı	%
Ulaşılabilirlik	Güvenle yönetilen içme suyu hizmetlerini kullanan nüfusun oranı	(Borulu su kaynağını kullananların sayısı/Toplam nüfus)x100	%
	Güvenle yönetilen sanitasyon hizmetlerini kullanan nüfusun oranı	(Borulu atıksu kullanıcıların sayısı/Toplam nüfus)x100	%
Yeterlilik ve Eşitlik	Minimum hizmet standardı ile uyumlu ortalama kaynak süresi	Saat/günlerin ortalama sayısı	Saat/gün
Sınıraşan/ithal edilen su bağımlılık oranı	Sınıraşan/ithal edilen su kütlelerinden çekilen yıllık su hacmi yüzdesi/Mevcut toplam yıllık su kaynakları	-----	%

Su tüketimi, suyun kıt olduğu zamanlarda su güvenliğini sağlamak için çok önemlidir. Bu durum, depolanan mevcut suyun en etkin ve sürdürülebilir şekilde tüketilmesini gerektirir. Su kıt olduğunda su güvenliğini sağlamak için su tüketimi çok önemlidir (Arfanzuzaman & Rahman, 2017). Su sistemi ve altyapısının ana amaçları, tüketicilere su sağlamak için su hizmetlerinin kapasitesinin geliştirilmesini içerir (WHO, 2017).

Altyapı güvenilirliği, gerekli basınçta, yeterli kalitede ve doğru miktarda suyun sağlanmasını gerektirir. Güvenilir olmayan bir sistemde, eksiklikler sistemin fiziksel bileşenlerinin arızalarından kaynaklanabilir (Kala vd., 2007; Charalambous & Laspidou, 2017). Sistemin güvenilirliğini ölçmek için gelir getirmeyen su ve şebekenin enerji verimliliği göstergeleri dikkate alınmalıdır (Danilenko vd., 2014; WHO, 2017). Gelir getirmeyen su, fiziksel kayıpları, ticari kayıpları ve izin verilen faturalanmamış tüketimi içerir. Altyapı sızıntısı birçok şehri kısır bir döngüye sokar ve mevcut yıllık gerçek kayıplar ile kaçınılmaz arka plan sızıntı oranı arasındaki oran altyapı sızıntı endeksi kullanılarak ölçülebilir (Aboelnga vd., 2018; Waldron, 2005; Mara ve Kramer, 2006). Su kalitesi kentsel su güvenliğinin önemli bir bileşenidir (Karpi, 1993). Su kalitesi sorunları, basınç ve hızdaki değişimleri izleyen bakteri biyofilminin ayrılması, borular içinde yeniden gelişme ve sızma nedeniyle aralıklı su sistemlerinde daha şiddetlidir (LeChevallier vd., 2003; Choe vd., 1996; Karpi, 1993). Müşteriler için su sağlandıktan sonra şebekede akışın olmadığı zamanlarda insanların ihtiyaçlarını karşılamak için suyun birkaç gün boyunca çatı üstündeki tanklarda depolanması, mikrobiyal yeniden gelişme ve su kalitesinin bozulmasına daha fazla olanak sağlar (Kala vd., 2007; Charalambous & Laspidou, 2017). Bu durum, fırsatçı patojen vakalarına ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Buna ek olarak, güvenli bir şekilde yönetilen su ve sanitasyon hizmetlerinin fiziksel erişilebilirliği, insan hakkı olan su ve sanitasyona ulaşması için önemlidir (Global Water Partnership, 2013; UN-Water, 2013). Herkes için su ve sanitasyona erişimin sağlanması temel bir insan hakkıdır ve güvenli şekilde yönetilen su ve sanitasyon hizmetlerinde sürdürülebilir kalkınma hedefini gerçekleştirmek temel alınmalıdır (UNESCO, 2019). Bu araştırma için su temin sistemlerindeki yeterliliği ve eşitliği ölçmek için ortalama tedarik süresi göstergesi kullanılmıştır. Bu çalışmada yeterlilik, gerçek su kaynağının herkesin ihtiyaçlarını karşılamaya yeterli olduğu anlamına gelir ve zamanlama perspektifini de içerir. Eşitlik, bir ilçede ölçülü bir alandaki tüm insanların birkaç saatlik tedarik sırasında mevcut olan sınırlı su miktarının adil bir şekilde dağıtılması anlamına gelir (Kala vd., 2007; Charalambous & Laspidou, 2017). Su tedarikinde yeterlilik ve eşitlik, su israfının en yüksek basınç düğümlerinde ve su kıtlığının ise en düşük basınç düğümlerinde olduğu kesintili su dağıtım sistemlerine sahip su kıtlığı olan şehirlerde karşılaşılan önemli zorluklardan biridir (Choe vd., 1996; Karpi, 1993). Hizmet kesintileri, insanların sınırlı su kaynağına erişimini garanti etmek için büyük bir tehdit oluşturur ve su talebini karşılayamama, yüksek iyileştirme maliyetleri ve adaletsiz su dağıtımıyla müşterilerin memnuniyetini aynı derecede olumsuz etkiler (Kala vd., 2007; Charalambous & Laspidou, 2017; LeChevallier vd., 2003). Bağımlılık oranı - bir su kaynağına bağımlılık riski, şehir dışından gelen toplam yenilenebilir su kaynaklarının yüzdesi ile ölçülebilir (FAO, 2003). Su kullanımı ve paylaşımı konusunda gerilim, arıza ve/veya çatışma olasılığını ölçmek için kentsel su güvenliğine yönelik tehditlerin bir göstergesidir. Bu nedenle, kentsel su güvenliğini sağlamak için ithal edilen / sınır aşan su kaynakları için barış ve siyasi istikrar iklimi zorunlu bir faktördür (UN-Water, 2013). Şehirlerde su bağımlılığı, yetersiz su ve şehir sınırları içindeki halk sağlığına yönelik riskler veya şehir veya ülke dışındaki mansap akışlarına bağımlılıktan kaynaklanabilir (Mancosu, 2015).

#### 4.1.2. Ekosistemler

Kentsel su güvenliğini başarmanın anahtarı, insanların refahı ve geçim kaynakları için kritik olan “doğal altyapı” gibi kentsel ekosistem hizmetlerini korumak ve sürdürmek ile su kaynaklarının tüketimi arasında bir dengeye sahip olmaktır (kirlilik, su stresinin seviyesi, iyi ortam suyu kalitesi, yeşil çatılardan ve yeşil alanlardan yararlanma, altyapının etkinliği) (Tablo 2) (Wheater, 2015; Hartley vd., 2017; Clement, 2013).

Tablo 2. Ekosistemin özellikleri, göstergeleri ve değişkenleri (Table 2. Characteristics, indicators and variables of the ecosystem)

Özellikler	Göstergeler	Birimler
Kirliliğin durumu	Güvenli olarak artırılmış atık su akışlarının yüzdesi	%
İyi ortam suyu kalitesine sahip su kalitesi	WHO ve yöresel uygulanabilir kalite standartlarını karşılayan su kaynaklarının (yüzeysuyu veya yeraltısuyu) örneklerinin oranı	%
Zaman ile suyla ilgili ekosistemlerin kapsamındaki değişim	Bu ekosistemlerinkapsamındaki suyun miktarındaki değişim	(% değişim/yıl)
Yeşil çatı	Yeşil çatının yüzey alanı/Toplam çatı yüzey alanı	%
Yeşil yüzeyler (drenaj faktörü)	Yeşil yüzey alanı/Toplam yüzey alanı	%
Yağmur suyu ve atıksu şebekelerinin etkinliği	Kanalizasyon sistemi tıkanıklıkları	Tıkanıklık sayısı/km/yıl

Artırılmamış atık su açısından kirlilik durumu uygun şekilde artırılmadığı ve boşaltılmadığı takdirde ortam suyu kalitesi, halk sağlığı ve kentsel su güvenliği için en büyük risklerden birisini oluşturur (Mara ve Kramer, 2006). Atık su bir kirlilik riski oluştursa da kullanılmayan bu kaynak ek bir su kaynağı olarak değerlendirilirse ve su kirliliğini azaltmak için uygun şekilde kullanılırsa birçok fırsat da sağlayabilir (Jimenez & Asano, 2008; Howard & Bartram, 2003; Rodríguez vd., 2015). İyi ortam suyuna sahip su gösterge kütlelerinin amacı, kirliliği azaltarak tehlikeli kimyasalların ve malzemelerin salınımını en aza indirerek su kalitesini iyileştirmektir (UNESCO, 2019; Vorosmarty vd., 2010). Yüzey ve yeraltı suyunun kalitesi, kimyasal ve biyolojik kirlleticiler için ortam suyu kalite standartlarıyla karşılaştırılır (Allan vd., 2018). Suyla ilgili ekosistemin kapsamındaki değişiklik aynı zamanda suyla ilgili çeşitli ekosistemlerde bulunan su miktarını ölçen kentsel su güvenliği için de ilgili bir göstergedir (Dickens vd., 2017). Yeşil çatı kaplama, yağmur suyu hasadından elde edilen suyun faydalarını en üst düzeye çıkararak su güvenliğini artırabilen, ancak kentsel tarım için sıklıkla kullanılmayan bir başka kaynaktır (Phillis vd., 2017; Siemens, 2012). Yeşil yüzey, insanların refahı, sürdürülebilirliği ve sağlık ekosistemi için üretken bir yeşil altyapının önemli özelliklerinden biridir (Grafton vd., 2015; Cornejo vd., 2014). Bir drenaj faktörü olarak, kanopi ve gövde alanlarındaki suyu kesebilir ve toprağa ve kök sistemlerine sızmayı artırabilir (Van Leeuwen, 2013; Van Leeuwen vd., 2016; Siemens, 2012; Arcadis, 2015; Koop & van Leeuwen, 2015). Yeşil alanlar, şehirlerin yaşanabilirliğine, sürdürülebilirliğine ve direncine katkıda bulunan ve kentsel su güvenliğini sağlayan her türlü kentsel yeşil alanı içerir (Van Leeuwen, 2013). Yağmur suyu şebekesi ve kanalizasyon sistemi kentsel su sisteminin dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir (Phillis vd., 2017; Koop & van Leeuwen, 2015). Tüm yükü karşılayamaz ve düzgün çalışmazlarsa, altyapı arızalarına ve

ciddi sosyal ve ekonomik kayıplara neden olabilir (Phillis vd., 2017; Berg & Marques, 2011). Sistemin suyu verimli bir şekilde boşaltma hedefine ulaşması gerektiğinden kanalizasyon tıkanması, kanalizasyon sisteminin etkinliğine yönelik ana tehditlerden birini oluşturabilir (Wakeel vd., 2016).

#### 4.1.3. İklim Değişikliği ve Suyla İlgili Tehlikeler

Su altyapısı nedeniyle şiddetlenebilecek iklim değişikliği sel riski ve sağlıkla ilgili riskleri içeren suyla-ilişkili-riskler üzerinde bir etkiye sahiptir (Haddeland vd., 2014; Van Leeuwen vd., 2016). Tablo 3 'de gösterildiği gibi, iklim değişikliği ve su ile ilgili tehlikelerin boyutu halk sağlığı, taşkın sıklığı, kuraklık sayısı, taşkına eğilimli alanlar, yağışlar ve sıcaklık göstergeleriyle ölçülebilir.

Tablo 3. İklim değişikliği ve suyla ilgili tehlikelerin özellikleri, göstergeleri ve değişkenleri (Table 3. Characteristics, indicators and variables of climate change and water-related hazards)

Özellikler	Göstergeler	Birimler
Sistemden yayılan sera gazı (GHS) emisyonları	-	Ton CO <sub>2</sub> /yıl/yerleşim
Halk Sağlığı (Su kaynaklı hastalıklar)	İçmesuyu kirlilik olaylarının sayısı (işhal)	sayı/yıl, her 100000 kişi için
Taşkınların sıklığı	Üç yılın üzerindeki taşkınların sayısı	sayı/yıllar
Kaklıkların sayısı	-	Sayı/yıl
Taşkına eğilimli alanlar	Taşkına eğilimli alanların yüzdesi/Toplam yüzey alanı	%
Ortalama yıllık yağış	-	mm/yıl
Ortalama yıllık sıcaklık	-	C°

Kentsel su sistemi, enerji tüketimi, su ve atık su arıtımı ve deşarjdan kaynaklanan sera gazı emisyonları açısından iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır (Wakeel vd., 2016; Smith vd., 2015). Halk sağlığı, şehrin metabolizmasını şekillendirmek için kentsel su güvenliğinin temel unsurlarından biridir. Su kaynaklı hastalıklar, halk sağlığı için büyük bir risk oluşturmaktadır. Birçok su kaynaklı hastalık vakası kentsel su güvensizliğinin bir göstergesidir (Assefa vd., 2018). Kentsel taşkın, drenaj sisteminin kapasitesini aşan şiddetli ve/veya uzun süreli yağışlardan kaynaklanabilir (Assefa vd., 2018; ADB, 2016). Taşkın ve kuraklık şehirler üzerinde önemli ekonomik ve sosyal etkileri olan doğal tehlikelerdir. Artan kentsel taşkın tehdidi, iklim değişikliği karşısında şehirlerin dayanıklılığının kritik bir testi olmuştur (Damania vd., 2019). Taşkın eğilimli alanların risklerini azaltmak için korumaya ve proaktif önlemlere ihtiyacı vardır (Cornejo vd., 2014; Smith vd., 2015). İklim değişikliği ve su güvenliği sorunları, öncelikle uyum ve kalkınmayı iklimle dirençli hale getirmek ile ilgilidir. Bu durum, iklim etkileri ve etkili teknolojiler hakkındaki mevcut bilgilerimizin geliştirilmesini, uygulanmasını ve iyileştirilmiş hazırlık ve uyum için yerel kapasite oluşturmayı gerektirir.

#### 4.1.4. Sosyo-Ekonomik Gelişme

Sistemin insanların temel ihtiyaçlarını karşılama ve kentsel su güvenliğini sağlama yeteneğini engelleyebilecek sosyal ve ekonomik faktörlerin mevcut ve potansiyel rolüne, su arz ve talebi üzerindeki etkilerine özel bir dikkat gösterilmelidir (Jimenez Cisneros vd., 2014; World Economic Forum, 2015; Steffen vd., 2015; Mekonnen & Hoekstra, 2016; Hartley vd., 2017; Gerlak vd., 2018). Bu faktörler arasında su ve atık su sistemindeki enerji tüketimi, su ve sanitasyon tarifeleri, uygunluk, su ve atık su hizmetlerine yönelik bütçe, giderlerin karşılanması, yasadışı kullanımlar ve müşterilerin şikayetleri yer almaktadır (Tablo 4) (Wakeel vd., 2016; Grafton vd., 2015). Su

temin sistemlerinin hanelere optimum basınçta su sağlaması büyük ölçüde enerjiye bağımlıdır. Enerji tüketimi, bölgenin topografyası, kaynaktan musluğa olan uzaklık, pompa istasyonlarının tipi, kapasitesi ve verimliliği gibi birçok faktörle ilişkilidir (Wakeel vd., 2016). Su tarifesi, kıt suyun ekonomik değerini belirlemek için iyi bir göstere olup, hedeflenen ücret tarifeleri ve akılcı destekler kentsel su güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Birçok şehirde su merkezi veya yerel yönetimler tarafından yüksek oranda desteklenmektedir. Bu nedenle, belirlenen su tarifesi işletme ve bakım giderlerini karşılayamayacak kadar düşüktür ve suyun verimli kullanılmasını engeller (Danilenko vd., 2014). Geri ödeme iyi yönetilen bir su kuruluşunun önemli bir performans göstergesidir. Su hizmetlerinin uzun dönemli sürdürülebilirliğinin sağlanması gereklidir (Danilenko vd., 2014). Güçlü su yönetimi hem kullanıcılara hizmet sunmanın ekonomik maliyetlerini hem de su kullanıcılarının başkalarına yüklediği maliyetleri (gerçek maliyetleri temsil eden fırsat maliyetleri) dikkate almalıdır (Danilenko vd., 2014). Su tarifesi ve gelir getirmeyen su seviyesinin yüksekliği su kıtlığı olan birçok şehirde maliyetin geri kazanılmasının temel unsurlarıdır. Yasadışı kullanımlar, kentsel su güvenliğine yönelik en büyük sosyo-ekonomik tehditlerden birini oluşturur ve su dağıtımının eşitliğini aşındırabilir ve çok büyük insani ve ekonomik kayıplara neden olabilir (Waldron, 2005; WHO, 2017; Mara ve Kramer, 2006). Su hizmet ücretlerinin giderleri karşılamak ve minimum su güvenliğini sağlaması iki nedene bağlıdır. İlk olarak, kullanıcıya hizmeti sunmanın maliyeti hakkında bilgi verir, bu durum, hizmetin ücretsiz olmasına kıyasla daha düşünceli bir kullanım sağlar ve korumayı teşvik eder. İkincisi, tarifelerden elde edilen gelirler, su kaynaklarının korunması, altyapının bakımı, adil ve güvenilir hizmetin sağlanması için finansman sağlar (Van Leeuwen, 2013; Van Leeuwen vd., 2016; Siemens, 2012; Arcadis, 2015; Koop & van Leeuwen, 2015). Satın alınabilirlik, özellikle su için ödeme yapamayan fakir insanlar için önemli bir faktördür (Sullivan, 2002; Lawrence vd., 2002; Jensen & Wu, 2018). Bu gösterge, uygunluğun yaklaşık bir ölçüsünü verebilir, ancak kesintili su tedarikinin üstesinden gelme maliyetlerini içermez (Choe vd., 1996; Coelho vd., 2003; Aboelnga vd., 2018). Ulusal su ve sanitasyon bütçesi su güvenliğini birinci öncelik haline getirmek için çok önemlidir (Van Beek & Arriens, 2014; Grey & Sadoff, 2007). Bu nedenle, kamu finansmanını en üst düzeye çıkarmak önceliktir, ancak mali boşlukları kapatmak için yeterli değildir. Kentsel su güvenliğini sağlamak için özel sektörden ticari finansmana da ihtiyaç vardır (World Economic Forum, 2015; Steffen vd., 2015; Mekonnen & Hoekstra, 2016). Müşteri memnuniyeti, kamu hizmeti kuruluşunun su sistemini su talebini karşılayacak şekilde çalıştırma ve yönetme kabiliyetine sahip olduğu anlamına geldiğinden kentsel su güvenliğinin temel bir göstergesidir. Kesintili bir su temini sisteminde, kaçak ve su eksikliği şikayetleri su şebekesi yönetimine baskı yapan ana konular arasındadır (Wakeel vd., 2016). Özetle, bu perspektifler su güvenliğini iyileştirmek için gereken değişimin yönünü işaret etmektedir. Dört özellik ve göstergeleri iyileştirilerek daha güvenli bir şehir elde edilebilir.

Tablo 4. Sosyo-ekonomik özellikleri, göstergeler ve değişkenler (Table 4. Socio-economic characteristics, indicators and variables)

Özellikler	Göstergeler	Birimler
Su Enerji Tüketimi	1 m <sup>3</sup> kent su kaynağı için ortalama enerji tüketimi	KWh/yıl
Atıksu Enerji Tüketimi	1 m <sup>3</sup> atıksu arıtması için ortalama enerji tüketimi	KWh/yıl
Su Tarifeleri	Her 15 m <sup>3</sup> su için su tarifesi	\$/m <sup>3</sup>
Sanitasyon Tarifeleri	Her 15 m <sup>3</sup> su için sanitasyon tarifesi	\$/m <sup>3</sup>
Satınalma Gücü	Hane halkı gelirinin yüzdesi olarak su, sanitasyon ve hijyen gideri, finansman suyu	%
	Ortalama hane halkının yüzdesi olarak su ve atıksu hizmetleri ücreti	%
Su ve Atıksu Hizmetlerine Yönelik Ulusal Bütçenin Yüzdesi	-	%
İşletme ve Bakım Giderlerinin Geri Ödemesi	İşletme ve Bakım Gideri/İşletme Geliri	%
Yasal Olmayan Kullanımların Sayısı	-	Sayı/yıl 10000 abone için
Toplam Şikayetlerin (sızma, su olmaması, tıkanıklık) sayısı	-	Sayı/yıl 10000 abone için

## 4.2. Sonuçların Normalleştirilmesi ve Yorumlanması

Normalleştirme, farklı birimlerdeki her unsurun sonuçlarını ortak bir ölçüğe ve karşılaştırılabilir birimlere dönüştürmek için karar verme sürecinin önemli bir adımınıdır. Göstergelerin sonuçlarının normalizasyonu ve sunumu her bir göstergenin farklı birimlere sahip olması nedeniyle göstergelerin 1'den 5'e kadar bir aralıkta boyutsuz olması için her göstergenin durumunu ve arzu edilen değerlerini yansıtacak şekilde bir araya getirilmesidir. Bu süreç, darboğazları daha iyi anlamamızı, gelecekteki müdahale stratejilerini belirlememizi ve farklı su paydaşları arasındaki iletişimi kolaylaştırmamızı sağlayacaktır. Kentsel su güvenliğine ulaşmanın her göstergesi için aralıkların ve puanların belirlenmesi gereklidir. Su ve sanitasyon konusunda Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması su sistemi ve paydaşların dinamik kapasitesine bağlıdır. Aşağıda verilen Tablo 5-8, 1'in zayıf su güvenliğini ve 5'in mükemmel su güvenliğini temsil ettiği her değişken için 1'den 5'e kadar bir ölçekte kentsel su güvenliği endeksi puanlarını sunmaktadır. Kentsel su endeksinden elde edilen puanlar Tablo 9'da olduğu gibi kentsel su güvenliği seviyesini ölçmek için yorumlanabilir ve tanımlanabilir (Assefa vd., 2018).



Tablo 5. İçme suyu ve insan refahı eşikleri (Table 5. Drinking water and human well-being thresholds)

Değişken	1	2	3	4	5	Referans
Kişi başına düşen tatlı su miktarı	<500	500-800	800-1000	1000-1700	>1700	(Jensen&Wu, 2018; Falkenmark vd., 1989)
Yeniden kullanılan atıksu/atıksu üretimi	<10	10-30	30-50	50-70	>70	(Howard&Bart ram, 2003)
Alternatif su kaynaklarının katkısı (%)	<5	5-15	15-30	30-60	>60	(Aboelnga vd., 2019)
Alternatif enerji kaynaklarının katkısı (%)	<5	5-15	15-30	30-60	>60	(Aboelnga vd., 2019)
Kişi başı günlük resmi tüketim	≤20	21-50	51-90	91-100	≥101	(WHO, 2017)
Gelir getirmeyen su	≤25	25-20	20-15	15-10	10-0	(Waldron, 2005)
Altyapı sızma indeksi (CARL/UAR L)	≤3,0	3-2,5	2,5-2,0	2,0-1,5	≥1,5	(Waldron,2005 ;Mara&Kramer , 2006)
Ölçülen su ( su tüketiminin ölçüldüğü hane halkının yüzdesi)	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Waldron, 2005)
Şebekedeki enerji verimliliği	<40	40-50	50-60	60-80	>80	(Aboelnga vd., 2019)
Gelir getirmeyen sudan ticari kayıplar	≤25	25-20	20-15	15-10	10-0	(Waldron, 2005)
WHO ve yöresel standartları karşılayan içmesuyu örnekleri oranı	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Mara&Kramer , 2006)
WHO ve yöresel uygulanabilir kalite standartlarını karşılayan arıtma tesisi örneklerinin oranı	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(ADB, 2016)
Yönetilen içmesuyu hizmetlerini güvenle kullanan nüfus oranı SD6.6.1	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Assefa vd., 2018)
Yönetilen sanitasyon hizmetlerini güvenle kullanan nüfus oranı SD6.6.2.1a	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Assefa vd., 2018)
Minimum hizmet standardı ile uyumlu ortalama kaynak süresi	<8	8-16	17-20	21-23	24	(Waldron, 2005)
Sınıraşan/ithal edilen sudan elde edilen yıllık hacimlerin yüzdesi/Toplam yıllık mevcut su kaynağına oranı	<60	60-40	40-20	20-10	>10	(Aboelnga vd., 2019)

Tablo 6. Ekosistemin eşikleri (Table 6. Thresholds of ecosystem)

Değişken	1	2	3	4	5	Referans
Güvenli şekilde artırılmış atıksu akışlarının yüzdesi (SDG6.3.1b)	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Rodríguez vd., 2015)
WHO ve yöresel uygulanabilir kalite standartlarını karşılayan su kaynakları (yüzey ve yeraltı) örneklerinin oranı	0-60	61-70	71-80	81-90	91-100	(Mara&Kramer, 2006)
Bu ekosistemlerde her yıl kirletilen suyun miktarındaki değişim (%)	<60	60-40	40-20	20-10	>10	(Dickens vd., 2017)
Toplam çatı yüzey alanına göre yeşil çatı yüzey alanı	<5	5-15	15-30	30-60	>60	(Aboelnga vd., 2019)
Toplam yüzey alanına göre yeşil yüzey alanı	<5	5-15	15-30	30-60	>60	(Aboelnga vd., 2019)
Kanalizasyon sistemi tıkanıklıkları (tıkanmaların sayısı/km/yıl)	≤300	200-300	100-200	50-100	>50	(Danilenko vd., 2014)

Tablo 7. İklim değişikliğinin eşikleri ve su ile ilgili tehlikeler (Table 7. The thresholds of climate change and water-related hazards)

Değişken	1	2	3	4	5	Referans
Sistemden yayılan sera gazı emisyonları (GHC)	>3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	1,5-0,5	<0,5	(Smith vd., 2015)
İçme suyu kirliliği olaylarının sayısı (ishal)	≥1000	800-500	500-100	100-30	≤30	(Assefa vd., 2018)
Üç yıldan fazla taşkın nedeniyle ölenlerin sayısı	≥1000	800-500	500-100	100-30	≤30	(Aboelnga vd., 2019)
Kuraklıkların sayısı	-	-	-	-	-	
Toplam yüzey alanına göre taşkına eğilimli alanların yüzey alanı	>20	20-15	15-10	10-15	>5	(Aboelnga vd., 2019)
Ortalama yıllık yağış	>100	100-300	300-500	500-700	>700	(Aboelnga vd., 2019)
Ortalama yıllık sıcaklık	>40	35-40	30-35	25-30	<25	(Aboelnga vd., 2019)

Tablo 8. Sosyo-ekonomik eşikler (Table 8. Socio-economic thresholds)

Değişken	1	2	3	4	5	Referans
Kent su kaynağı için her birim enerji tüketimi	>4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	1,5	(Wakeel vd., 2016)
1 m <sup>3</sup> atıksu arıtmasında ortalama enerji tüketimi	>1,0	1,0-0,75	0,75-0,50	0,5-0,25	<0,25	(Wakeel vd., 2016)
Her 15 m <sup>3</sup> için su tarifi	>0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	1,0-1,5	>1,5	(Danilenko vd., 2014)
Her 15 m <sup>3</sup> için atıksu tarifi	>0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	1,0-1,5	>1,5	(Danilenko vd., 2014)
Hizmet edilen her bir nüfusun yıllık işletme gelirleri/Kişi başına Gayri Safi Üretim Değeri (GSÜD) (%)	>1,0	0,8-1,0	0,8-0,6	0,6-0,4	<0,4	(Danilenko vd., 2014)
% WWS'ye göre yönelen ulusal bütçenin yüzdesi	>1,0	1-5	5-10	10-20	>20	(Aboelnga vd., 2019)
İşletme ve bakım giderleri geri ödemesi	0-60	60-70	70-80	80-90	90-100	(Danilenko vd., 2014)
Yasal olmayan kullanıcıların sayısı	>300	200-300	100-200	50-100	>50	(Aboelnga vd., 2019)
Toplam şikayetler (sızmalar, su yok, tıkanmalar)	>300	200-300	100-200	50-100	>50	(Aboelnga vd., 2019)

Tablo 9. Kentsel su güvenliği dereceleri (Table 9. Urban water safety degrees)

Kent Su Güvenliği Derecesi	Güvenliğin Seviyesi	
< 1,5	Zayıf	Kent su güvenliği insanların temel ihtiyaçlarını karşılamada zayıftır. Su idaresi ve yönetimin eksikliği tüm boyutlarda önemli bir kaygıdır.
1,5-2,5	Orta	Politikalar ve önlemler hemen hemen tüm boyutlarda önemli bir kaygıyla kent su güvenliğini başarmak için yeterli değildir.
2,5-3,5	Uygun (Makul)	Kentsel su güvenliği sisteminin dayanıklılığı ve sürdürülebilirliğini etkileyen bazı unsurlarda boşluklar (eksiklikler) ile temel ihtiyaçları karşılamak için tatmin edicidir.
3,5-4,5	İyi	Özelliklerin çoğu için kentsel su güvenliğini sağlamak için sağlam politikalar ve yönetim mevcuttur, ancak hala bazı iyileştirmelere ihtiyaç vardır.
>4,5	Mükemmel	Talepleri karşılayabilen ve gelecekteki şoklara ve risklere dirençli, iyi yönetilen ve su güvenliği olan şehir endeksinin tüm özellikleri için yüksek düzeyde güvenlik gösterir.

### 4.3. Kentsel Su Endeksinin Ölçülmesi

Bileşik endeksler için ağırlıklandırma ve toplama duyarlılıkları ve özellikleri nedeniyle bilinen zorluklardır. Tanım gereği açık ağırlıkların atanmasının yalnızca bir bakış açısını temsil ettiği kabul edilmelidir. Bu nedenle, su paydaşları ağırlıklandırma sistemini yerel bağlama uygun olacak şekilde tanımlamalıdır. Kentsel su güvenliği endeksinin çıktısı değişkenlerin değerleri toplanarak hesaplanır. Çalışmada tüm özelliklere, göstergelere ve değişkenlere eşit ağırlıklar atanmıştır. Bu durum, tüm unsurların eşit derecede önemli olduğu anlamına gelmektedir. Ancak, göstergelerden birinin diğerinden daha önemli olduğu bir durum varsa anlamlılık için orantılı ağırlıklar kullanılabilir.

Formüller, ağırlıklar 1'e kadar toplanacak şekilde normalleştirildiğinde basitleştirilir,

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Bu tür normalleştirilmiş ağırlıklar için ağırlıklı ortalama aşağıdaki eşitlikte verilmektedir,

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

Orijinal ağırlıklar üzerinden aşağıdaki dönüşüm yapılarak ağırlıklar normalleştirilecektir,

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Normalleştirilmiş ağırlığın kullanılması, orijinal ağırlıkların kullanılmasıyla aynı sonuçları verir,

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i * x_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

## 5. Sonuçlar

Kentsel su yönetimi, hızla artan kentsel su ihtiyacı kadar iklim değişikliği karşısında kentsel su sistemlerini daha esneyebilir bir hale getirme gereksinimi sınıra dayanmıştır. Artan rekabet, çatışma, kıtlık, atıklar ve su kaynaklarındaki bozulma geleneksel kavramları yeniden gözden geçirmeyi ve yalıtılmış bir alandaki kentsel su döngüsünün farklı boyutlarını düşünmeye yönelik bir girişimden tüm paydaşlar tarafından desteklenen bütünlük bir yaklaşıma geçişi zorunlu kılmaktadır. Su kaynakları halk sağlığı, çevre koruma, toplumun gelişmesi ve ekonomiyi desteklemek için yaşamsal bir öneme sahiptir. Günümüzde daha fazla su kaynağı, iklim değişikliğinden, nüfus artışından, yaşlanan altyapıdan, gelirlerdeki düşüşten ve diğer çeşitli yerel sorunlardan kaynaklanan tehditlerle karşı karşıyadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, artan sayıda su hizmeti, su kaynakları yönetimine daha bütüncül bir yaklaşım benimsemek için entegre su yönetim kavramını kullanmaktadır.

Kentsel su güvenliğinin tartışma çerçevesi su miktarı, su kalitesi veya su sanitasyonuna erişim gibi bireysel konulu göstergelerin ötesine geçmektedir. Bunun yerine, su güvensizliğinin kısır döngüsünü sürdürülebilir ve güvenli şehirlerin ilkeli döngüsüne dönüştürebilecek somut çözümlere ulaşmak için içme suyu ve insanlar, ekosistem, iklim değişikliği ve suyla ilgili tehlikeler ve sosyo-ekonomik hakkında bütünsel olarak düşünmeliyiz. Kentsel su güvenliğine yönelik baskın tehditler coğrafi olarak ve zaman içinde farklılık gösterir. Kentsel su güvenliği durağan bir hedef olmayıp, değişen iklim, siyasi yapılar, ekonomik büyüme ve kaynak bozulmasından etkilenen dinamik bir süreçtir. Kentsel su güvenliğinin önerilen iş tanımı, Birleşmiş Milletler insan hakları ilkelerinin ve güvenli bir şekilde yönetilen su ve sanitasyonun sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin altını çizerek herkes için güvenli su hedefine ulaşmada kent ve kentsel alanların zorluklarını kapsar. Kentsel su güvenliği, su talebini uygun bir maliyetle karşılamak için sürekli olarak fiziksel ve yasal olarak mevcut, yeterli miktarda kabul edilebilir kalitede suya sürdürülebilir ve adil erişimi güvence altına almak, geçim, insan refahı ve sosyo-ekonomik kalkınmayı sürdürmek, su kaynaklı kirlilik ve suyla ilgili felaketlere karşı koruma sağlamak ve ekosistemleri barış ve siyasi istikrar ortamında

korumak için su sisteminin ve su paydaşlarının dinamik kapasitesi olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı yeni bir kentsel su güvenliği değerlendirme çerçevesi geliştirmektedir. Çerçevdeki her bir göstergenin bağlantıları ve sonuçları, kentsel su güvenliğini sadece su miktarı ve kalitesiyle başaramayacağımızı, bir tatlı su kaynağına göre çeşitli su kaynaklarına güvenmekten ve şehir suyunun barış ve siyasi istikrar ortamında muhafaza edilmesine kadar su miktarına bakış açımızı da değiştirmemiz gerektiğini kanıtlamaktadır. Kentsel su güvenliği endekslerini geliştirmek, ağırlıklandırma ve birleştirme sorunları göz önüne alındığında karmaşık bir girişimdir, ancak etkilerini açıklayabilmek önemlidir. Bazı bileşenleri daha önemli olarak tanımlayan indekslere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, indekslerin göreceli ağırlıklarının belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Su kıtlığı olan şehirlerde azalan su kaynakları ve artan su talebinin açıkça kanıtlanmasına karşın, birçok şehir diğer özellikleri ve göstergeleri gözardı ederek bol su kaynakları varsayımına dayalı geleneksel çözümlere ve su kaynaklarının miktarını artırmak için depolama odaklı çözümlere güvenmeye devam etmektedir. Kapsayıcı ve entegre kentsel su sistemlerini sürdürmek için içme suyunun kullanılabilirliği, erişilebilirliği, su kalitesi ve kentsel su sistemlerinin yeterliliği açısından etkili yönetimi kritik öneme sahiptir. Su kaynaklarının çeşitliliği, kentsel su güvenliğinin sağlanması, ani taşkın sırasında kuyularda oluşan yüksek su bulanıklığı ve şehir dışından getirilen suya bağımlılık gibi su kaynaklarının tükenmesi veya kirlenmesi ile ilgili risklere karşı korunmada kritik öneme sahiptir.

Kent dışı su kaynaklarına güvenmek, kurak zamanlarda su rekabeti ve yasa dışı su kullanım tehdidi önemli riskleri oluşturmaktadır. Kentsel su sistemlerinin iklim değişimlerine karşı direncini artırmak için entegre kentsel su yönetimi çok önemlidir. Bu riskleri fırsata çevirmek için atık suyun yeniden kullanımı, tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı ve yeraltı suyunun yenilenmesi gibi yöntemlerle su kaynakları çeşitlendirilmelidir.

Bu çalışma, su paydaşlarının ve politikacıların yetersiz kaynakları daha etkin ve sürdürülebilir şekilde hedeflemelerine yardımcı olacaktır.

Geliştirilen çerçeve genel olarak uygulanabilir ve dünyanın herhangi bir yerindeki kent ve kentsel alanlara uygulanabilir. İlerlemeyi ölçmek, şehirlerdeki kentsel su güvenliğini kıyaslamak ve gösterge özelliklerini iyileştirmek için şehirler ve kamu hizmetleri arasında bir rekabet ortamını geliştirmek için düzenli olarak değerlendirme ve izleme programlarının yürütülmesi önerilmektedir.

## Kaynakça

- Aboelnga, H., Khalifa, M., McNamara, I., Ribbe, L., Sycz, J. (2018). The Water-Energy-Food Security Nexus: A Review of Nexus Literature and Ongoing Nexus Initiative for Policymakers; Nexus Regional Dialogue Programme (NRD): Bonn, Germany, pp. 25–30.
- Aboelnga, H., Saidan, M., Al-Weshah, R., Sturm, M., Ribbe, L., Frechen, F. (2018). Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua*, 67, 384-396.
- Aboelnga, H., Ribbe, L., Frechen, F., Saghir, J. (2019). Urban Water Security: Definition and Assessment Framework. *Resources*, 8, 178, 1-19

- ADB (Asian Development Bank) (2011). Rapid Urbanization and the Growing Demand for Urban Infrastructure in Africa. African Development Bank Market Brief. Vol. 1, Issue 1, pp. 1-12.
- ADB (Asian Development Bank) (2013). Asia Water Development Outlook 2013; ADB: Manila, Philippines.
- ADB (Asian Development Bank). (2016). Asian Water Development Outlook 2016: Strengthening Water Security in Asia and the Pacific; Asian Development Bank: Mandaluyong City, Philippines.
- Allan, J.V., Kenway, S.J., Head, B.W. (2018). Urban water security-what does it mean? *Urban Water J.* 2018, 15, 899-910.
- Al-Saidi, M., Elagib, N.A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Sci. Total Environ.* 574, 1131-1139.
- Arcadis. (2015). Sustainable Cities Water Index: Which Cities Are the Best Placed to Harness Water for Future Success? Arcadis: Amsterdam, The Netherlands.
- Arfanuzzaman, M., Rahman, A.A. (2017). Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and ground water depletion for social-ecological resilience building. *Glob. Ecol. Conserv.* 10, 9–22.
- Artioli, F., Acuto, M., McArthur, J. (2017). The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. *Polit. Geogr.* 61, 215–223.
- Assefa, Y., Babel, M., Sušnik, J., Shinde, V. (2018). Development of a generic domestic water security index, and its application in Addis Ababa, Ethiopia. *Water*, 11, 37.
- Bakker, K. (2012). Water security: Research challenges and opportunities. *Science*, 337, 914–915.
- Bates, P.D., Horritt, M.S and Fewtrell, T.J. (2010). A Simple International Formulation of the Shallow Water Equations for Efficient Two Dimensional Flood Inundation Modeling. *Journal of Hydrology*, 387: 33-45
- Berg, S. (2000). Developments in best-practice regulation: Principles, processes, and performance. *Electr. J.* 13, 11-18.
- Berg, S., Marques, R.C. (2011). Quantitative studies of water and sanitation utilities: A benchmarking literature survey. *Water Policy*, 13, 591–606.
- Biswas, A.K. (2004). Integrated water resources management: A reassessment. *Water Int.* 29, 248-256.
- Brown, R.R., Keath, N., Wong, T.H.F. (2009). Urban water management in cities: Historical, current and future regimes. *Water Sci. Technol.* 59, 847–855.
- Cairns, R., Krzywoszynska, A. (2016). Anatomy of a buzzword: The emergence of ‘the water-energy-food nexus’ in UK natural resource debates. *Environ. Sci. Policy*, 64, 164-170.
- Chad, S., Christopher, A.S. (2018). Putting water security to work: Addressing global challenges. *Water Int.* 43, 1017–1025.
- Charalambous, B., Laspidou, C. (2017). Dealing with the Complex Interrelation of Intermittent Supply and Water Losses; IWA Publishing: London, UK. pp. 22-28.
- Choe, K., Varley, R., Bilani, H. (1996). Coping with Intermittent Water Supply: Problems and Prospects, Environmental Health Project; Activity Report No. 26.; USAID:Washington, DC, USA.
- Clement, F. (2013). From water productivity to water security: A paradigm shift. In *Water Security Principles, Perspectives and Practices*; Lankford, B.A., Ed.; Routledge: Abingdon, UK, pp. 148-165.

- Coelho, S.T., James, S., Sunna, N., Abu Jaish, A., Chatila, J. (2003). Controlling water quality in intermittent supply systems. *Water Sci. Technol. Water Supply*, 3, 119-125.
- Cook, C., Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environ. Chang.* 22, 94–102.
- Cook, C., Bakker, K. (2013). Debating the concept of water security. In *Water Security: Principles, Perspectives and Practices*; Lankford, B.A., Ed.; Routledge: Abingdon, UK, pp. 49-63.
- Cornejo, P., Santana, M., Hokanson, D., Mihelcic, R.J., Zhang, Q. (2014). Carbon footprint of water reuse and desalination: A review of greenhouse gas emissions and estimation tools. *J. Water Reuse Desalin.* 4, 238.
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A., Russ, J., Zaveri, E. (2019). *Quality Unknown: The Invisible Water Crisis*; World Bank Publications: Washington, DC, USA.
- Damkjaer, S., Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46, 1-19.
- Danilenko, A., Van den Berg, C., Macheve, B., Moffitt, L.J. (2014). *The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook*; World Bank Publications: Washington, DC, USA.
- Dickens, C., Rebelo, L.-M., Nhamo, L. (2017). Guidelines and Indicators for Target 6.6 of the SDGs: Change in the Extent of Water-related Ecosystems over Time. In *CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems*; International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 44p.
- Falkenmark, M. (1986). Fresh water—Time for a modified approach. *Ambio*, 15, 192-200.
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed? *Ambio*, 18, 112–118.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., Widstrand, C. (1989). Macro-Scale water scarcity requires micro-scale approaches. *Nat. Resour.* 13, 258-267.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2003). *Review of World Water Resources by Country*; Water Report No. 23; FAO: Rome, Italy.
- Garfin, G.M., Scott, C.A., Wilder, M., Varady, R.G., Merideth, R. (2016). Metrics for assessing adaptive capacity and water security: Common challenges, diverging contexts, emerging consensus. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 21, 86–89.
- Garrick, D., Hall, W.J. (2014). Water security and society: Risks, metrics, and pathways. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 39, 611-639.
- Gassert, F., Luck, M., Landis, M., Reig, P., Shiao, T. (2014). *Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing Decision-Relevant Global Water Risk Indicators*; World Resources Institute: Washington, DC, USA.
- Gerlak, A.K., House-Peters, L., Varady, R., Albrecht, T., Zuniga Teran, A., de Grenade, R., Scott, C.A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environ. Sci. Policy*. 82, 79–89.
- Gheuens, J., Nagabhatla, N., Perera, E. (2019). Disaster-Risk, Water Security Challenges and Strategies in Small Island Developing States (SIDS). *Water* 2019, 11, 637.
- Giordano, M. (2017). Water security. In *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology*; Richardson, D., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
- Giordano, M., Shah, T. (2014). From IWRM back to integrated water resources management. *Int. J. Water Resour. Dev.* 30, 364–376.
- Grafton, Q.A., Daniell, K., Nauges, C., Rinaudo, J., Wah Chan, N. (2015). *Understanding and Managing Urban Water in Transition*, 1st ed.; Springer: Berlin, Germany, 318p.
- Grey, D., Garrick, D., Blackmore, D., Kelman, J., Muller, M., Sadoff, C. (2013). Water security in one blue planet: Twenty-First century policy challenges for science. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371, 20120406.
- Grey, D., Sadoff, C.W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9, 545–571.
- GWP (Global Water Partnership). (2000). *Towards Water Security: A Framework for Action*; GWP: Stockholm, Sweden.
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Stacke, T. (2014). Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 111, 3251–3256.
- Halbe, J., Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., Adamowski, J. (2013). Towards Adaptive and Integrated Management Paradigms to Meet the Challenges of Water Governance. *Water Sci. Technol. J. Int Assoc. Water Pollut. Res.* 67, 2651–2660.
- Hartley, K., Tortajada, C., Biswas, A.K. (2017). Confronting global security in an era of water instabilities. *Foreign Policy J.* Available online: <https://www.foreignpolicyjournal.com/2017/02/03/confronting-globalsecurity-in-an-era-of-water-instabilities/> (accessed on 22 November 2019).
- Hoekstra, A.Y., Buurman, J., van Ginkel, K.C.H. (2018). Urban water security: A review. *Environ. Res. Lett.* 13, 053002.
- Howard, G., Bartram, J. (2003). *World Health Organization. Water, Sanitation and Health Team. Domestic Water Quantity, Service Level and Health*; World Health Organization: Geneva, Switzerland.
- Howlett, M.P., Cuenca, J.S. (2017). The use of indicators in environmental policy appraisal: Lessons from the design and evolution of water security policy measures. *J. Environ. Policy Plan* 19, 229-243.
- Hussein, H. (2019). An analysis of the framings of water scarcity in the Jordanian national water strategy. *Water Int.* 44, 6–13.
- Ingeduld, P., Pradhan, A., Svitak, Z., Terrai, A. (2006). Modelling intermittent water supply systems with EPANET. In *Proceedings of the Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, OH, USA, 27–30 August 2006*; pp. 1-8.
- Jensen, O., Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environ. Sci. Policy*, 83, 33-45.
- Jimenez Cisneros, B.E., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Doll, P., Jiang, T., Mwakalila, S.S. (2014). Freshwater resources. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Jimenez, B., Asano, T. (2008). *Water Reclamation and Reuse around the World: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*; IWA Publishing: London, UK. pp. 27–48.
- Kala, V., Sunil, D., Gorantiwar, S.M. (2007). Intermittent water supply under water scarcity situations. *Water Int.* 32, 121-132.
- Karpi, A. (1993). Letter to the Editor. *Emerg. Infect. Dis.* 3, 3.
- Koç, C. (2015). A study on the role and importance of irrigation management in integrated river basin management”.

- Environmental Monitoring and Assessment, Volume 187, Issue 8, 488
- Koç, C., Bakış, R., Bayazıt, Y. (2018). Entegre Kentsel Su Yönetimi. International Symposium on Urban Water and Wastewater Management. 841-848, October 25-27, Denizli, Türkiye
- Komnenic, V., Ahlers, R., Van Der Zaag, P. (2009). Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special case: Can one be water poor with high levels of access? *Phys. Chem. Earth Parts A B C*, 34, 219–224.
- Koop, S.H., van Leeuwen, C.J. (2015). Application of the improved city blueprint framework in 45 municipalities and regions. *Water Resour. Manag.* 29, 4629-4647.
- Koop, S.H., van Leeuwen, C.J. (2015). Application of the improved city blueprint framework in 45 municipalities and regions. *Water Resour. Manag.* 29, 4629–4647.
- Lawrence, P.R., Meigh, J., Sullivan, C. (2002). *The Water Poverty Index: An International Comparison*; Department of Economics, Keele University: Keele, UK.
- LeChevallier, M., Gullick, R., Karim, M., Friedman, M., Funk, J. (2003). The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. *J. Water Health.* 1, 3–14.
- Maheshwari, B., Singh, V., Thoradeniya, B. (2016). *Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities*; Springer: Berlin, Germany.
- Mancosu, N., Snyder, R., Kyriakakis, G., Spano, D. (2015). Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7, 975–992.
- Mara, D., Kramer, A. (2006). *The 2006 WHO Guidelines for Wastewater and Greywater Use in Agriculture: A Practical Interpretation*; WHO: Geneva, Switzerland.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2, e1500323.
- Nazif, S., Karamouz, M., Yousefi, M., Zahmatkesh, Z. (2013). Increasing water security: An algorithm to improve water distribution performance. *Water Resour. Manag.* 27, 2903-2921.
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards Adaptive Management of Water Facing Climate and Global Change. *Water Resour. Manag.* 21, 49–62.
- Phillis, Y.A., Kouikoglou, V.S., Verdugo, C. (2017). Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Comput. Environ. Urban Syst.* 64, 254–265.
- Phillis, Y.A., Kouikoglou, V.S., Verdugo, C. (2017). Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Comput. Environ. Urban Syst.* 64, 254–265.
- Rodríguez, M., Cuevas, M., Huertas, F., Martínez, G., Moreno, B. (2015). Indicators to evaluate water sensitive urban design in urban planning. *WIT Trans. Built Environ.* 371–382.
- Rouse, M.J. (2013). *Institutional Governance and Regulation of Water Services*; IWA Publishing: London, UK.
- Sadoff, C.W. (2015). *Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*; University of Oxford: Oxford, UK.
- Saidan, M., Khasawneh, H., Aboelnga, H., Meric, S., Kalavrouziotis, I., Jasem, A., Hayek, B., Al-Momany, S., Al Malla, M., Porro, J. (2019). Baseline carbon emission assessment in water utilities in Jordan using ECAM tool. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua.* 68, 460-473.
- Sashikumar, N., Mohankumar, M.S., Sridharan, K. (2003). Modelling an Intermittent Water Supply. *World Water Environ. Resour. Congr.* 118, 261.
- Scanlon, B., Ruddell, B., Reed, P., Hook, R., Zheng, C., Tidwell, V., Siebert, S. (2017). The food-energy-water nexus: Transforming science for society. *Water Resour. Res.* 53, 3550–3556.
- Siemens. (2012). *The Green City Index*, Economist Intelligence Unit; Siemens: Munich, Germany.
- Smith, K., Liu, S.; Chang, T. (2015). Contribution of urban water supply to greenhouse gas emissions in China. *J. Ind. Ecol.* 20, 792–802.
- Srinivas, H. (2009). *Urban Water Resources Management: An Integrated Urban Water Strategy*. Global Development Research Center. Available at: <http://www.gdrc.org/uem/water/urban-water.html>
- Srinivasan, V., Konar, M., Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security*, 1, 12-20.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 6223.
- Sullivan, C. (2002). Calculating a water poverty index. *World Dev.* 30, 1195-1210.
- Tucci, C.E.M. (2009). *Integrated Urban Water Management in Large Cities: A Practical Tool for Assessing Key Water Management Issues in the Large Cities of the Developing World*. World Bank.
- UN (United Nations) (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision; (ST/ESA/SER.A/420)*; United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division: New York, NY, USA, 2019.
- UNDP (2006). *Human Development Report 2006. Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. United Nations Development Programme, New York.
- UNESCO (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind*; UNESCO: WorldWater Assessment Programme. Paris, France, 2019.
- UNESCO and UNESCO i-WSSM. (2019). *Water Security and the Sustainable Development Goals (Series I)*; Global Water Security Issues (GWSI) Series; UNESCO Publishing: Paris, France, Resources 2019, 8, 178 19 of 19
- UN-Water (2013). *Water Security and Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief* ; United Nations University, Institute for Water, Environment and Health: Hamilton, ON, Canada.
- Van Beek, E., Arriens, V.L. (2014). *Water Security: Putting the Concept into Practice*; GlobalWater Partnership Stockholm: Stockholm, Sweden, p. 52.
- Van der Steen P. and Howe C. (2009). *Managing Water in the City of the Future*; Strategic Planning and Science. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 8, 2, p 115-120.
- Van Leeuwen, C.J. (2013). City blueprints: Baseline assessments of sustainable water management in 11 cities of the future. *Water Resour. Manag.* 27, 5191–5206.
- Van Leeuwen, C.J., Koop, S.H.A., Sjerps, R.M.A. (2016). City blueprints: Baseline assessments of water management and climate change in 45 cities. *Environ. Dev. Sustain.* 18, 1113-1128.
- Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R., et al. (2010). Global threats to human

- water security and river biodiversity. *Nature* 2010, 467, 555–561.
- Wakeel, M., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A., Ahmad, B. (2016). Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. *Appl. Energy*, 178, 868–885.
- Waldron, T. (2005). *Managing and Reducing Losses from Water Distribution Systems. Manual 10, Executive Summary*; Environmental Protection Agency: Brisbane, Australia, ISBN 0724294988.
- WEF (World Economic Forum) (2015). *Global Risks Report 2015*; WEF: Davos, Switzerland.
- WEF (World Economic Forum). (2019). *The Global Risks Report 2019*. Geneva: World Economic Forum. Available online:  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf) (accessed on 16 October 2019).
- Wheater, H.S., Gober, P. (2015). Water security and the science agenda. *Water Resour. Res.* 51, 5406-5424.
- WHO (World Health Organization). (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4th ed.; WHO: Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-4-154995-0.
- Zeitoun, M., Lankford, B., Krueger, T., Forsyth, T., Carter, R., Hoekstra, A.Y., Taylor, R., Varis, O., Cleaver, F., Boelens, R., et al. (2016). Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. *Glob. Environ. Chang.* 39, 143-154.



# Sampling Techniques and Application in Machine Learning in order to Analyse Crime Dataset

Ayla Sayli<sup>1\*</sup>, Sevil Basarir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Chemistry and Metallurgical, Department of Mathematical Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0409-537X), [sayli@yildiz.edu.tr](mailto:sayli@yildiz.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Chemistry and Metallurgical, Department of Mathematical Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1599-0727), [basarirsevil@gmail.com](mailto:basarirsevil@gmail.com)

(First received 11 May 2022 and in final form 14 June 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1115323)

**ATIF/REFERENCE:** Sayli, A. & Basarir, S. (2022). Sampling Techniques and Application in Machine Learning in order to Analyse Crime Dataset. *European Journal of Science and Technology*, (38), 296-310.

## Abstract

Machine learning enables machines to learn information and make inferences using the information it has learned. In this article, five years of crime data were analyzed and the learning process was completed with the data in the machine's hands. One-Hot Encoding and Min-Max Normalization methods and Principal Component Analysis algorithm were used in the analysis of the data. The model was asked to predict whether the criminal could be caught, the security of the area, and the type of crime committed using the K-Nearest Neighborhood, Random Forest and Extreme Gradient Boosting algorithms. However, no matter how successful the model is in imbalanced datasets, the result will be misleading. Therefore, the main purpose of this article is to transform the imbalanced data into a balanced one by various methods and to find the most accurate sampling method for the data, which is compatible with the classification method. For this purpose, one statistical sampling method (Stratify), three over sampling method (Random Over Sampler, Synthetic Minority Over, Adaptive Synthetic), three under sampling method (Random Under Sampler, Near Miss, Neighborhood Cleaning Rule) and mix samplig method (Smote Tomek) have been applied to avoid imbalance of data in target areas such as Arrest, Crime Type, Security. As a result of the sampling methods applied, efficient and effective results were obtained.

**Keywords:** Sampling Techniques, Classification, Data Pre-Processing, Machine Learning, Crime Analysis, Data Analysis, Data Visualization.

## Suç Veri Setini Analiz Etmek İçin Makine Öğreniminde Örneklem Teknikleri ve Uygulaması

### Öz

Makine öğrenmesi, makinelerin bilgiyi öğrenmesini ve öğrendiği bilgiyi kullanarak çıkarımlar yapmasını sağlar. Bu makalede, beş yıla ait suç verileri ele alınarak analiz edildi ve makinenin elindeki verilerle öğreme işleminin tamamlanması sağlandı. Verinin analizi sürecinde One-Hot Encoding ve Min-Max Normalizasyon methodları ile Principal Component Analysis algoritması kullanıldı. Modelden suçlunun yakalanıp yakalanamaması, bölgenin güvenliği ve işlenen suçun tipini K-Nearest Neighborhood, Random Forest ve Extreme Gradient Boosting algoritmaları kullanılarak tahmin etmesi istendi. Fakat dengesiz veri setlerinde model ne kadar başarılı olursa olsun sonuç yanıltıcı olur. Bu nedenle bu makalenin asıl amacı dengesiz verinin çeşitli methodlarla dengeli hale dönüştürülmesi ve veri için sınıflandırma methodu ile uyumlu en doğru örneklem methodunu bulmaktır. Bu amaçla tutuklanma, suç tipi, güvenlik gibi hedef alanlarında verinin dengesizliğinin önüne geçmek için bir tane istatistiki örneklem methodu (Tabakalaştırma), üç tane üst önekleyici method (Rastgele Üst Örnekleyci, Sentetik Azınlık Üstü, Uyarlamalı Sentetik), üç tanem alt önekleyici method (Rastgele Alt Örnekleyci, Ramak Kala, Yakın Komşu Temizleme Kuralı) ve bir tane alt ve üst karışık öneklem methodu (Smote Tomek) uygulanmıştır. Uygulanan öneklem yöntemleri sonucunda verimli ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Örneklem Teknikleri, Sınıflandırma, Veri Ön İnceleme, Makine Öğrenmesi, Suç Analizi, Veri Analizi, Veri Görselleştirme.

\* Corresponding Author: [sayli@yildiz.edu.tr](mailto:sayli@yildiz.edu.tr)

# 1. Introduction

Machine learning is an extremely popular topic among today's technologies. A lot of contributions are made to the literature with assorted studies conducted day by day. Machine learning is basically divided into three main titles as supervised, unsupervised and reinforced learning. Supervised learning consists of Regression and Classification studies. In the fields of machine learning and statistics, the classification problem is to find which of a set of categories a new observation belongs to, using a run set of basic observations and known categories.

Sampling techniques is one of sub-fractions of /classification studies . The sampling method is used to make the imbalanced classes balanced and to choose the right sample

for the algorithms. The success of the classification study will be very misleading when the correct sample is not selected or a sample with a majority of samples belonging to a certain class is selected. In order to prevent this, the process should be continued by making the imbalanced data set balanced by using various sampling techniques, before starting to work on classification algorithms on imbalanced data sets.

Sampling techniques can be applied according to statistical methods, over sampling methods, under sampling methods or mix sampling methods. There are a lot of articles in the literature about sampling methods in machine learning. Most recent articles related this topic are given in Table 1.

Table 1. Literature Studies of Sampling Techniques

Publication	Method	Summary
A Study of the Behavior of Several Methods for Balancing Machine Learning Training Data (Batista, G. E., Prati, R. C., & Monard, M. C., 2004)	Random over-sampling, Random under-sampling, Tomek links, Condensed Nearest Neighbor Rule, One-sided selection, CNN + Tomek links, Neighborhood Cleaning Rule, Smote, Smote + Tomek links, Smote + ENN	In general, oversampling methods gave better results. Smote + Tomek and Smote + ENN achieved higher success than other algorithms.
Common Survey Sampling Techniques (Hibberts, M., Burke Johnson, R., & Hudson, K., 2012)	Simple random sampling, Systematic sampling, Clustered sampling, Convenience sampling, Quota sampling, Purposive sampling, Referral sampling, Network sampling, Snowball sampling, Nonrandom sampling, Referral sampling	The relation of sampling algorithms used with each other was compared.
Combining Over-Sampling and Under-Sampling Techniques for Imbalance Dataset (Junsomboon, N., & Phientrakul, T., 2017)	SMOTE, Neighborhood Cleaning Rule, Naïve Bayes, SMO, KNN	NCL+SMOTE method has been compared with all methods used and it has been determined that it gives the best results.
Comparison of The Different Sampling Techniques For Imbalanced Classification Problems in Machine Learning (Zhihao, P., Fenglong, Y., & Xucheng, L., 2019)	Random Over Sampling, Random Under Sampling, SMOTE, Kmeans Clustering, XG Boost	When the SMOTE and MSMOTE technique was used with Gradient Boostind and XG Boost, it gave better results than the others.
Effect of machine learning re-sampling techniques for imbalanced datasets in F-FDG PET-based radiomics model on prognostication performance in cohorts of head and neck cancer patients (Xie, C., Du, R., Ho, J. W., Pang, H. H., Chiu, K. W., Lee, E. Y., & Vardhanabhuti, V., 2020)	ADASYN, SMOTE, borderline-SMOTE, random undersampling (RUS), NearMiss, Tomek link (TL), edited dataset using nearest neighbours (ENN), SMOTE-TL, SMOTE-ENN, LR, SVM, RF, XGBoost	The best result was achieved by RF classifier and SMOTE method.

Although crime is not systematic or random, it has existed since the ages of humanity. In the face of increasing crime rates in recent years, even the smallest clues about crime prevention or prevention are especially important for law enforcement. Crime analysis; it can be used to examine issues such as location, time, type of crime, the way the crime was committed, air temperature,

season, population of the region where the crime was committed, crime trends and to determine their relationship with each other. For this reason, studies on crime analysis and the outputs of these studies are particularly important. Studies on the crime data set are given in table 2.



Table 2. Literature Studies on Crime Dataset

Publication	Method	Summary
Crime Analysis and Prediction Using Data Mining (Sathyadevan, S., Devan, M. S., & Gangadharan, S. S., 2014)	K-Nearest Neighbour (KNN), Boosted Decision Tree	Although it gives better results than the boosted decision tree knn algorithm, the success rate is generally low.
Survey of Analysis of Crime Detection Techniques Using Data Mining and Machine Learning (Prabakaran, S., & Mitra, S., 2018)	Genetic algorithm, Hidden Markov Model(HMM), Naive Bayesian, Cumulative logistics model, K-mean Clustering, K-mode Clustering, Neural Network, Kernel density estimation, Logistic regression, Random forest algorithm, Influenced association rule, J48 algorithm.	Different crime detection techniques have been studied according to each crime type. Mathematical and verbal techniques are mentioned and related studies in the literature are given.
Predicting the Type of Crime: Intelligence Gathering and Crime Analysis (Albahli, S., Alsaqabi, A., Aldhubayi, F., Rauf, H. T., Arif, M., & Mohammed, M. A., 2021)	PCA, FAMD, Naive Bays, Random Forest, KNN, Decision Tree	The naive bayes algorithm was determined as the most appropriate data set for the relevant data set.

There are assorted studies on sampling methods and crime predictions in the literature. However, the effects of sampling techniques were not examined while analyzing and estimating the crime data set. Here, unlike previous studies, we will examine the effect of sampling techniques on the success from four distinct perspective (statistical, over, under, mix sampling) on the crime data set.

Firstly stabilize the imbalanced data set by using various sampling methods, and then we will measure the success of the model by subjecting the balanced data set to classification methods. By comparing different sampling methods with various classification methods, we will suggest the most suitable sampling method for our model.

The article consists of a total of six chapters. In the first part, there is a general-purpose subject and literature summary. In the second part, the materials and methods are mentioned. Its subtitles consist of sampling methods, classification algorithms and evaluation metrics. In the third section, how the data was collected and the data set in the third part includes reviews on crime data. First, how the data is collected, what is target, how it is processed, which methods are applied on the data, and finally, the visualization of the data is mentioned. In the fourth chapter, the experimental setup stages are explained. The sixth chapter consists of the results of all studies and comparative evaluations.

## 2. Material and Method

### 2.1. Sampling Techniques

Sampling is a popular approach used to eliminate class imbalance. The purpose of sampling methods is to generate data with a relatively more balanced class distribution. Thus, classification algorithms can better capture the decision boundary between majority and minority classes. (Kurin, S., Steinshamn, S. I., & Saerens, M., 2017)

Sampling can be done by using methods based on statistical techniques, or by over sampling to complete the majority with multiplication operations in the equating of classes, or by using

under sampling techniques to complete the majority with education operations in the equating of classes. In this article, Stratified from statistical methods,

Random Over Sampler, SMOTE, ADASYN from over sampling methods (Random Over Sampler, SMOTE, SMOTENC, SMOTEN, ADASYN, Borderline SMOTE, KMeans SMOTE, SVM SMOTE), Neighbourhood Cleaning Rule, Random Under Sampler, Near Miss from under sampling methods (Cluster Centroids, Condensed Nearest Neighbour, Edited Nearest Neighbours, Repeated Edited Nearest Neighbours, AllKNN, Instance Hardness Threshold, Near Miss, Neighbourhood Cleaning Rule, One Sided Selection, Random Under Sampler, Tomek Links) and Smote Tomek from combine sampling methods (Smote Tomek, Smote Enn) are used.

#### 2.1.1. Stratified Sampling (SS)

In statistical science, stratified sampling is the acquisition of data from a population with a special shape probability sampling method. The feature that distinguishes the stratified sampling method from other probability sampling methods is that all the elements in the population consist of several groups and strata that are similar to each other according to certain characteristics. The layer elements are similar to each other but very distinctly different from the other layer elements. In the layer example, the sample elements are selected such that there are representatives in the sample for each population layer. (Meng, X., 2013)

#### 2.1.2. Random Over Sampling (ROS)

Random Oversampling is one of the oldest methods and has proven to be quite consistent in its results. (Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P., 2002). Basically, it aims to equate classes by selecting and copying random elements from the minority class and repeating them until they match the number of elements of the majority class.

#### 2.1.3. Random Under Sampling (RUS)

The Random Under Sampler method is one of the oldest techniques used to remove imbalances in the data set. It is basically based on the principle of equating the minority class with the majority class by removing random elements from the

majority class. But it can increase the variance of the classifier and there is a risk of discarding important samples. (Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., & Chawla, N. V., 2018)

#### 2.1.4. Synthetic Minority Over Sampling (SMOTE)

SMOTE (Synthetic Minority Over-Sampling Technique) is an oversampling process that produces synthetic data. The main idea of the method is to create new instances of the minority class by performing certain operations between instances of the minority class. Synthetic samples are produced as follows: the difference between the examined feature vector ( $E_i$ ) and its nearest neighbor is taken, this difference is multiplied by a random number ( $\delta$ ) between 0 and 1, the final result is added to the examined feature vector and a new sample is formed. Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P., 2002).

$$E_{new} = E_i + (E_i - E_j)\delta$$

#### 2.1.5. NearMiss Sampling (NMS)

The Near Miss sampling method aims to balance the class distribution by randomly eliminating majority class samples. First, the Euclidean distance between the majority and the minority class is calculated. Then, n samples of the majority class with the smallest distances to those in the minority class are selected. If the minority class has k instances, the closest method will result in k\*n instances of the majority class. (DURAHİM, A. O.,2016). There are three variations of applying the Near Miss Algorithm to find the n closest instances in the Majority class:

- First method: Samples of the majority class are selected where the mean distances to the nearest k samples of the minority class are the smallest.
- Second method: Samples of the majority class with the smallest mean distances to the k-farthest k samples of the minority class are selected.
- Third method: It works in two steps. First, for each instance of minority class, M nearest neighbor is stored. Finally, majority class instances are selected for which the mean distance to N nearest neighbors is the largest.

#### 2.1.6. Neighbourhood Cleaning Rule Sampling (NCR)

The Neighbor Cleaning Rule (NCR) is an under sampling method proposed in 2001. (Laurikkala, J.,2001) For two-class problems, he recommends a more comprehensive version of the Edited Nearest Neighborhood method. According to the working logic, first of all, the data has k close neighbors. (The default is three.) Then, if the selected data belongs to the majority class and there is a prediction error about its nearest neighbors, the selected data is removed. But if the selected data belongs to the minority class and there is an estimation error about its nearest neighbors,

Tree, Random Forest, A Neural Network, Extreme Gradient Boosting, Naive Bayes. In this studies, for testing sampling techniques it has been used K-Nearest Neighborhood, Random Forest and Extreme Gradient Boosting algorithms.

#### 2.2.1. K-Nearest Neighborhood Algorithm (KNN)

The k-nearest neighbor (KNN) algorithm is one of the supervised learning algorithms that is easy to implement. Although it is used in solving both classification and regression problems, it is mostly used in solving classification problems.

then the nearest neighbors belonging to the majority class are removed.

#### 2.1.7. Adaptive Synthetic Sampling (ADASYN)

The ADASYN algorithm is an over sampling method and works by generating enough synthetic alternatives for each observation belonging to the minority class. How many data it needs to generate depends on how complicated it is to learn the original observation. It is just as difficult to learn an observation from the minority class, especially if there are multiple examples of observations with similar characteristics in the majority class. (He, H., Bai, Y., Garcia, E. A., & Li, S., 2008)

#### 2.1.8. Smote Tomek Sampling (ST)

Tomek links are an under sampling method that identifies all pairs of data points that belong to different classes but are closest to each other. These data pairs defined by totem links are called totem links. Tomek Links is subject to two main conditions. First, the two selected data are the closest neighbors to each other. Second, these two data belong to different classes. Tomek connections are at the boundary of separation of the two classes. Therefore, removing the majority class from totem connections increases class separation and thus reduces the number of instances of the majority class. (Tomek, I., 1976)

Smote, on the other hand, is an extreme learning technique and creates new minority class synthetic examples.

In the Smote-Tomek technique, on the other hand, to transform the imbalanced data into a balanced one, first, new minority class synthetic samples are created with the smote technique. Later, Tomek links are used to extract samples near the boundary of the two classes to increase the separation between the two classes. (Batista, G. E., Bazzan, A. L., & Monard, M. C.,2003)

## 2.2. Classification Algorithms

Machine learning algorithms are snippets of code that help people discover, analyze, and find meaning in complex datasets. Each algorithm creates the paths a machine will follow to achieve a specific goal. The goal of a machine learning model is to create or discover patterns that humans can use to make predictions or categorize information. Different algorithms analyze data differently. These are grouped by the machine learning techniques in which they are used: supervised learning, unsupervised learning, and reinforcement learning. The most widely used algorithms use regression and classification to predict target categories, find unusual data points, estimate values, and find similarities. Classification algorithms use predictive calculations to assign data to preset categories such as Support Vector Machine, K-Nearest Neighborhood, Logistic Regression, Decision

KNN algorithms were proposed by T. M. Cover and P. E. Hart in 1967. The algorithm is used by making use of the data in a sample set with certain classes. The distance of the new data, which will be added to the sample data set, is calculated according to the existing data, and its k close neighbors are checked. Three types of distance functions are generally used for distance calculations: Euclidean Distance, Manhattan Distance or Minkowski Distance. (Pandey, A., & Jain, A., 2017).

KNN; It is one of the most popular machine learning algorithms due to its resistance to old, simple and noisy training data. But it also has a disadvantage. For example, it needs a lot of

memory space when used for large data, since it stores all states when calculating distances.

The steps of the KNN algorithm:

- First, the parameter k is determined. This parameter is the number of nearest neighbors to a given point. For example: Let k=2. In this case, classification will be made according to the 2 closest neighbors.
- The distance of the new data to be included in the sample data set is calculated one by one according to the existing data with the help of the corresponding distance functions.
- The k nearest neighbors of the related distances are considered. It is assigned to the class of k neighbors or neighbors according to the attribute values.
- The selected class is considered to be the class of the observation value expected to be estimated. In other words, the new data is labeled.

### 2.2.2. Random Forest Algorithm (RF)

Random forest algorithm is one of the supervised classification algorithms. It is used in both regression and classification problems. The algorithm aims to increase the classification value during the classification process by producing more than one decision tree. Random forest algorithm is the process of choosing the highest score among many decision trees that work independently of each other. As the number of trees increases, our rate of obtaining a precise result increases. The main difference between the decision tree algorithm and the random forest algorithm is that the process of finding the root node and splitting the nodes is random.

### 2.2.3. Extreme Gradient Boosting Algorithm (XGB)

XGBoost(eXtreme Gradient Boosting) is a high-performance version of the Gradient Boosting algorithm optimized with various modifications. It was developed by Tianqi Chen and Carlos Guestrin in 2016. (Chen, T., & Guestrin, C., 2016) The most important features of the algorithm are that it can achieve high predictive power, prevent over-learning, manage empty data and do them quickly. According to Tianqi, XGBoost runs 10 times faster than other popular algorithms.

Software and hardware optimization techniques have been applied to obtain superior results using less resources. It is cited as the best of the decision tree-based algorithms.

Instead of examining each value in the data, XGBoost divides the data into pieces (quantiles) and works according to these pieces. As the amount of parts is increased, the algorithm will look at smaller intervals and make better predictions.

## 2.3. Evaluation Metrics

Evaluation metrics are used to measure the quality of the model. Evaluating the success of the developed models or projects is important for both the realized and future works. To evaluate the performance of classification models used in machine learning, the confusion matrix, which compares the predictions of the target attribute and the actual values, is often used. Confusion Matrix is given Table 3. (Zeng, G., 2020)

Table 3. Confusion Matrix

	Predicted Negative	Predicted Positive
Actual Negative	True Negative (TN)	False Positive (FP)
Actual Positive	False Negative (FN)	True Positive (TP)

Based on the confusion matrix, accuracy, recall, precision and F1-score parameters are also reached.

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

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

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

$$F1 - Score = 2 \frac{1}{\frac{1}{TP + FP} + \frac{1}{TP + FN}} \quad (4)$$

These evaluation metrics in 1,2,3,4 can be used together to determine to success of each model. (Dalianis, H., 2018)

## 3. Data Collection, Pre-Processing and Visualization of Crime Dataset

The Crime dataset consists of twenty-three columns and 1.4 million rows and was downloaded from the open-source dataset kaggle site<sup>†</sup>. Also, Chicago's 2012-2016 weather records<sup>‡</sup> and Chicago Community Area population information from wikipedia were obtained. In this study, unlike other crime studies, the effect of population and weather on crime was investigated by creating a data set that combines three separate sources. In the Data Collection section, the features that will be evaluated in the study to be done by removing the columns that have very few records from the combination of the three data sets or that are unique such as id and that will not affect the study are selected and their details are given in Table 4. In the Data Pre-processing section, it is mentioned how new features are created based on existing data and which transformation operations are performed on the data. The last version of the data set is shown in Table 5. In the Data Visualization section, graphical evaluations are given over the data set arranged. As a result of all operations, it is aimed to influence the sampling techniques to make predictions on Arrest, Crime Type and Security fields.

### 3.1. Data Collection

The data set used in the study consists of a combination of data from three diverse sources. The data consists of five years of criminal records from the Chicago Police Department. The weather information of the date of each criminal record has been added to the data set based on date. Finally, information such as population and size of the regions by meter square where the crime was committed was added to the data set, allowing the data set to be examined with expanded different perspectives. In Table

<sup>†</sup> [https://www.kaggle.com/datasets/currie32/crimes-in-chicago?select=Chicago\\_Crimes\\_2012\\_to\\_2017.csv](https://www.kaggle.com/datasets/currie32/crimes-in-chicago?select=Chicago_Crimes_2012_to_2017.csv)

<sup>‡</sup> <https://www.ncdc.noaa.gov/>

4, attribute information of the combined data set used in the analysis is given.

Table 4. Attributes of Combined Dataset

Column Name	Description	Type	Number of Distinct Value	Min Value	Max Value
Date	Date when the incident occurred.	date	1827	01-01-12	31-12-16
Primary Type	The primary description of the IUCR code.	object	32	-	-
Location Description	Description of the location where the incident occurred.	object	145	-	-
Arrest	Indicates whether an arrest was made.	bool	2	-	-
Domestic	Indicates whether the incident was domestic-related as defined by the Illinois Domestic Violence Act.	bool	2	-	-
Community Area	Indicates the community area where the incident occurred.	integer	77	1	77
Name	Community Area Name	object	77	-	-
max_tmp	The maximum temperature for that day in fahrenheit	integer	100	-2	103
min_tmp	The minimum temperature for that day in fahrenheit	integer	95	-18	82
Population	The population of Comunity Area of Chicago	integer	77	2527	105481
Area_km2	The value of the area in square kilometers	integer	69	1.5	34.55
Density_km2	The density of the area in square kilometers	integer	77	388.36	14863.58

### 3.2. Class Distribution of Arrest, Crime Type and Security Target Area

An imbalanced dataset is the result of an imbalance between the data of the class in the target field. In general, one class is much more or less than the other class. Working on the data of imbalanced classes poses a problem in terms of the reliability of the results.

In both the train data and test data obtained from the unbalanced dataset, the majority belong to the class. Therefore, the data is more prone to yield high results. But this is related to the fact that the data is unbalanced. It is more difficult to obtain high results by using a balanced data set where each class is equal. Because the train and test data are selected from the data set belonging to the same class, and the difference between the classes is very small. The success obtained from balanced data also means that the success obtained from unbalanced data is much more consistent and the model is suitable for the data set.

Sampling techniques were applied for three different target areas in order to eliminate the problem in imbalanced data. Figure 1, Figure 2 and Figure 3 show the distribution of classes for each target area.

#### 3.2.1. Target Arrest

There are two classes for the Arrest target area, True and False. There are a total of %73,5 False and %26,5 True records in all data.

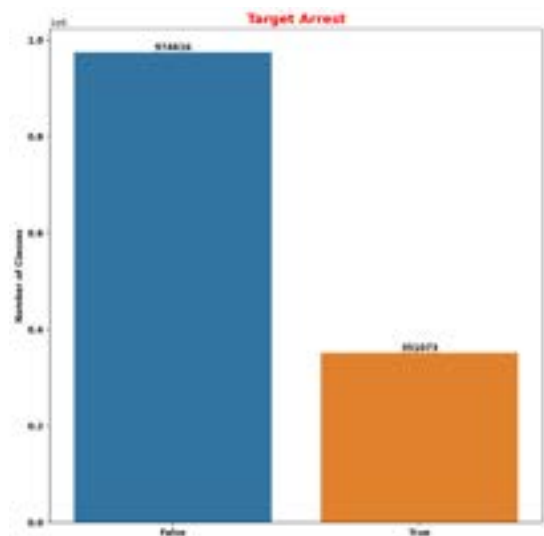


Figure 1. Classes of Arrest

#### 3.2.2. Target Crime Type

In all data, the Crime Type target field consists of three classes: %44,25 materially damaging crime, %39,6 physically damaging crime and %16,15 emotionally damaging crime.

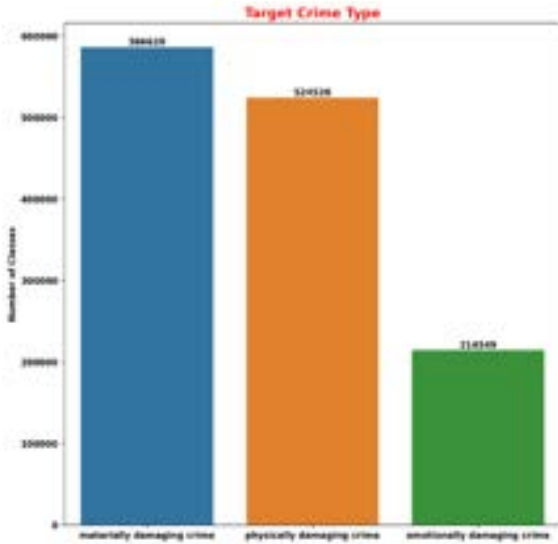


Figure 2. Classes of Crime Type

### 3.2.3. Target Security

There are four different classes for the Security target area. Two of them are close to each other while the other two are far from each other. Out of the whole data set, %50,6 of them belong to the very dangerous class, %23 of them to the safe class, %20,4 to the dangerous class and %6 to the very safe class.

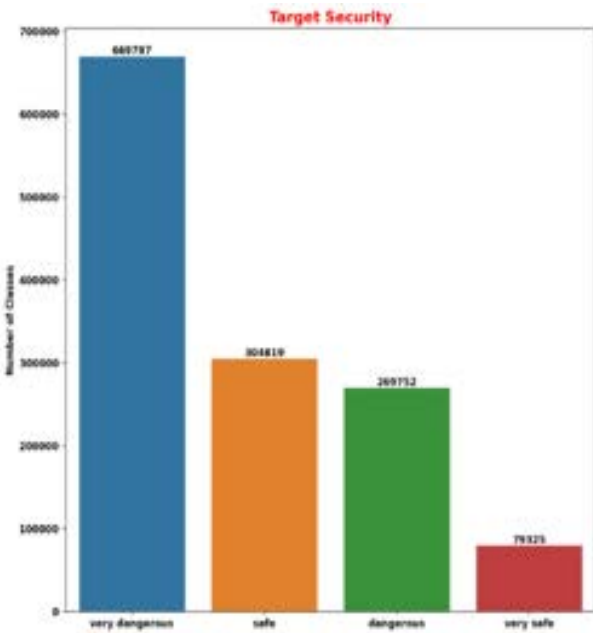


Figure 3. Classes of Security

## 3.3. Data Visualization of Crime Dataset

In this section, the visualization of the data and the effect of the attributes on the data through these graphs are mentioned.

### 3.3.1. Location, Population and Crime Relationship

To analyze the relationship between population, location and crime, the population and crime amounts corresponding to each location were examined and visualized.

In Figure 4, the population information of each community area is given from the highest population to the lowest population.

In Figure 5, the average crime amount is given from the highest amount of crime to the lowest amount of crime in each

community area. Thus, the community area information above and below the crime average is also included.

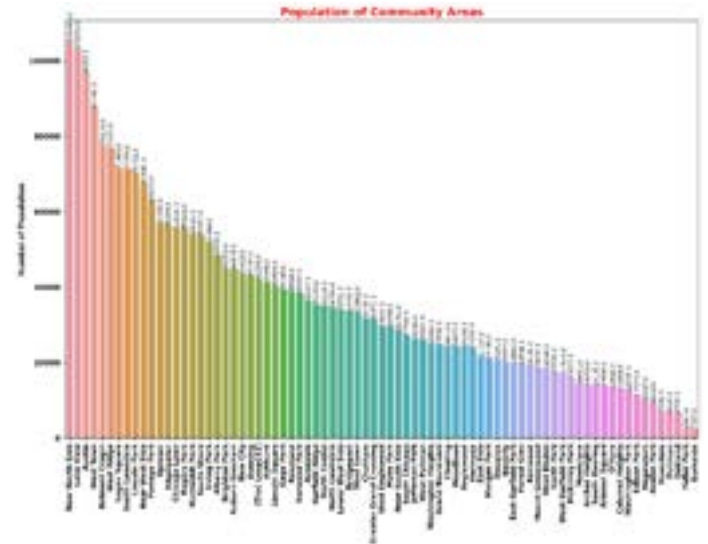


Figure 4. Population of Community Areas

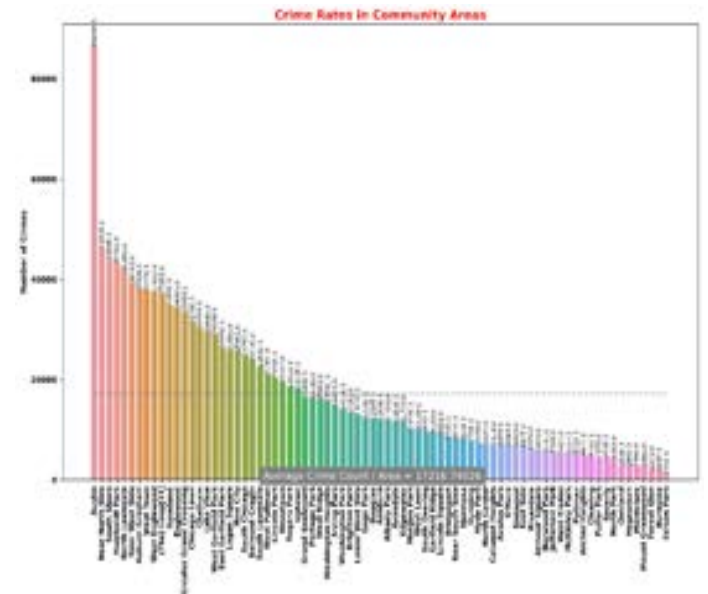


Figure 5. Average Crime Count of Community Areas

The highest crime rate was seen in Austin, Chicago's third most populous community area, by a wide margin. The Near North Side, with the highest population, is the second most crime-ridden area. Although the South Shore is not a very crowded area, it has been observed that it is the third region where crime is committed the most. It has been observed that the crime rate is low in places where the population is low, such as Burnside and Edison Park.

Based on all this, although the population and crime rate are relatively proportional, regions such as Austin and South Shore have been the regions where crime is high regardless of the population.

### 3.3.2. Change of All Crimes over the Years

Figure 6 contains detailed information about each criminal record. The total number of crimes committed for each year and its change over the years are shown in the graphs.

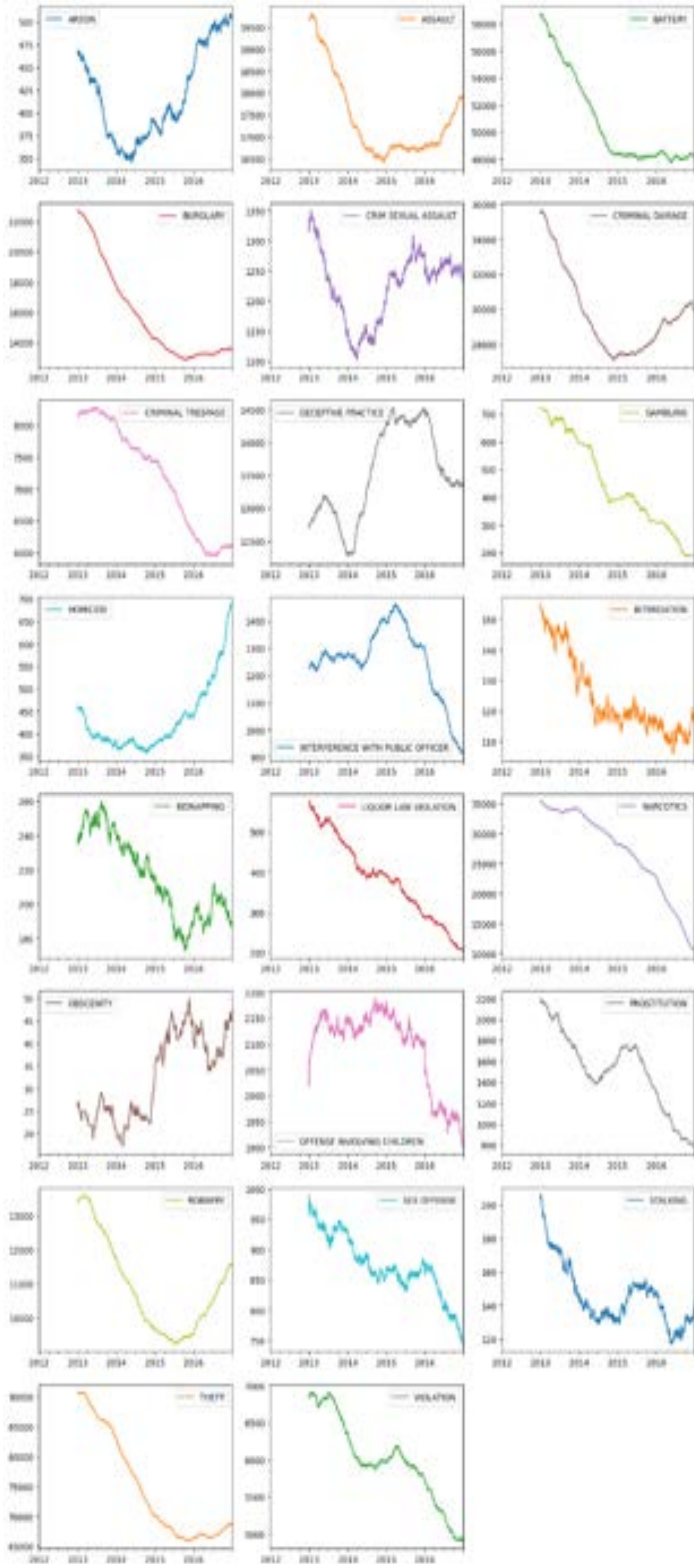


Figure 6. Change of All Crimes

The following inferences were obtained from the crime graphs:

- Arson and Homicide is the most increasing type of crime over the years,
- Gambling, Narcotics, Violation, Prostitution, Interference with Public Officer, Liquor Law Violation and Offense Involving Children crime types are almost not seen or seen truly little in recent years,
- Battery, Criminal Trespass and Burglary crime types have less momentum in recent years,

- The ups and downs in crimes are mostly seen in Crim Sexual Assault, Deceptive Practice and Obscenity,
- In general, it has been determined that all crimes have fluctuations in the graphics, some years more and some years less.

### 3.3.3. Season, Weather and Crime Relationship

Twelve months in our dataset were divided into four seasons to facilitate review. The first three months constitute the first season, and each subsequent three months constitute the next season. In Figure 7, each of the four episodes between each year corresponds to a season.

Chicago is located in North America. At the same time, it has a climate where the summer months are hot in the middle of the year and the winter months are cold at the end of the year.

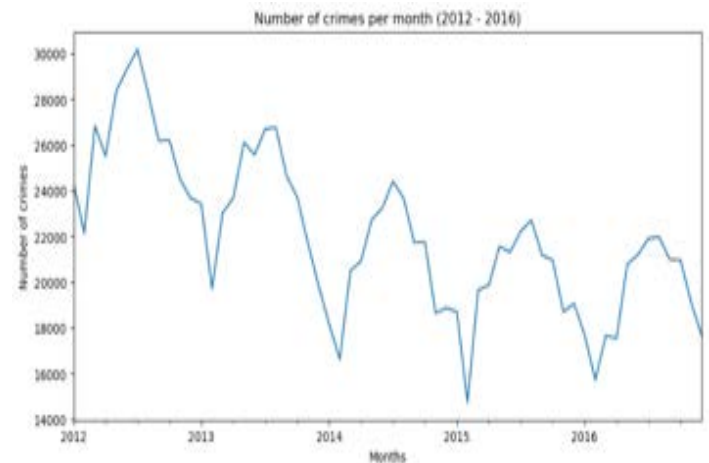


Figure 7. Change in Crime Rates over the Years

In general, the highest crime rates were determined in 2012, and the lowest crime rates were determined in 2016. It has been observed that crime rates always decrease at the beginning of each year, and reach their highest levels in the middle of the year. From this point of view, it is seen that the most crimes are committed in the summer months when the weather is hot, and the least crimes are committed in the winter months when the weather is cold. Thus, it is observed that there is a direct proportional relationship between temperature and seasons and crime.

### 3.4. Data Pre-Processing

A lot of data pre-processing steps are applied in the period from the first acquisition of the data to the implementation of the algorithms. In this section, the details of these processes are mentioned.

#### 3.4.1. Handling Missing Data and Extract Noisy Data

Data deletion method was used for missing values. Similarly, information with values far below normal was removed so that it would not destabilize the data set. For example, there was twenty value whose Primary Type record was "HUMAN TRAFFICKING". This was around 0% when compared to other types of crime. Therefore, all data containing this record was deleted from the data set. The same procedure was repeated for similar samples. Noisy data was removed from the data set so that it would not adversely affect the success of the model.

### 3.4.2. Data Integration and Transformation

In the processing of raw data, the data set undergoes various transformations. This is sometimes the process of removing unnecessary data. Sometimes, it may produce a new feature from the data, especially in machine learning projects.

- Mean\_temp\_C: The maximum and minimum temperature values kept in fahrenheit in the data were first converted to celsius. Later, a new feature was added by averaging the two values.
- Season: The month information was removed from the date information. According to the month information, season information as spring, summer, autumn and winter has been added.
- Weekday Weekend: By using the python function from the date information, the information of whether the day of the relevant date is weekend or weekday was added.
- When: Two-class time information as morning or evening has been added from the AM and PM information in the date information.
- Security: While creating the Security area, 2 points were taken as a basis. First of all, the number of crimes committed in all community areas, their percentage and the average amount of crime were found. Based on this information, 4 different levels of security were assigned as very safe, safe, dangerous, and very dangerous by looking at the number of crimes committed in the community area and evaluating the relationship with whether the suspect was caught or not.
  - It is very dangerous if more than average crime has been committed and the suspect has not been arrest,
  - Dangerous if more than average crime has been committed and the suspect has been arrested,
  - Safe if a below-average crime has been committed and the suspect has not been arrested,
  - Considered very safe if below-average crime was committed and the suspect was arrested.
- Crime Type: According to the crime information in the Primary Type field, crime types were determined as physically, materially, emotionally damaging crime. For example, “Theft” was determined as material, “Battery” as physical, “sex Offense” as emotionally damaging crime.

### 3.4.3. Encoding Method

One-hot Encoding technique was applied for all categorical values. According to this technique, a new column is opened for each class of categorical value. If the value in the data contains that class, one is assigned, if it does not, zero is assigned and a dummy value is given. With this method, all categorical values are converted to numerical values.

Table 5. Attributes That Applied Encoding Method

Attribute	Data Type	Encoding Format
Primary Type	categorical	One-Hot Encoding
Location Description	categorical	One-Hot Encoding
Arrest	categorical	One-Hot Encoding
Domestic	categorical	One-Hot Encoding
Name	categorical	One-Hot Encoding
season	categorical	One-Hot Encoding
Weekday Weekend	categorical	One-Hot Encoding
when	categorical	One-Hot Encoding
security	categorical	One-Hot Encoding
Crime Type	categorical	One-Hot Encoding

### 3.4.4. Normalization

Min-max normalization was applied for each numerical value. Thus, the range in the numerical values in the dataset has been narrowed and all the data has been moved to the 0-1 range. This method was also applied to prevent uneven distribution in the dataset.

Table 6. Attributes That Applied Normalization Method

Attribute	Data Type	Normalization Type
Population	numerical	Min-Max Normalization
Area_km2	numerical	Min-Max Normalization
Density_km2	numerical	Min-Max Normalization
Mean_temp_C	numerical	Min-Max Normalization

### 3.4.5. Description of Pre-Processed Dataset

The data set was formed by combining the crime data recorded by the Chicago Police Department between 2012 and 2016 with the weather and population data by date. In total, when all the pre-processing of the data is completed, there are 18 columns 1323693 records given to the algorithms.

Table 7. Attributes of Pre-processed Dataset

Column Name	Description	Type	Method	Related Columns	Values	Value Range
Primary Type	The primary description of the IUCR code.	int	encoding	23	0,1	0-1
Location Description	Description of the location where the incident occurred.	int	normalization	29	0,1	0-1
Domestic	Indicates whether the incident was domestic-related as defined by the Illinois Domestic Violence Act.	int	encoding	2	0,1	0-1
Arrest	Indicates whether an arrest was made.	int	encoding	2	0,1	0-1
Name	Community Area Name	int	encoding	77	0,1	0-1
Population	The population of Community Area of Chicago	int	normalization	1	0.0,...,0.99	0-1
Area km2	The value of the area in square kilometers	int	normalization	1	0.0,...,0.99	0-1
Density km2	The density of the area in square kilometers	int	normalization	1	0.0,...,1.0	0-1
Mean	The average temperature for that day in celsius	int	normalization	1	0.0,...,0.99	0-1

Column Name	Description	Type	Method	Related Columns	Values	Value Range
temp_C						
season	Season information according to the time the crime was committed	int	encoding	4	0,1	0-1
Weekday Weekend	Weekday or weekend information according to the time the crime was committed	int	encoding	2	0,1	0-1
when	AM (morning) or PM (evening) information according to the time the crime was committed	int	encoding	2	0,1	0-1
security	Security information evaluated according to the average crime rate of the area where the crime was committed and whether the suspect was arrest or not.	int	encoding	4	0,1	0-1
Crime Type	Information on how the crime committed according to the Primary Type information causes harm.	int	encoding	3	0,1	0-1

### 4. Experiments Setup

The data consists of a combination of 3 sources. Combining these data described in the Data Collectin section was performed by writing python codes in a Jupyter notebook and using the pandas library. Processes such as examining the data, removing missing data, and performing the necessary numerical operations were made with the use of pandas and numpy libraries.

All graphics in the data visualization section are made using python's data visualization libraries, scipy, matplotlib, seaborn. By visualizing the data, it was examined in detail what kind of data was worked on before the algorithms.

In the data pre-processing part, cleaning of missing data in the dataset, data transformation, new feature formation, encoding and normalization processes were performed. All operations are done using python. Sklearn was used for normalization operations, pandas and numpy library were used for all other operations.

After all data pre-processing, the final dataset to be used in sampling algorithms has been reached.

Similar libraries were also used with the Data visualization step in the use of target areas as graphics.

However, as a result of these operations, the size of the data has grown enormously. Principal Component Analysis (PCA) (Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P., 1987) and Linear Discriminant Analysis (LDA) (Wu, W., Mallet, Y., Walczak, B., Penninckx, W., Massart, D. L., Heuerding, S., & Erni, F., 1996) are commonly used methods for dimensionality reduction in the literature. In this study, PCA method was preferred.

It is a technique whose main purpose is to keep the data set with the highest variance in high-dimensional data, but to provide dimension reduction while doing this. By finding the general features in the over-dimensional data, it reduces the number of dimensions and compresses the data. It is certain that some features will be lost with size reduction; but the intent is that these disappearing traits contain little information about the population. This method combines highly correlated variables to create a smaller set of artificial variables, called "principal components", that make up the most variation in the data. In this article, the data is restated with 2 components and shown in Figure 8, Figure 9 and Figure 10 in two dimensions according to the targets.

PCA generally consists of five steps:

1. In the first step, the data is centered by subtracting the average from each variable. Thus, a data set with a mean of 0 is obtained. However, if the variances of the original dataset are very different from each other, the data can be converted between 0 and 1.
2. Secondly, the covariance and correlation matrix is created. In scaled data, both are the same.
3. Then the eigenvalues and eigenvectors of the covariance and correlation matrix are calculated.
4. The eigenvalues are ordered from largest to smallest and the corresponding eigenvectors are found. Thus, the principal components are selected.
5. Finally, after all these processes, a new data set is created.

PCA is also used to visualize data along with dimensional reduction. Data reduced to two dimensions with PCA are shown in figure 8 for the arrest target area. Red color indicates true class and blue color indicates false class.

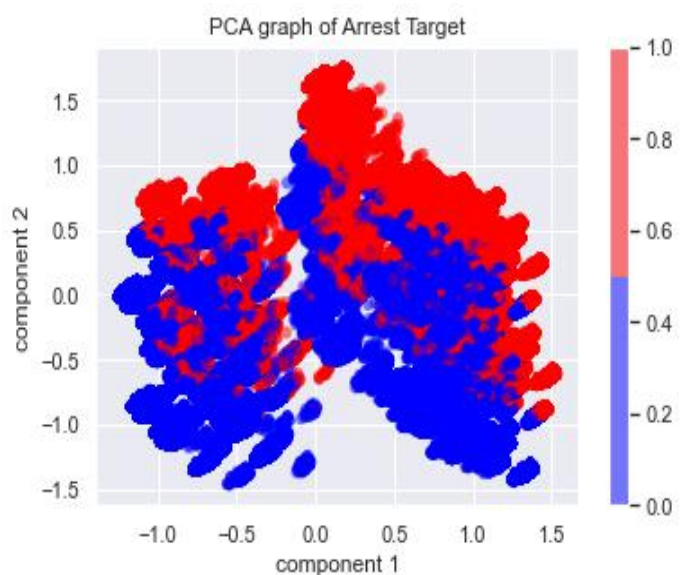


Figure 8. Graphical Representation of the Arrest Target After Applying PCA

In Figure 9, red color represents emotionally damaging crime class, blue color represents physically damaging crime class and



yellow color represents materially damaging crime class for crime type target.

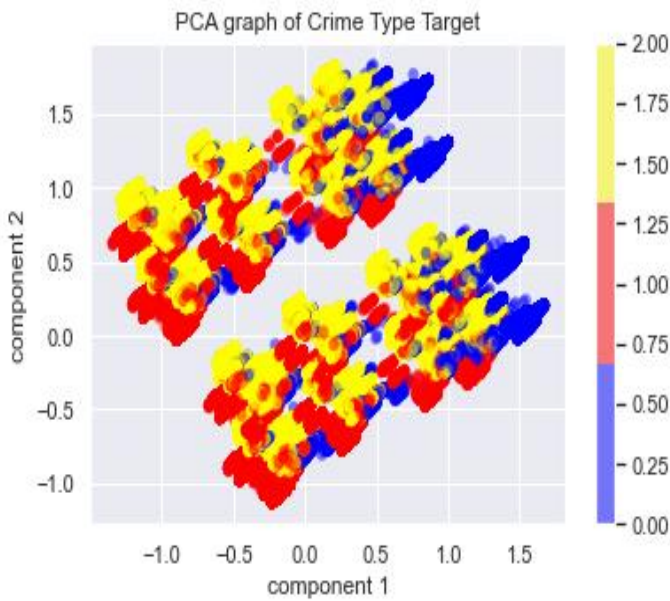


Figure 9. Graphical Representation of the Crime Type Target After Applying PCA

In Figure 10, blue color refers very safe class, red color refers safe class and yellow color refers dangerous class and white color refers very dangerous class for security target.

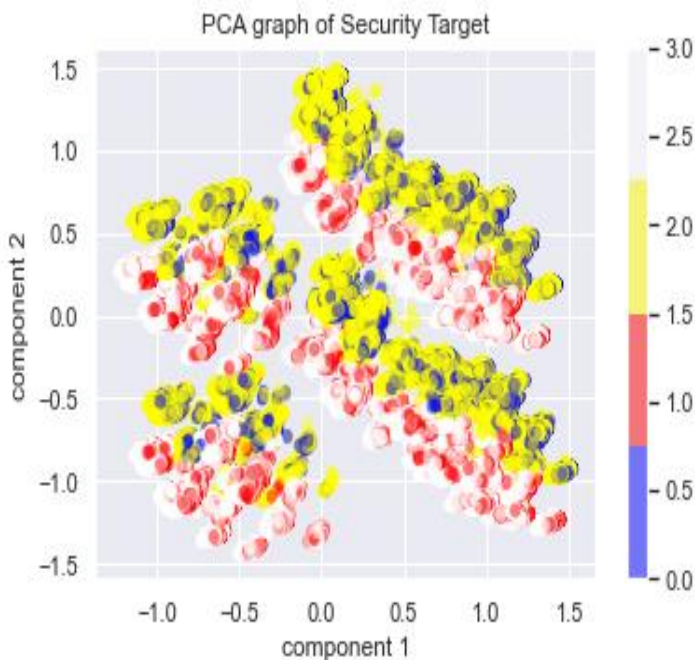


Figure 10. Graphical Representation of the Crime Type Target After Applying PCA

While applying the PCA algorithm, the sklearn library was used. Matplotlib and seaborn libraries were used for data visualization with PCA.

By using machine learning methods, models suitable for large data sets are obtained. Evaluation is helpful to find out which model is better and to understand how well the learning model will work in the future. Using only the training set is not acceptable because the method may be overfitting. Two different

approaches are generally recommended to avoid this situation: hold-out and cross-validation. Both approaches use a test set to avoid overfitting and measure model performance. In this study, the hold-out method was used.

Hold-out is a method of dividing the dataset into training and test sets. The training set is the data on which the model is trained, while the test set is the data used to see how well the model performs on the untrained data. Commonly when using the hold-out method, it uses 80% of the data for training and 20% of the remaining data for testing.

The hold-out method is especially useful for very large datasets. Because cross validation uses more than one training-test split, it takes more time than hold-out because it requires more computational power.

The data was divided into two using the hold-out method. 80% of it was considered as training data and 20% as test data. For classification studies, 3 different targets were determined as Arrest, Security and Crime Type.

The sklearn library was used when applying the hold-out method and calculating the evaluation metrics such as accuracy, precision, recall, F1-score.

Sampling algorithms, which were evaluated comparatively from four different perspectives (Statistic: Stratify Sampling, Over-Sampling: Random Over Sampling, Synthetic Minority Over-sampling, Adaptive Synthetic Sampling, Under-Sampling: Random Under Sampling, Near Miss Sampling, Neighborhood Cleaning Rule, Mix-Sampling: Smote Tomek) were applied for the target areas of arrest, crime type and security by using three different classification algorithms (K-Nearest Neighborhood, Random Forest, Extreme Gradient Boosting).

For each target area, a total of twenty-four tests were conducted using eight sampling and three classification algorithms, and a total of seventy-two tests for all target areas. Moreover, for three different target areas and three different classification algorithms, a total of nine tests were conducted without using the sampling method, and a total of eighty-one tests were conducted as a result of all studies.

## 5. Computational Result and Future Work

All training results were analyzed in detail and presented in three tables. Each sample is listed in a way that is comparable to both other sampling methods and the sampling methods in its group.

The results of all experiments for Arrest Target in Table 8, Crime Type Target in Table 9 and Security Target in Table 10 are given. High success rate sampling techniques and classification algorithms are marked in bold. Evaluations related to each table are given below the table, and the general evaluation is given at the end.

When all the results were evaluated in general, high success rates were determined for all three target areas. It has been observed that with the use of sampling techniques, the imbalanced data set becomes more stable and the success rates increase for each target area.

Since this study was based on crime data from the Chicago Police department, the coverage was limited to one city. More comprehensive and general results will be obtained if detailed crime analysis and machine learning studies are carried out with

the crime records in the police departments or FBI databases across the country.

Table 8. The Result of Target Arrest

Target: Arrest		Pre-Processed Data				
		Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	
Imbalance Dataset	KNN	0.98	0.98	0.98	0.98	
	RF	0.98	0.98	0.98	0.98	
	XGB	0.96	0.96	0.96	0.96	
Statistic	SS	KNN	0.98	0.98	0.97	0.97
		RF	0.98	0.98	0.97	0.97
		XGB	0.96	0.96	0.93	0.94
Over Sampling	ROS	KNN	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		RF	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		XGB	0.96	0.96	0.93	0.94
	SMOTE	KNN	0.98	0.98	0.98	0.98
		RF	0.98	0.98	0.98	0.98
		XGB	0.95	0.95	0.94	0.94
	ADASYN	KNN	0.97	0.97	0.97	0.97
		RF	0.97	0.97	0.97	0.97
		XGB	0.87	0.87	0.87	0.87
Under Sampling	RUS	KNN	0.97	0.97	0.97	0.97
		RF	0.98	0.98	0.97	0.97
		XGB	0.96	0.96	0.93	0.94
	NMS	KNN	0.96	0.96	0.96	0.96
		RF	0.96	0.96	0.96	0.96
		XGB	0.92	0.93	0.92	0.92
	NCR	KNN	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		RF	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		XGB	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
Mix (Both Over and Under SAmpling)	ST	KNN	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		RF	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
		XGB	0.95	0.95	0.95	0.95

According to Table 8, it has been determined that the most compatible sampling method for the arrest target area is ROS, NCR and ST, which are used together with KNN and RF. Even the XGB algorithm is used, it has been seen that the best sampling

method is NCR. It has been observed that NCR, which works in harmony with all classification algorithms, achieves the best success among all sampling methods. Although the accuracy rate of the imbalance data is high, it has been determined that the

sampling methods both make the accuracy of the imbalance data more consistent and increase it by 1%.

Table 9. The Result of Target Crime Type

Target: Crime Type		Pre-Processed Data				
		Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	
Imbalance Dataset		KNN	0.94	0.94	0.94	0.94
		RF	0.94	0.94	0.94	0.94
		XGB	0.85	0.86	0.85	0.86
Statistic	SS	KNN	0.98	0.98	0.97	0.97
		RF	0.94	0.93	0.93	0.93
		XGB	0.86	0.86	0.86	0.86
Over Sampling	ROS	KNN	0.94	0.93	0.94	0.93
		RF	0.94	0.93	0.93	0.93
		XGB	0.86	0.86	0.86	0.86
	SMOTE	KNN	0.95	0.95	0.95	0.95
		RF	0.95	0.95	0.95	0.95
		XGB	0.86	0.87	0.86	0.86
	ADASYN	KNN	0.93	0.93	0.93	0.93
		RF	0.93	0.93	0.93	0.93
		XGB	0.80	0.80	0.80	0.80
Under Sampling	RUS	KNN	0.94	0.94	0.94	0.94
		RF	0.94	0.94	0.94	0.94
		XGB	0.88	0.88	0.88	0.87
	NMS	KNN	0.89	0.89	0.89	0.89
		RF	0.89	0.89	0.89	0.89
		XGB	0.81	0.81	0.81	0.81
	NCR	KNN	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>
		RF	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>
		XGB	<b>0.88</b>	<b>0.89</b>	<b>0.88</b>	<b>0.88</b>
Mix	ST	KNN	0.96	0.96	0.96	0.96
		RF	0.96	0.96	0.96	0.96
		XGB	0.87	0.88	0.87	0.87

According to Table 9, the most successful sampling method for the crime type target area was NCR. It has also been observed that it is compatible with all classification algorithms. The ST

sampling method, which is a combination of over and under sampling, has also been found to be the second most successful

sampling method after NCR. At the same time, the success rate was increased by 4% with these sampling methods.

Table 10. The Result of Target Security

Target: Security		Pre-Processed Data				
		Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	
Imbalance Dataset		KNN	0.90	0.90	0.90	0.90
		RF	0.89	0.89	0.89	0.89
		XGB	0.74	0.74	0.74	0.69
Statistic	SS	KNN	0.90	0.90	0.90	0.90
		RF	0.89	0.89	0.89	0.89
		XGB	0.74	0.74	0.74	0.69
Over Sampling	ROS	KNN	0.94	0.94	0.94	0.94
		RF	0.94	0.93	0.93	0.93
		XGB	0.75	0.76	0.75	0.69
	SMOTE	KNN	0.94	0.94	0.94	0.94
		RF	0.93	0.93	0.93	0.93
		XGB	0.69	0.70	0.69	0.69
	ADASYN	KNN	0.91	0.91	0.91	0.91
		RF	0.90	0.90	0.90	0.90
		XGB	0.62	0.62	0.62	0.61
Under Sampling	RUS	KNN	0.90	0.89	0.90	0.89
		RF	0.89	0.88	0.89	0.88
		<b>XGB</b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	<b>0.80</b>	<b>0.74</b>
	NMS	KNN	0.89	0.89	0.89	0.89
		RF	0.88	0.88	0.88	0.88
		XGB	0.78	0.78	0.78	0.78
	NCR	KNN	0.96	0.96	0.96	0.96
		<b>RF</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>
		XGB	0.76	0.77	0.76	0.70
Mix	ST	<b>KNN</b>	<b>0.98</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>
		<b>RF</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>
		XGB	0.69	0.70	0.69	0.69

According to Table 10, in general, it was seen that the most successful sampling method for the security target area was ST.

However, it has been determined that the RUS sampling method and the XGB algorithm perform better than the ST sampling

method together with the XGB algorithm. Sampling methods increased the success rate the most with the field of Security by 8% compared to the imbalanced data.

Increasing the success rate with the sampling method is more difficult as all classes are equal and there is no tendency to predict any class better. However, we were able to increase the success rate with sampling methods when our goal was to have two classes, three classes or four classes. We also found that the success rate of balance dataset increases more than imbalance dataset when the number of classes is large.

In addition to this, studies were carried out on eight sampling methods. In the next step, a more detailed study can be done by expanding the scope of the study by adding all sampling methods, few classification algorithms and a few more validation methods.

## References

- Hibberts, M., Burke Johnson, R., & Hudson, K. (2012). Common survey sampling techniques. In *Handbook of survey methodology for the social sciences* (pp. 53-74). Springer, New York, NY.
- Zhihao, P., Fenglong, Y., & Xucheng, L. (2019, April). Comparison of the different sampling techniques for imbalanced classification problems in machine learning. In 2019 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) (pp. 431-434). IEEE.
- Batista, G. E., Prati, R. C., & Monard, M. C. (2004). A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 6(1), 20-29.
- Sathyadevan, S., Devan, M. S., & Gangadharan, S. S. (2014, August). Crime analysis and prediction using data mining. In 2014 First international conference on networks & soft computing (ICNSC2014) (pp. 406-412). IEEE.
- Junsomboon, N., & Phienthrakul, T. (2017, February). Combining over-sampling and under-sampling techniques for imbalance dataset. In *Proceedings of the 9th International Conference on Machine Learning and Computing* (pp. 243-247).
- Prabakaran, S., & Mitra, S. (2018, April). Survey of analysis of crime detection techniques using data mining and machine learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1000, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Xie, C., Du, R., Ho, J. W., Pang, H. H., Chiu, K. W., Lee, E. Y., & Vardhanabhuti, V. (2020). Effect of machine learning re-sampling techniques for imbalanced datasets in 18F-FDG PET-based radiomics model on prognostication performance in cohorts of head and neck cancer patients. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 47(12), 2826-2835.
- Etikan, I., & Bala, K. (2017). Sampling and sampling methods. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 5(6), 00149.
- Albahli, S., Alsaqabi, A., Aldhubayi, F., Rauf, H. T., Arif, M., & Mohammed, M. A. (2021). Predicting the type of crime: Intelligence gathering and crime analysis. *Computers, Materials & Continua*, 66(3), 2317-2341.
- Kurin, S., Steinshamn, S. I., & Saelens, M. (2017). " A comparison of classification models for imbalanced datasets. Meng, X. (2013, May). Scalable simple random sampling and stratified sampling. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 531-539). PMLR.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research*, 16, 321-357.
- Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., & Chawla, N. V. (2018). SMOTE for learning from imbalanced data: progress and challenges, marking the 15-year anniversary. *Journal of artificial intelligence research*, 61, 863-905.
- Mani, I., & Zhang, I. (2003, August). kNN approach to unbalanced data distributions: a case study involving information extraction. In *Proceedings of workshop on learning from imbalanced datasets* (Vol. 126, pp. 1-7). ICML.
- DURAHİM, A. O. (2016). Comparison of sampling techniques for imbalanced learning. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 2(2), 181-191.
- Pandey, A., & Jain, A. (2017). Comparative analysis of KNN algorithm using various normalization techniques. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 9(11), 36.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 785-794).
- Zeng, G. (2020). On the confusion matrix in credit scoring and its analytical properties. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 49(9), 2080-2093.
- Dalianis, H. (2018). Evaluation metrics and evaluation. In *Clinical text mining* (pp. 45-53). Springer, Cham.
- Laurikkala, J. (2001, July). Improving identification of difficult small classes by balancing class distribution. In *Conference on artificial intelligence in medicine in Europe* (pp. 63-66). Springer, Berlin, Heidelberg.
- He, H., Bai, Y., Garcia, E. A., & Li, S. (2008, June). ADASYN: Adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning. In 2008 IEEE international joint conference on neural networks (IEEE world congress on computational intelligence) (pp. 1322-1328). IEEE.
- Tomek, I. (1976). Two modifications of CNN. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 6, 769-772.
- Batista, G. E., Bazzan, A. L., & Monard, M. C. (2003, December). Balancing Training Data for Automated Annotation of Keywords: a Case Study. In *WOB* (pp. 10-18).
- Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 2(1-3), 37-52.
- Wu, W., Mallet, Y., Walczak, B., Penninckx, W., Massart, D. L., Heuerding, S., & Erni, F. (1996). Comparison of regularized discriminant analysis linear discriminant analysis and quadratic discriminant analysis applied to NIR data. *Analytica Chimica Acta*, 329(3), 257-265.



# Demirçelik Sektöründeki İşletmelerin İnovasyon Düzeyleri ve Modern Yönetim Tekniklerini Kullanımları Üzerine Bir Araştırma, Hatay İli Örneği

Remziye Alkan<sup>1</sup>, Emine Vasfiye Korkmaz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ekonomi ve Finans Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3924-9025), remziyealkan11@gmail.com

<sup>2\*</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Ekonomi Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7202-6849), emine.korkmaz@iste.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Mayıs 2021 ve Kabul Tarihi 10 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.938694)

**ATIF/REFERENCE:** Alkan, R. & Korkmaz, E. V. (2022). Demirçelik Sektöründeki İşletmelerin İnovasyon ve Modern Yönetim Teknikleri Kullanımları Üzerine Bir Araştırma: Hatay İli Örneği . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 311-320.

## Öz

Dünyada yaşanan gelişmeler, küresel rekabet ortamı, teknolojideki ilerlemeler, özellikle müşteri isteklerindeki değişimler, yenilik kavramının önemini daha da arttırmıştır. İşletmelerin değişime ve yeniliklere açık olmaları, örgütlerinde modern ve yenilikçi yönetim yaklaşımlarından yararlanmaları hem değişen müşteri talepleri doğrultusunda piyasa fırsatlarından yararlanmalarını hem de başarılı bir yönetim anlayışı ile piyasa şartlarına ayak uydurmalarını sağlar. Demir çelik sektörü Türkiye için ihracat açısından büyük öneme sahip bir sektördür. Sektördeki ihracat rakamları ülke ekonomisi açısından önemlidir. Bu nedenle küresel rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için yenilikçi yönetim tekniklerini işletmelerinde kullanmaları sektörde profesyonel olmaları açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma demir çelik sektörü açısından işlem hacminin büyük olan Hatay ilinin İskenderun, Payas ve Dörtöyl ilçeleri kapsamında ele alınmıştır. Araştırmanın amacı demir çelik sektöründeki işletmelerin inovasyon düzeylerini incelemektir. Araştırmada veri toplama yöntemi olarak anket kullanılmıştır. Araştırma sonucunda demir çelik sektöründeki işletmelerin inovasyon düzeyleri yüksek çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnovasyon, Modern Yönetim Teknikleri, Demir Çelik Sektörü

## A Research on Innovation Levels and Use of Modern Management Techniques in the Iron and Steel Sector: The Case of Hatay Province

### Abstract

The developments in the world, the global competitive environment, the advances in technology, especially the changes in customer demands have increased the importance of the concept of innovation. Businesses being open to change and innovations, benefiting from modern and innovative management approaches in their organizations, enable them to benefit from market opportunities in line with changing customer demands and to adapt to market conditions with a successful management approach. The iron and steel industry is of great importance for Turkey in terms of exports. The export figures in the sector are important for the country's economy. For this reason, it is important for them to be professional in the sector to use innovative management techniques in their businesses in order to survive in a global competitive environment. This study was covered within the scope of İskenderun, Payas and Dörtöyl districts of Hatay province, which have a large transaction volume in terms of iron and steel sector. The aim of the research is to examine the innovation level of enterprises in the iron and steel sector. Survey was used as data collection method in the research. As a result of the research, the level of innovation of enterprises in the iron and steel sector was high.

**Keywords:** Innovation, Modern Management Techniques, Demircelik Sector

\* Sorumlu Yazar: emine.korkmaz@iste.edu.tr

## 1. Giriş

Değişen dünya, küresel rekabet ortamı, teknolojik ilerlemeler, özellikle müşteri isteklerindeki sürekli değişim, yenilik kavramının önemini daha da arttırmıştır. İşletmelerin, müşterilerinin istek ve ihtiyaçları doğrultusunda yenilikçi ürün tasarımları yapabilmeleri, rekabet ortamında hayatta kalabilmeleri açısından zorunlu hale gelmiştir. Yeni ürünleri veya yeniden tasarlanarak yenileştirilmiş mevcut ürünleri etkin hale getirmek için sürdürülen tüm modern yönetim faaliyetlerini kapsayan yenilikçilik, girişimciler açısından her geçen gün vazgeçilmez bir konu haline gelmiştir. Yenilikçi işletmeler sayesinde, hem ekonomik büyüme hem de ülkelerin refah düzeyleri olumlu etkilenmektedir (Ersoy ve Şengül, 2008, s:59).

Yenilikçi yaklaşım, makro anlamda ekonominin büyüme hızını, mikro anlamdaysa işletmelerin pazar paylarını ve dolayısıyla kârlılıklarını etkileyen önemli bir güçtür. Küresel rekabet ortamında işletmeler için yenilikçilik olmazsa olmaz bir unsur haline gelmiştir (Korkmaz, Ermez ve Yücedağ, 2009, s:84).

Günümüzde işletmelerin rekabet şartlarında sağlam adımlarla ilerleyebilmeleri sadece mal ve hizmet üretimiyle değil, bunun yanında piyasada sürekli var olabilmelerini sağlayacak gerekli yenilikçi ortamın kurumda sağlanması ile mümkün olacaktır. Mal ve hizmetlerden piyasa şartlarına, iş süreçlerinden yönetim anlayışına kadar bir kurumun modern yönetim tekniklerine yönelerek yeniliklere entegre olması o kuruma piyasa avantajları getirmesinin yanında belirli bir süre sonra maliyet gibi görünen yenilik yatırımlarının düşmesine ve işletmeye kâr sağlayacak durumlara dönüşmesine neden olacaktır.

İşletmeler yeni teknolojilere, yeni iş süreçlerine, donanımlara, bilgisayar alt yapı yazılımlara yönelidikçe işler daha etkin, daha hızlı ve daha başarılı gerçekleşecektir. İşletmelerin değişime ve yeniliklere açık olmaları ve bunu çalışanlarına ve iş süreçlerine yansıtılabilmeleri, her geçen gün yenilenen ve değişen küresel rekabet ortamında önemli bir güç haline gelmiştir.

Demir çelik sektörü de Türkiye ekonomisine katkı sağlayan en önemli ve en büyük sektörlerden biridir. Sektörün üretim ve ihracat rakamları ve yarattığı istihdam olanakları nedeniyle ekonomiye katkısı önemli derecede büyüktür. Demir çelik sektörü üretim, satış pazarlama faaliyetleri açısından hem ulusal hem de uluslararası pazarlarda önemli bir potansiyele sahiptir. Sanayi sektöründe büyük bir paya sahip olan demir çelik sektörü, teknolojiye, bilgiye, yeniliğe açık ve kendini sürekli geliştiren bir sektördür. Teknoloji üssü fabrikalar, bilgisayar tabanlı iş süreçleri, sürekli geliştirilen AR-GE faaliyetleri sektörün olmazsa olmazlarıdır.

Bu çalışma ile Hatay'ın Türkiye'de ihracat açısından kayda değer rakamlara sahip en önemli sektörlerinden biri olan demir çelik sektöründeki işletmelerin modern yönetim tekniklerine bakış açıları ve yenilikçilik düzeylerinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Çalışma, Hatay'ın demir çelik sektörü açısından en önemli bölgeleri olan İskenderun, Dörtöyl ve Payas ilçeleri örneğinde gerçekleştirilmiştir. İskenderun Türkiye'nin en büyük demir çelik işletmelerinden biri olan İSDEMİR'e yıllardır ev sahipliği yapmaktadır ve bölge ekonomisi sektördeki üretim, satış pazarlama, istihdam

faaliyetleri açısından sektörün olanaklarından fazlasıyla istifade etmektedir.

İskenderun, özellikle kara yolları, tren yolları ve deniz yol bağlantıları ile Avrupa'dan Orta doğuya birçok ülkeye, birçok kategoride ürünün transferinin mümkün olduğu stratejik bir konumda yer almaktadır. Akdeniz bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Doğu Anadolu bölgesindeki birçok işletme bu lojistik imkânlarından yararlanmaktadır. Bölge stratejik konumu ve demir çelik sektörüne yönelik işletme sayılarının diğer bölgelere göre daha fazla olması açısından, sektörü temsil edebilecek özellikte olduğu düşünülmektedir. Çalışma ile demir çelik sektöründeki işletmelerin, modern yönetim tekniklerini kullanım düzeyleri ve ürün, süreç, organizasyonel yapı ve pazar boyutlarında inovasyon düzeyleri ele alınacaktır.

### 1.1. Modern Yönetim Teknikleri ve Yenilik Yönetimi

İşletmelerin rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri; yenilikçi mal ve hizmet sunumunu arttıracak bir kurum olmaları ve piyasaya ve müşterilerine yeni değerler yaratabilmeleriyle mümkündür. Bunu gerçekleştirmenin en önemli yollarından biriyse hedefleri yenilik anlayışıyla belirlemek ve kurumda yenilikçi stratejileri teşvik edecek modern yönetim tekniklerinin işletmelerde kullanımını teşvik etmektir. Birçok araştırma göstermektedir ki; değişen iç ve dış çevre şartları ve bu şartların getirdiği tehdit ve fırsatları erken görebilen ve bunlara yönelik stratejik ve yenilikçi kararlar alabilen işletmeler kriz süreçlerini daha az hasarla atlatabilmektedirler.

İşletmeler oldukça dinamik bir çevrede iş yaptıkları için, çevrelerinde yaşanan gelişmelere ayak uydurmak, pazara sundukları mal ve hizmetlerde devamlı değişiklikler yapmak ve mevcut mal ve hizmetlerine yenilikler eklemek zorundadırlar. Bu duruma ayak uyduramazlarsa rakiplerinin yenilikçi mal ve hizmetleri veya iş yapış şekilleri karşısında demode kalarak, yok olmayla karşı karşıya kalabileceklerdir (Taslak & Kara, 2009: 209). Günümüz küresel dünyada işletmelerinin yeniliklere ve gelişime hızlı bir şekilde adapte olan, yaratıcılığı destekleyen, esnek yapıya sahip bir öğrenen örgüt olması beklenir.(Efil, 2013: 425). Yöneticilerin, örgüt üyelerinin yaratıcı ve yenilikçi kabiliyetlerini rahatlıkla ortaya çıkarabilecekleri bir yönetim anlayışına sahip olma ve bu yenilikçi ve yaratıcı yaklaşımları teşvik etme konusunda istekli olmaları önemlidir (Şimşek, Çelik & Akgemci, 2015: 302). Hiçyılmaz & Şahin (2020: 244) işletmelerde gerçekleşecek yenilik tiplerini ve bunlara ilişkin örnekleri aşağıdaki Tablo 1'deki gibi ifade etmiştir;

Tablo 1: Yenilik Tipleri

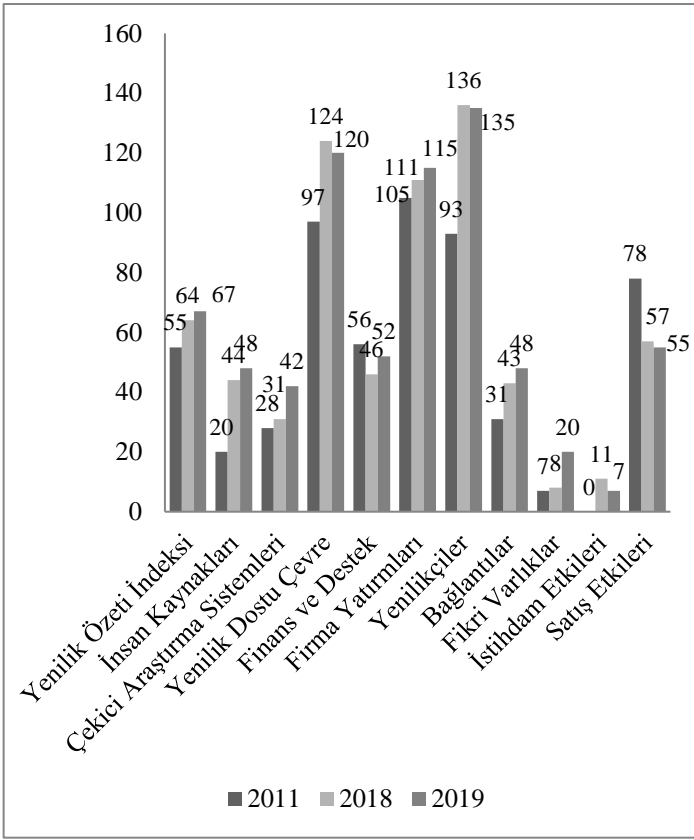
Yenilik Tipleri	Örnekler
Ürün Yeniliği	Yeni ürün veya mevcut mal ve hizmetlerin yenilenmesi
Süreç Yeniliği	İş süreçlerinde yenilikler
Örgütsel Yeniliği	Kurum içerisinde yeni bir birim veya iletişim ağı kurmak
Yönetim Yeniliği	Toplam Kalite Yönetimi bilinci ile iş süreçlerinin yeniden tasarlanması
Üretim Yeniliği	Kalite Çemberleri, yeni makine, teçhizat, donanım yazılım ve iş süreçleri

Ticari/Pazarlama Yeniliği	Yenilikçi finans planlamaları ve pazarlama stratejileri
Hizmet Yeniliği	Bilişim alt yapıli hizmet sunumları

Kaynak: Hiçyılmaz & Şahin (2020: 244)

European Innovation Scoreboard Raporu'na göre, Türkiye'nin yenilik alanında 2011, 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleştirdiği ortalama performanslar Şekil 1.'de gösterilmiştir. Yenilik konusunda Türkiye'de firma yatırımları ve yenilikçiler göstergelerindeki artış umut vericiyken, en düşük gösterge puanlarının istihdama etki başlığı ve tasarım, marka ve uluslararası bilimsel yayınların yer aldığı fikri varlıklar üzerine olduğu dikkat çekmektedir.

Şekil 1. 2011-2018-2019 Yılı European Innovation Scoreboard Raporu



İnovasyon konusunun öneminin anlaşılmasıyla günümüzde girişimciler, AR-GE yatırımlarını her geçen gün yük getiren bir maliyetten çok işletmenin kârlılığı ve sürdürülebilirliği açısından olmazsa olmaz yatırımlar olarak görmektedirler. SWOT analizi, dış kaynak kullanımı, küçülme, Toplam Kalite Yönetimi, Kıyaslama, Stratejik işbirlikleri gibi modern yönetim araçları işletmelerin yoğun rekabet ortamında varlığını sürdürebilmesi açısından, inovasyon sürecini destekleyen önemli araçlardır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Amacı Önemi ve Kapsamı

Bu çalışma, günümüz küresel rekabet şartlarında işletmelerin modern yönetim tekniklerini kullanma düzeyleri ve inovasyon yani yenilik düzeylerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Yenilik bir mal ve hizmette gerçekleştirilebileceği

gibi işletmelerin iş yapış süreçleri, pazarlama ve satış faaliyetleri ve yönetim anlayışlarında da meydana gelebilir.

Demir çelik sektörü Türkiye'de ihracat rakamları açısından önemli potansiyele sahip bir sektördür. Hatay ili de sahip olduğu kara, deniz ve tren yolu lojistik imkânı ile bu sektöre ev sahipliği yapan önemli şehirlerdendir. Bu sektördeki işletmelerin ekonomiye ve istihdama katkısı düşünüldüğünde başarılı bir yönetim anlayışını destekleyen modern yönetim araçlarından yararlanma durumları ve inovasyon düzeyleri araştırılması gereken önemli bir konudur. Bu çalışma Hatay'ın İskenderun, Dört Yol ve Payas ilçelerinde faaliyet gösteren demir çelik işletmeleri kapsamında ele alınmıştır.

### 2.2. Araştırmanın Örnekleme ve Sınırlılığı

Araştırma demir çelik işletmeleri örnekleminde ele alınacaktır. Çalışma özellikle pandemi sınırlılığı nedeniyle Hatay ilinin İskenderun, Dört Yol ve Payas ilçelerinde faaliyette bulunan demir çelik işletmeleri kapsamında hazırlanmıştır. Bu ilçelerde faaliyet gösteren küçük, orta ve büyük ölçekli demir çelik işletmelerinin Türkiye'deki demir çelik sektörünü temsil etme açısından yeterli olabileceği düşünülmüş anketler bu bölgedeki işletmelere uygulanmıştır. Pandemi nedeniyle 24 işletmeye ulaşılmıştır.

### 2.3. Araştırmanın Veri Toplam Yöntemi

Araştırmada veri toplama yöntemi olarak anket yönteminden faydalanılmıştır. Araştırmaya ilişkin anket üç bölümden oluşmaktadır. Anketin ilk bölümünde işletmelerin demografik bilgilerine ilişkin soruların yer aldığı demografik sorular yer almaktadır. Anketin ikinci bölümü; işletmelerin inovasyon düzeylerini ortaya koymak üzere Konyalılar (2020)'nin çalışmasından alınan ve süreç, ürün, organizasyonel ve pazar inovasyonu olmak üzere dört boyuttan oluşan İnovasyon ölçeğinden oluşmaktadır. İnovasyon ölçeğindeki ifadeler; "1=Kesinlikle Katılmıyorum" ve "5=Kesinlikle Katılıyorum" şeklinde, beşli likert ölçeği ile ölçeklendirilmiştir. Son olarak üçüncü bölümde işletmelerin modern yönetim tekniklerini kullanım durumlarını ortaya koymak üzere Demir (2014) yüksek lisans tezinde kullanılan anketten faydalanılmıştır. Araştırmaya ilişkin anketin uygulanmasına; İskenderun Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunca, 30/04/2021 tarih ve 12513 sayılı yazı ile onay verilmiştir.

### 2.4. Araştırmanın Hipotezleri

Araştırmanın uygulama aşamasında ele alınan değişkenler "demografik değişkenler" ve "İnovasyon düzeyi" değişkenleridir. Bu değişkenlere dair üç farklı hipotez aşağıdaki gibidir;

H1: Demir çelik işletmelerinin yenilikçi düzeyleri işletmenin yaşına göre farklılaşmaktadır.

H2: Demir çelik işletmelerinin yenilikçi düzeyleri işletmenin çalışan sayısına göre farklılaşmaktadır.

H3: Demir çelik işletmelerinin yenilikçi düzeyleri fuar katılımlarına göre farklılaşmaktadır.



### 3. Araştırmanın Bulguları

#### 3.1. Demografik Bilgilere İlişkin Bulgular

Tablo 2’de katılımcıların vermiş oldukları cevaplar doğrultusunda, demografik bilgileri yer almaktadır. En yüksek

miktardaki bulguların dağılımına bakıldığında; katılımcıların en çok 30-40 yaş aralığında olduğu, ankete katılan işletmelerin en fazla 15-20 yaşındaki işletmeler olduğu, bu işletmelerin faaliyet alanlarının en fazla üretim-ihracat-ithalat yapan işletmelerden oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 2.** İşletmeye İlişkin Demografik Bulgular

		Frekans	Oran(%)
Katılımcıların Yaşı	30 yaşından küçük	7	29,2
	30-40 yaş arası	10	41,7
	41-50 yaş arası	4	16,7
	51-60 yaş arası	2	8,3
	60 yaşından büyük	1	4,1
İşletmeniz Kaç Yıldır Faaliyet Gösteriyor?	5-10 yıl	6	25
	10-15 yıl	3	12,5
	15-20 yıl	8	33,3
	20 yıldan fazla	7	29,2
İşletmedeki Çalışanların Sayısı	0-10 kişi	1	4,2
	10-50 kişi	3	12,5
	50-100 kişi	7	29,2
	100-250 kişi	3	12,5
	250 den fazla çalışan	10	41,6
Faaliyet Alanınız Nedir?	Üretim	3	12,5
	İhracat	3	12,5
	İthalat	2	8,3
	Fason	2	8,3
	Satış Pazarlama	2	8,3
	Üretim-İhracat	2	8,3
	Üretim-İhracat-ithalat	5	20,8
	Üretim-İhracat-ithalat-Satış Pazarlama	2	8,3
	Üretim-İhracat-ithalat-Satış Pazarlama-Fason	2	8,3
	İhracat-ithalat-Satış Pazarlama	1	4,2
	Üretim-İhracat-Satış Pazarlama	1	4,2
	Üretim - Satış Pazarlama	1	4,2

Tablo 3’de rakiplere ilişkin dağılıma baktığımızda, ankete katılan işletmelerin %45,8’inin (%33,3+%8,3+%4,2) ulusal piyasadaki rakipleriyle aynı sektörde yer aldığı, %50’sinin

uluslararası rakiplerle aynı sektörde faaliyette bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 3.** Rakiplere İlişkin Demografik Bulgular

		Frekans	Oran(%)
Rakipleriniz Kimlerdir?	Küçük yerel rakipler	2	8,3
	Ulusal Rakipler	8	33,3
	Uluslararası Rakipler	5	20,8
	Rakibimiz Yok	1	4,2
	Ulusal-Uluslararası Rakipler	7	29,2
	Küçük yerel rakipler-Ulusal Rakipler	1	4,2

Tablo 4’de katılımcıların anketlere verdiği cevaplara göre %958’nin işletmesine ait bir web sayfası, %83,3’ünün e-ticaret

sitesi vardır, %91,7’si alanıyla ilgili fuarları takip ettiğini ifade etmiştir.

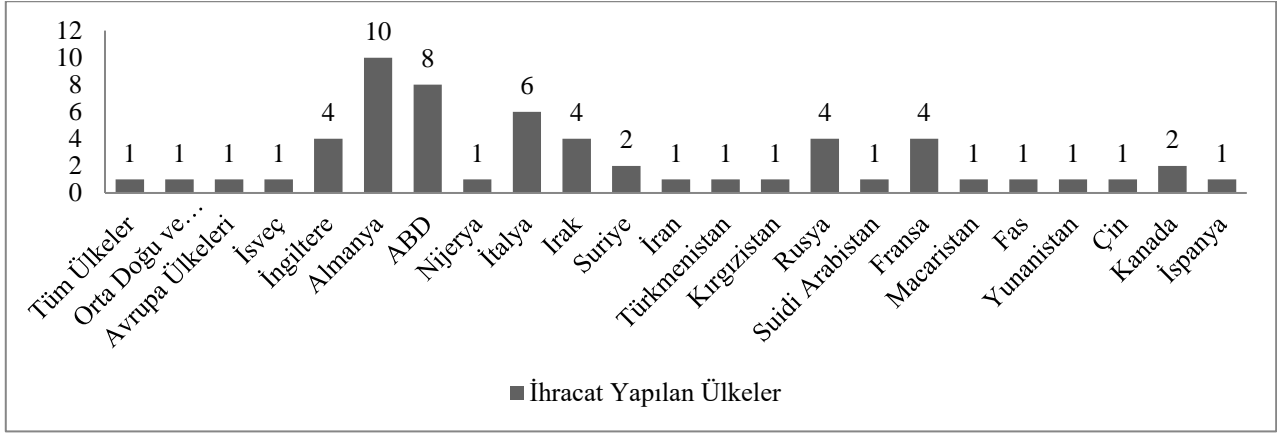
**Tablo 4.** Web Sayfası, E-Ticaret ve Fuar Katılımına İlişkin Demografik Bulgular

		Frekans	Oran(%)
İşletmenize ait bir web sayfanız var mı?	Evet	23	95,8
	Hayır	1	4,2
İşletmenize ait bir E-Ticaret siteniz var mı?		20	83,3
		4	16,7
İşletmeniz Alanınızla İlgili Fuarlara Katılır mı?	Evet	22	91,7
	Hayır	2	8,3

Şekil 2’de Demir çelik işletmelerinin ihracat yaptığı ülkeler

ilişkin cevaplar yer almaktadır. En fazla ihracat yapılan ülke Almanya (n=10) olarak görülmektedir.

Şekil 2. Demir Çelik İşletmelerinin İhracat Yaptığı Ülkelere İlişkin Bulgular



### 3.2. İnovasyon Ölçeğinin Normallik Dağılımı ve Güvenilirlik Sonuçları

Tablo 5’de inovasyon değişkeninin çarpıklık ve basıklık değerlerinin durumu araştırılmıştır. Normallik değerlerinin -1 ile

+1 arasında dağılmadığı için normal dağılım göstermediği kabul edilmiştir ve verilerin analizlerinde non parametrik testlerden yararlanılmıştır.

Tablo 5. Normallik Değerleri

Değişkenler	N	Min.	Max.	Mean	Std Sapma	Skewness (Çarpıklık)	Kurtosis (Basıklık)
İnovasyon Düzeyi	24	2	5	3	,767	-1,094	1,419

İnovasyon değişkeninin güvenilirlik analizi için Cronbach Alpha değerine bakıldığında; ölçekteki 21 ifadenin % 95,8 oranda yüksek derecede güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### 3.3. Demir Çelik Sektöründeki İşletmelerin İnovasyon Düzeyleri ve Modern Yönetim Kullanım Durumlarına İlişkin Bulgular

Bu bölümde demir çelik işletmelerinin, süreç, ürün, organizasyonel ve pazarlama faaliyetleri kapsamında inovasyon düzeyleri ayrı ayrı ele alınacaktır.

#### 3.3.1. İnovasyon Düzeylerine İlişkin Bulgular

Demir çelik sektöründeki işletmelerinin inovasyon düzeyleri, süreç, ürün, organizasyonel ve pazar inovasyonu boyutlarındaki ifadelerine verdikleri cevaplar doğrultusunda ele alınmıştır. İşletmelerin iş süreçlerindeki inovasyona ilişkin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın “İşletmemizde her ürün için hammaddeden, ürünün teslimine kadar olan zamanı kayıt altında tutarız.” ifadesi 4,54 ile en yüksek ortalamaya sahiptir. Bu ifadeyi “İşletmemizde kullanılan bilgisayar destekli yazılımlar sayesinde üretimi daha kısa sürede tamamlayabiliyoruz.” ifadesi takip etmektedir.

Tablo 6. Süreçlere İlişkin İnovasyon

SÜREÇ İNOVASYONU	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
İşletmemiz son 3 yıl içerisinde birçok yeni yönetim sistemi geliştirmiştir	2	5	3,92	1,139
İşletmemizde her ürün için hammaddeden, ürünün teslimine kadar olan zamanı kayıt altında tutarız.	2	5	4,54	,779
İşletmemizde daha önceki yıllara göre üretim yöntemlerinde değişiklikler var.	2	5	3,54	1,062
İşletme faaliyetleriyle ilgili bir sorunu geleneksel yollarla çözemediğimizde yeni metotlar buluruz.	2	5	4,13	,741
İşletmemizde kullanılan bilgisayar destekli yazılımlar sayesinde üretimi daha kısa sürede tamamlayabiliyoruz.	2	5	4,37	,875
İşletmemizde üretilmekte olan ürünler için teknolojik açıdan yüksek sayılabilecek araç ve gereçler kullanılıyor.	2	5	4,21	,932
Son 3 yıl içerisinde, iş süreçlerimizde (işlerin yapılış şeklinde) patentli teknolojiler ürettik.	1	5	3,83	1,167

Tablo 7’de demir çelik sektöründeki işletmelerin ürünlere ilişkin inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın 3,96 ile “Yeni ürün ve hizmetlerimiz

müşteriler tarafından çok yenilikçi bulunur.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 7. Ürün İnovasyonu**

ÜRÜN İNOVASYONU	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
Ürünümüzü daha önce hammadde olarak farklı bir malzemeden ürettiğimiz ürünlerden en az bir tanesini pazara ilk biz sunduk.	1	5	3,04	1,301
İşletmemiz bünyesinde icat edilip üretilen en az bir ürünümüz vardır.	1	5	3,50	1,103
İşletmemizde üretilen ürünün farklı amaçlarla da kullanılan yeni bir modelini geliştirdik.	1	5	3,67	1,049
Ürettiğimiz ürünlerden en az bir tanesinin patenti işletmemize aittir.	1	5	3,75	1,152
Sektörde daha önceden var olan bir ürünü geliştirip yeni bir ürün olarak pazara sunuyoruz.	1	5	3,83	1,167
Yeni ürün ve hizmetlerimiz müşteriler tarafından çok yenilikçi bulunur.	1	5	3,96	,999

Tablo 8’de demir çelik sektöründeki işletmelerin organizasyonel inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın 4,54 ile “İşletmemizde

ISO 9001 gibi kalite yönetim sistemleri uygulanmaktadır.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 8. Operasyonel İnovasyonu**

ORGANİZASYONEL İNOVASYON	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
İşletmemizde daha önce kullanılmamış olan dış kaynaklardan yararlanma (tedarik, ise alım, teknolojik destek, danışmanlık vb.) son zamanlarda kullanılmaktadır.	2	5	4,08	,929
Yeni ürün ve hizmetlerimiz, müşterilerimize yeni kullanım alanları getirdi.	2	5	4,04	,908
İşletmemizin web sitesi üzerinden ürünün özelliklerini, kullandığı alanları, fiyatını vb. görmek mümkündür.	1	5	3,67	1,308
İşletmemizde ISO 9001 gibi kalite yönetim sistemleri uygulanmaktadır.	3	5	4,54	,721

Tablo 9’da demir çelik sektöründeki işletmelerin pazara ilişkin inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın 3,96 ile “İşletmemizde ürünlerin

tanıtımına ilişkin yeni yöntemler kullanılmaktadır.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 9. Pazar İnovasyonu**

PAZAR İNOVASYONU	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
İşletmemizde satışları arttırmak amacıyla ürünün ambalajında, tasarımında veya fiyatında değişiklikler olmaktadır.	2	5	3,50	1,022
İşletmemizde ürünlerin tanıtımına ilişkin yeni yöntemler kullanılmaktadır.	1	5	3,96	,806
İşletmemizde daha önce kullanılan pazarlama yöntemi şimdikiinden farklıydı.	1	5	3,92	,929

### 3.3.2. Modern Yönetim Tekniklerini Kullanım Düzelerine İlişkin Bulgular

Tablo 10’da işletmelerin Modern yönetim araçlarını kullanım durumlarına ilişkin bulgular yer almaktadır. Demir

çelik sektöründeki işletmelerin en çok kriz yönetimi (4,70) anlayışını ardından personel güçlendirme (4,61), insan kaynakları yönetimi (4,57) ve kurumsal yönetişim (4,52) stratejilerine ilişkin süreçleri önemsedikleri görülmektedir.

**Tablo 10. Demir çelik İşletmelerinin Modern Yönetim Araçlarına İlişkin Tercihleri**

	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
Öğrenen Organizasyon	2	5	4,26	,810
Bilgi Yönetimi	3	5	4,46	,588
Temel-Öz-Yetenek	3	5	4,30	,635
Dış Kaynak Kullanımı	3	5	4,13	,694
Kıyaslama	3	5	4,00	,756

Personel Güçlendirme	3	5	4,61	,583
Toplam Kalite Yönetimi	3	5	4,46	,658
Değişim Yönetimi	3	5	4,25	,847
Vizyon Yönetimi	2	5	4,36	,848
Hayal Mühendisliği	2	5	3,95	,999
Değer Mühendisliği	3	5	4,35	,714
Kriz Yönetimi	2	5	4,70	,703
Yalın Yönetim	2	5	4,00	1,000
Örgütsel Küçülme	1	5	3,00	1,140
İnsan Kaynakları Yönetimi	4	5	4,57	,507
Kurumsal Yönetişim	3	5	4,52	,593
Kurumsallaşma	3	5	4,43	,662
Toplam Katılım Yönetimi	1	5	4,17	,984
Stratejik Yönetim	1	5	4,30	,926
Kurumsal Verimlilik Ve Başarı Karnesi	2	5	4,43	,746
Kurumsal Kaynak Planlaması	3	5	4,45	,671
Müşteri İlişkileri Yönetimi	2	5	4,48	,790
Stratejik İşbirlikleri	2	5	4,48	,730
Yeşil Yönetim	1	5	4,00	1,069

Tablo 11'de demir çelik işletmelerinin modern yönetim tekniklerini işletmelerde *uygulamama* nedenleri sorulmuştur. Bu doğrultuda işletmeler en çok nitelikli eleman sıkıntısı (3,56) ve

danışmanlık hizmetlerindeki yetersizlikler (3,50) nedenleri ile bazı modern yönetim tekniklerini kullanamadıklarını ifade etmişlerdir.

**Tablo 11.** Demir çelik İşletmelerinin Modern Yönetim Araçlarını Neden Kullanmadıklarına İlişkin Bulgular

	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
Uygulama işletme için gerekli görülmedi.	1	5	2,75	1,113
Uygulama için gerekli nitelikli eleman sıkıntısı var.	1	5	3,54	1,382
Uygulama için danışmanlık hizmetleri yetersiz.	1	5	3,50	1,351
Uygulama için gerekli altyapı yetersiz.	1	5	3,46	1,474
Uygulama maliyetleri çok yüksek olduğundan uygulanmadı.	1	5	2,96	1,083
Rakipler yapmadığı için gerek duyulmadı.	1	5	2,96	1,268
Uygulayıp başarısız olanlardan dolayı uygulamaya yanaşılmadı.	1	5	2,58	1,100
Yeni uygulamaların getireceği değişime hazır olunmadığı düşünüldü.	1	5	3,33	1,129

Tablo 12'de demir çelik işletmelerinin modern yönetim tekniklerini uygulamada *başarısızlık* yaşamalarının nedenlerine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Bu doğrultuda bazı modern yönetim tekniklerini uygulamada yaşadıkları başarısızların

nedeni en çok işletmelerin işlerin yürütülmesinde eski alışkanlıklardan vazgeçilememesi (3,52) ve hazırlanan programlarda sürekliliğinin sağlanamaması (3,43) gibi nedenlere bağlanmıştır.

**Tablo 12.** Demir Çelik İşletmelerinin Modern Yönetim Tekniklerini Uygulamadaki *Başarısızlık* Nedenlerine İlişkin Bulgular

	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
Uygulama heves olarak başladı maceradan öteye geçemedi.	1	5	2,65	1,112
İlgili Yönetim tekniği tam olarak anlaşılamadı.	1	5	2,96	1,268
Örgüt yapımızın uygulamaya uygun olmadığı ortaya çıktı.	1	5	2,91	1,164
Mevcut süreçler ilgili tekniğin gereklerine göre ayarlanamadı.	1	5	3,04	1,122
Uygulamanın maliyetleri tahminleri aştığından uygulamaya son verildi.	1	5	2,83	1,167
Çalışanlar ilgili yönetim tekniğini benimsemedi ve çalışanlardan beklenen destek sağlanamadı.	1	5	3,17	1,167
İşlerin yürütülmesinde eski alışkanlıklardan vazgeçilemedi.	1	5	3,52	1,442
Uygulama için yeterli çaba gösterilemedi.	1	5	3,38	1,345
Hazırlanan plan ve programların sürekliliği sağlanamadı.	1	5	3,43	1,273
Yeni uygulamaları destekleyen bir işletme kültürümüz yoktu.	1	5	2,92	1,176

Tablo 13’de demir çelik işletmelerinin uygulanan modern yönetim tekniklerinden ne gibi yarar elde ettiklerine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Bu doğrultuda en yüksek yararın “İş kazalarının azaldı” (4,38) ifadesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ardından “Etkin iletişim ve koordinasyon sağlandı”, “İşletmede

belirli standartlar sağlandı”, “Çalışan memnuniyeti ve motivasyonu arttı” ve “Belirsizlikler azaldı ve süreç akışı düzene girdi” ifadelerinin aynı ortalama değeri (4,29) ile yüksek fayda sağlayan ifadeler olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 13.** Demir Çelik İşletmelerinin Uygulanan Modern Yönetim Tekniklerinden Ne Gibi Yarar Elde Ettiklerine İlişkin Bulgular

	Min.	Max.	Ort.	Std. Hata
Şirket kültürümüz değişti ve gelişti.	2	5	3,71	,999
Üretim verimliliğimiz arttı.	3	5	4,17	,717
Üretim ve hizmet kalitemiz arttı.	2	5	4,00	,834
Kârlılığımız arttı.	2	5	3,71	,908
Maliyetlerimizde düşüş sağladı.	2	5	3,67	,917
Üretim hataları azaldı.	2	5	4,13	,741
İş kazaları azaldı.	2	5	4,38	,770
Yönetimin etkinliği arttı.	2	5	4,25	,794
Etkin iletişim ve koordinasyon sağlandı.	2	5	4,29	,751
İşletmede belirli standartlar sağlandı.	2	5	4,29	,806
İşletmemizin pazar payı arttı.	2	5	3,71	,999
İşletmemizin imajı iyileşti.	2	5	3,88	1,035
Satışlarımız ve ihracatımız arttı.	2	5	3,79	,977
Sürekli ve dengeli büyüme sağlandı.	2	5	3,75	,989
Yeni rekabet üstünlükleri sağlandı.	2	5	3,61	,839
Çalışan verimliliği arttı.	2	5	4,13	,797
Eğitim çalışmaları yaygınlaştı ve süreklilik kazandı.	2	5	4,21	,721
Çalışanların bilgi ve beceri düzeyleri arttı.	2	5	4,33	,761
Çalışan memnuniyeti ve motivasyonu arttı.	2	5	4,29	,751
Müşteri memnuniyeti arttı ve müşteri şikâyetleri azaldı.	2	5	4,04	,908
Müşteri ve tedarikçilerle ilişkiler belirli bir düzene girdi.	2	5	4,12	,850
Birçok konuda yol gösterici olup ufkumuzu açtı.	2	5	4,17	,963
Belirsizlikler azaldı ve süreç akışı düzene girdi.	2	5	4,29	,751

### 3.4. Farklılığa İlişkin Bulgular

Araştırmada demir çelik işletmelerinin inovasyon düzeylerinde, işletmelerin çalışan sayısına, yaşına ve fuarlara katılım durumlarına göre herhangi bir farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. İfadeler ilişkin cevapların ortalamaları normal dağılım göstermediği için, analizlerde non-parametrik testlerden Mann Whitney U ve Kruskal Wallis yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Tablo 14’de görüldüğü üzere ilk olarak demir çelik işletmelerindeki çalışan sayısına göre yani işletmelerin ölçeğine göre inovasyon düzeylerinde herhangi bir farklılığın olup olmadığına dair bilgilere ulaşmak için Mann Whitney U analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda hem inovasyon genel düzeyinde hem de süreç, ürün, organizasyonel ve pazar boyutlarında demir çelik işletmelerinin çalışan sayılarına göre herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır. Küçük, orta ve büyük ölçekli tüm demir çelik işletmelerin inovasyon düzeylerine ilişkin ifadelerinin ortalamaları yüksek bulunmuştur. H1 hipotezi reddedilmiştir.

**Tablo 14.** Çalışan Sayısına Göre Demir Çelik İşletmelerinin İnovasyon Düzeyleri Arasındaki Farklılık

	İNOVASYON GENEL ORT.	SÜREÇ İNOVASYONU	ÜRÜN İNOVASYONU	ORGANİZASYONEL İNOVASYON	PAZAR İNOVASYONU
Chi-Square	2,574	4,031	1,807	1,335	2,180
df	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,462	,258	,613	,721	,536

Tablo 15’de demir çelik işletmelerinin yaş durumuna göre inovasyon düzeylerinde herhangi bir farklılığın olup olmadığını görmek adına Mann Whitney U analizi sonuçları yer almaktadır. Yapılan analiz sonucunda hem inovasyon genel düzeyde hem de süreç, ürün, organizasyonel ve pazar boyutlarında demir çelik

işletmelerinin yaş durumlarına göre herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır. Sektörde yeni veya eski tüm işletmelerin inovasyon ifadelerine ilişkin ortalamaları yüksek bulunmuştur. H2 hipotezi reddedilmiştir.

**Tablo 15.** İşletmelerin Yaşına Göre İnovasyon Düzeyleri Arasındaki Farklılık Durumları

	İNOVASYON GENEL ORT.	SÜREÇ İNOVASYONU	ÜRÜN İNOVASYONU	ORGANİZASYONEL İNOVASYON	PAZAR İNOVASYONU
Chi-Square	2,574	4,031	1,807	1,335	2,180
df	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,462	,258	,613	,721	,536

Tablo 16’da demir çelik işletmelerinin alanlarında düzenlenen fuarlara katılım durumlarına göre inovasyon düzeylerinde herhangi bir farklılığın olup olmadığını görmek adına Mann Whitney U analizi sonuçları yer almaktadır. Yapılan analiz sonucunda hem İnovasyon genel düzeyde hem de süreç, ürün, organizasyonel ve pazar boyutlarında demir çelik

işletmelerinin fuar katılım durumlarına göre herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır. Sektörle ilgili fuarlara çoğu demir çelik işletmelerinin katıldığı ve tüm işletmelerin inovasyon ifadelerine ilişkin ortalamalarının yüksek olduğu bulunmuştur. H3 hipotezi reddedilmiştir.

**Tablo 16.** İşletmelerin Fuar Katılımlarına Göre İnovasyon Düzeyleri Arasındaki Farklılık Durumları

	İNOVASYON GENEL ORT.	SÜREÇ İNOVASYONU	ÜRÜN İNOVASYONU	ORGANİZASYONEL İNOVASYON	PAZAR İNOVASYONU
Mann-Whitney U	11,000	16,500	6,500	16,500	18,500
Wilcoxon W	14,000	19,500	9,500	19,500	21,500
Z	-1,151	-,577	-1,623	-,581	-,376
Asymp. Sig. (2-tailed)	,250	,564	,105	,561	,707
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,304 <sup>b</sup>	,587 <sup>b</sup>	,116 <sup>b</sup>	,587 <sup>b</sup>	,725 <sup>b</sup>

## 4. Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonuçlarına göre ankete katılan işletmelerin çoğunlukla 15-20 yaşındaki işletmeler olduğu, bu işletmelerin faaliyet alanlarının en çok üretim-ihracat-ithalat yapan işletmelerden oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca işletmelerin %45,8’inin (%33,3+%8,3+%4,2) ulusal piyasadaki rakipleriyle aynı sektörde yer aldığı, %50’sinin uluslararası rakiplerle aynı sektörde faaliyette bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Demir çelik işletmelerin %95,8’nin işletmesine ait bir web sayfası, %83,3’ünün e-ticaret sitesi olduğunu ve %91,7’si alanıyla ilgili fuarları takip ettiğini ifade etmiştir. Katılımcıların verdiği cevaplara göre en fazla ihracatın yapıldığı ülke Almanya olarak ifade edilmiştir. Almanya’nın ardından, ABD, İtalya ve Fransa gelmektedir.

Demir çelik sektöründeki işletmelerinin inovasyon düzeyleri, süreç, ürün, organizasyonel ve pazar inovasyonu boyutlarındaki ifadelerine verdikleri cevaplar doğrultusunda ele alınmıştır. İşletmelerin iş süreçlerindeki inovasyona ilişkin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın “İşletmemizde her ürün için hammaddeden, ürünün teslimine kadar olan zamanı kayıt altında tutarız.” ifadesi en yüksek ortalamaya sahiptir. Bu doğrultuda iş süreçlerinde standartlaşma ve sıfır hata yaklaşımının demir çelik sektöründeki işletmeler için hayati önemli olduğu ifade edilebilir. Bu ifadeyi “İşletmemizde kullanılan bilgisayar destekli yazılımlar sayesinde üretimi daha kısa sürede tamamlayabiliyoruz.” ifadesi takip

etmektedir ki bu ortalamanın yüksek olması, iş süreçlerinde kullanılan bilgisayar destekli yazılımların, demir çelik sektöründe yenilikçi faaliyetlerde bulunabilme açısından ciddi öneme sahip olduğu bilgisini bize verebilir.

Ürünlerle ilişkin inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın “Yeni ürün ve hizmetlerimiz müşteriler tarafından çok yenilikçi bulunur.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu da demir çelik sektöründeki işletmelerin yeni ürün veya mevcut ürünlere yönelik yeniliklerde müşteri görüş, istek ve beklentilerinin önemsemesi açısından önemlidir. Organizasyonel inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın “İşletmemizde İSO 9001 gibi kalite yönetim sistemleri uygulanmaktadır.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Demir çelik sektöründeki işletmeler organizasyonel yapılanmalarında kalite standartlarını önemseyerek yenilikçi faaliyetlerde bulunmaları önemlidir. Pazarla ilişkin inovasyon düzeylerinin genel ortalamaları incelendiğinde, en yüksek ortalamanın “İşletmemizde ürünlerin tanıtımına ilişkin yeni yöntemler kullanılmaktadır.” ifadesine ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Demir çelik sektöründeki işletmeler pazara ilişkin tanıtım faaliyetlerinde yenilikçi teknolojilerden, internet, e-ticaret, web sayfası gibi yapılanmalardan yararlanabilmektedirler.

Demir çelik sektöründeki işletmelerin en çok kriz yönetimini ardından personel güçlendirme, insan kaynakları yönetimi ve kurumsal yönetim stratejilerine ilişkin süreçleri

önemsedikleri görülmektedir. Sektörde ve dünyada yaşanan krizlerle mücadelede kriz çözüm yaklaşımları ve olası krizlere hazırlıklı olmak işletmelerin karlılığı ve sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşır.

Demir çelik işletmelerinin modern yönetim tekniklerini işletmelerinde uygulamama nedenleri sorulmuştur. Bu doğrultuda işletmeler en çok nitelikli eleman sıkıntısı ve danışmanlık hizmetlerindeki yetersizlikler nedenleri ile bazı modern yönetim tekniklerini kullanamadıklarını ifade etmişlerdir. Demir çelik işletmelerinin modern yönetim tekniklerini uygulamada başarısızlık yaşamalarının nedenlerine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Bu doğrultuda bazı modern yönetim tekniklerini uygulamada yaşadıkları başarısızların nedeni en çok işletmelerin işlerin yürütülmesinde eski alışkanlıklardan vazgeçilememesi ve hazırlanan programlarda sürekliliğinin sağlanamaması gibi nedenlere bağlanmıştır. Demir çelik işletmelerinin uygulanan modern yönetim tekniklerinden ne gibi yarar elde ettiklerine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Bu doğrultuda en yüksek yararın “İş kazalarının azaldı” ifadesine yapılması sanayi sektöründeki işletmeler ve çalışanları en önemli sorunlarından biri olan İş Sağlığı ve Güvenliği uygulamaları açısından da modern yönetim tekniklerinin uygulanması ve yenilikçi yaklaşımların benimsenmesinin önemi ortaya çıkmıştır. Ardından “Etkin iletişim ve koordinasyon sağlandı”, “İşletmede belirli standartlar sağlandı”, “Çalışan memnuniyeti ve motivasyonu arttı” ve “Belirsizlikler azaldı ve süreç akışı düzene girdi” gibi ifadelerde, sektörel anlamda demir çelik işletmelerinde kalite standartlarının yakalanması, örgütsel iletişim olanaklarının artması, iş süreç ve iş akışlarında kurumsallaşmanın faydalarının oluşturulması adına önemli sonuçlardır.

Son olarak demir çelik işletmelerinin çalışan sayısı, yaşları ve fuar katılımlarına göre inovasyon düzeylerinde herhangi bir farkın olup olmadığı araştırılmıştır. Sonuç olarak bu değişkenler kapsamında herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır. Bu da genel olarak genç veya yaşlı, az çalışanı ya da çok çalışanı olsun genel olarak demir çelik işletmelerinin inovasyon düzeylerinin yüksek olması, yeniliğe, yeni fikirlere, yeni süreç ve yönetim anlayışlarına açık oldukları olumlu sonucu ile açıklanabilir.

## **Kaynakça**

- Demir, M. F. , (2014). Kobilerde Modern Yönetim Teknikleri ve Yenilikçilik İlişkisi: Gaziantep Organize Sanayi Bölgelerine Yönelik Bir Araştırma, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Efil, İ., (2013). *İşletmelerde Yönetim ve Organizasyon*, Genişletilmiş 12. Baskı, Bursa, Dora Basım Yayın Dağıtım.
- Ersoy, A. B. & Şengül, M. C., (2008). Yenilikçiliğe Yönelik Devlet Uygulamaları ve AB Karşılaştırması. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*. 15(1), 59-74.
- European Innovation Scoreboard Raporu, (2020), <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42981>  
Erişim Tarihi: 11.05.2021
- Hiçyılmaz, Y. & ve Şahin, S., (2020). Öğretmen Algılarına Göre Okul Müdürlerinin Yenilik Yönetimi Düzeyleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi* , (50) , 243 257.
- Konyalılar, N., (2020). Entelektüel Sermaye ve İnovasyonun Çalışan Performansına Etkisi: Havacılık Sektörü Örneği, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Korkmaz, S., Ermez, A. & Yücedağ, N., (2009). İşletmelerin Yenilikçi Kabiliyetleri ve İhracat Performanslarına Etkileri. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2),83-104.

- Şimşek, M. Ş., Çelik A. & Akgemci, T., (2015) *Davranış Bilimlerine Giriş ve Örgütlerde Davranış*, 9. Baskı, Konya, Eğitim Yayınevi.
- Taslak, S. & Kara, M., (2009). *İşletme Bilimine Giriş (Modern İşletmecilik)*, Trabzon, Murathan Yayınevi.



# Sandviç Üretimi, Çeşitleri, Özellikleri ve Ambalajlanması

Hilal Dikmen<sup>1\*</sup>, Özlem Çabir<sup>1,2</sup>, Neslihan Polat<sup>3</sup>, Osman Sağdıç<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID:0000-0002-3917-4804), [hilaldikmen11@gmail.com](mailto:hilaldikmen11@gmail.com)

<sup>2</sup> Önen Gıda San. A.Ş., Dudullu Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9718-0981), [ozlem.cabir@dardanel.com.tr](mailto:ozlem.cabir@dardanel.com.tr)

<sup>3</sup> Önen Gıda San. A.Ş., Dudullu Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3183-2163), [neslihan.polat@dardanel.com.tr](mailto:neslihan.polat@dardanel.com.tr)

<sup>4</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2063-1462), [osagdic@yildiz.edu.tr](mailto:osagdic@yildiz.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1146986)

**ATIF/REFERENCE:** Dikmen, H., Çabir, Ö., Polat, N. & Sağdıç, O. (2022). Sandviç Üretimi, Çeşitleri, Özellikleri ve Ambalajlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 321-328.

## Özet

Son yıllarda değişen yaşam tarzı insanları hazır gıda tüketimine yöneltmiştir. Son zamanlarda, artan "fast food" türü sağlıksız hazır gıdalar yerini, sağlıklı, fonksiyonel özellikler içeren atıştırmalıklara bırakmıştır. Hazır gıda tüketiminin artmasıyla birlikte gıdanın raf ömrünü uzatmaya yönelik ambalajlama teknikleri ile ilgili çalışmalar da paralel olarak gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Ürünün tat, tekstür, besin öğelerinde minimum kayıp oluşturacak şekilde raf ömrü çalışmaları yapılmaktadır. Bu doğrultuda bu derleme çalışmasında son yıllarda hızla artan bir potansiyele sahip önemli bir atıştırmalık ürün olan sandviçlerin üretimi ve ambalajlanması ile ilgili son gelişmelere yer verilmiştir. Sandviçler genellikle ekmeğe, sebze, sos, et ve süt ürünleri gibi malzemelerden meydana gelmektedir. Sıcak veya soğuk çeşitleri bulunan sandviçlerin açık, kapalı, rulo gibi çeşitleri de bulunmaktadır. Sandviçlerde yaygın olarak beyaz, çavdar, tam buğday, tam tahıllı, lavaş, tortilla, focaccia ve Fransız ekmeği gibi ekmeğe çeşitleri kullanılmaktadır. Sandviçlerde modifiye atmosferde paketlenme, en yaygın kullanılan ambalajlama tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır. Hazır yiyecek sektöründe farklı şekillerde hazırlanabilen sandviçin önemi önümüzdeki yıllarda daha da artacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sandviç, mikrobiyoloji, modifiye atmosferde kapama, ekmeğe

## Sandwich Production, Types, Properties and Packaging

### Abstract

In recent years, the changing lifestyle has led people to consume ready-made food. Recently, the increasing type of "fast food" has left the place of unhealthy ready-made foods to healthy, functional snacks. With the increase in ready-to-eat food consumption, studies on packaging techniques to extend the shelf life of food continue to increase in parallel. Shelf-life studies are carried out to create minimum loss in taste, texture and nutritional elements of the product. In this direction, in this review study, the latest developments in the production and packaging of sandwiches, an important snack product with a rapidly increasing potential in recent years, are included. Sandwiches usually consist of ingredients such as bread, vegetables, sauces, meat and dairy products. Sandwiches, which have hot or cold varieties, also have varieties such as open, closed and rolls. Bread varieties such as white, rye, whole wheat, whole grain, lavash, tortilla, Focaccia and French bread are commonly used in sandwiches. Modified atmosphere packaging is the most widely used packaging technique for sandwiches. It is thought that the importance of the sandwich, which can be prepared in different ways in the ready-made food sector, will increase in the coming years.

**Keywords:** Sandwich production, sandwich types and features, sandwich bread, packaging

\* Sorumlu Yazar: [hilaldikmen11@gmail.com](mailto:hilaldikmen11@gmail.com)



## 1. Giriş

Yıllar içinde değişen eğitim seviyesi, yaşam tarzı, zaman yönetimi gibi unsurlar hazır gıda tüketimine olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Bu artan hazır gıda tüketim alışkanlığı 1970'lerden itibaren "fast food" tüketimini önemli ölçüde artırmıştır (Buckley ve ark., 2007). Son yıllarda, çeşitli ekmek tipleriyle üretilen sandviçler, özellikle çocuklar arasında hızlı tüketim açısından tercih edilmeye başlamıştır. 1762 yılında Kont John Montagu sandviçin fırından yeni çıkmış ekmek üzerine kızarmış biftek ile servis etmiş olduğu sıcak yaban turpu, "sandviç gibi olmak" deyimini ile hızla ada ülkesi İngiltere sınırlarına yayılmıştır. Sandviç kelimesinden, aynı yüzyıl içinde tarihçi Edward Gibbon'un bir makalesinde, ekmek arasında yenen küçük soğuk et parçaları olarak ilk kez yazılı olarak bahsedilmiştir (Paeratakul ve ark., 2003).

Günümüzde oldukça popüler hale gelen sandviçler yemek zamanı kısaltacak şekilde hızlı tüketime uygun olarak; kahvaltı, öğle ve akşam yemeği gibi tüm öğünlerde tüketime uygun olarak hazırlanabilmektedir. Sandviçler ekmek, sos ve dolgu malzemesi olarak üç temel malzemenin birleşmesiyle oluşur. Bu malzemeler şeflerin hem klasik sandviçler hem de yeni sandviç çeşitleri hazırlamak için kullandıkları temel ürünlerdir (Wassef, 2004).

Bu derleme çalışmasında, son yıllarda giderek artan bir potansiyele sahip olan fast-food sektöründe önemli bir yer tutan, sandviçlerin üretimleri, çeşitleri, özellikleri ve ambalajlanması hakkında bilgi verilmiştir.

## 2. Sandviç Çeşitleri

Sandviçler saklama koşullarına göre soğuk ve sıcak sandviçler olarak ikiye ayrılır. Üçgen ve baton formları ülkemizde en yaygın olarak tüketilen sandviç şekilleridir.

### 2.1. Sıcak Sandviçler

Sıcak sandviçler, açık ve kapalı sandviçler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Kapalı sıcak sandviçler, iki dilim ekmek arasına genellikle et, balık, ızgara, kaşar, yarı pişmiş sebze veya diğer sıcak malzemelerin eklenmesi ile oluşan dolgulardan meydana gelir. Ayrıca bir dilim domates, salatalık, marul veya çiğ soğan gibi taze sebzeler de içerebilirler. Diğer sıcak sandviç türü olan açık sıcak sandviçler ise; tereyağı veya bitkisel yağ, margarin içeren ekmeğin üzerinin, şarküteri ürünleri, sıcak et, sebze köfteleri, peynir, kaşar ve benzeri diğer gıda ürünleri ile doldurulmasıyla yapılır. Izgara izi verilerek üretilen sandviçler ise, dışı tereyağlı olacak şekilde ızgarada, sıcak fırında ızgara telinde kızartılan sandviçlerdir. Özellikle sıcak sandviçlerde kaşar kullanımı çok yaygındır. Derin yağda kızartılmış sandviçler, sandviçlerin çarpılmış yumurtaya veya bazen de yumurta un, ekmek kırıntılarına batırılması ve ardından derin yağda kızartılmasıyla yapılmaktadır. Sıcak sandviçlerin genellikle mikrodalga, fırın ve tost makinasında ısıtılarak tüketilmesi en yaygın tüketim şeklidir (Kendra, 2016; Baş, 2022).

#### 2.1.1. Açık Sandviçler

Açık sandviçler, yalnızca bir dilim ekmek veya baton ekmeğin yarısı kullanılarak yapılan sandviçlerdir. Açık sandviçler bölgesel tercihlere göre, üretim şekilleri ve içindeki malzemeler değişiklik göstermektedir (Şekil 1). Ekmek dilimleri kareler,

üçgenler veya yuvarlaklar halinde farklı şekillerde kesilebilmektedir. Üzerine tereyağı ya da çeşitli kaplama malzemeleri sürülüp, sebzeler, peynir parçaları ya da et dolguları dizilerek tüketicinin beğenisine uygun bir şekilde süslenmektedir (Yılmaz ve ark., 2018).



Şekil 1. Açık sandviçler (Figure 1. Open sandwiches) (Baş, 2022)

#### 2.1.2. Kapalı Sandviçler

Sade bir sandviç olan kapalı sandviçler, tercihe göre birkaç dilim taze veya kızartılmış ekmeklerden yapılabilmektedir. Tercihe bağlı olarak kabukları çıkarılabilir. Ekmeğin dolgusundaki nemin ekmek dış yüzeyine geçişini önlemek ve ekmekle iç harcın birbirine bir bütün olarak tutunmasını sağlamak için tereyağı, mayonez veya farklı sos çeşitleri ekmek dilimlerine sürülerek kullanılmaktadır (Şekil 2) (Baş, 2022).



Şekil 2. Kapalı sandviçler (Figure 2. Closed sandwiches) (Baş, 2022)

#### 2.1.3. Rulo/Sarma Sandviçler

Yaklaşık 3/8 inç kalınlığında, uzunlamasına kesilmiş lavaş ya da tortilla ekmeklerinden yapılmaktadır. Taze krema dolgululu

ekmekler, kolay yuvarlanması ve çatlamaması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu ekmeklerin uzun dilimleri kesilerek oklava ile düzleştirilir. Yumuşatılmış tereyağı veya margarinle, tercihe göre krem peynir, marmelat, baharatlı biberli peynirli harç, fıstık ezmesi, reçel ve jöle gibi yumuşak dolgular sürülmektedir (Şekil 3). Yumuşak dolgular hacimli olmamaları ve ince bir şekilde yayılabilmeleri sebebi ile rulo sandviçler için ideal olarak kullanılmaktadır (Baş, 2022).



Şekil 3. Rulo sandviçler (Figure 3. Rolled sandwiches) (Baş, 2022)

### 2.1.4. Atıştırılabilir Sandviçler

Atıştırılabilir sandviçler, hafif, hassas malzemelerden ve kabukları kesilmiş ekmeklerden yapılan küçük, süslü sandviçlerdir. Sunum vaktinden önce yapılabilir ve dondurulabilirler. Genellikle süslü formlarda kesilir ve kare, üçgen, dikdörtgenler şeklindeki formları çeşitliliğe katkıda bulunur. Dolgular ve soslar ile zenginleştirilerek tüketicilere sunulmaktadır (Baş, 2022).

### 2.1.5. Çok Katlı Sandviçler

Dolgununda birkaç girdiden oluşan ve iki dilimden fazla ekmek veya rulo parçalarından yapılır. *Club sandviç*, dört üçgen parçaya kesilmiş ve tütsülenmiş et, domates, marul, mayonez, dilimlenmiş tavuk ile doldurulan ve üç tost diliminden yapılan çok katlı popüler bir sandviçtir (Şekil 4). Ekmek olarak genellikle beyaz, tam buğday, kepekli ve kuru domatesli tost ekmekleri kullanılarak üretilmektedir (Baş, 2022).



Şekil 4. Çok katlı sandviçler (Figure 4. Multilayer sandwiches) (Baş, 2022)

### 2.2. Soğuk Sandviçler

Soğuk sandviçler yoğun iş temposu içerisinde herhangi bir ısıtma işlemine gerek kalmadan direkt hızlı tüketime olanak sağlamaları sebebiyle özellikle çalışanlar ve öğrenciler tarafından tercih edilmektedir. Soğuk sandviçler hazırlanışları ve tüketim amaçlarına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Şekil 5’ de üçgen formda hazır soğuk sandviçler örneklendirilmiştir (Anonim, 2022).



Şekil 5. Soğuk sandviçler (Figure 5. Cold sandwiches) (Anonim, 2022)

## 3. Sandviç Ekmeği Tipleri ve Üretimi

Sandviç genel olarak çeşitli tipteki ekmeklere, çeşitli sosların, sebzelerin, peynir, et ve balık ürünlerinin doğrulanması ile hazırlanan bir gıda ürünüdür. Kaliteli ekmekler, sandviçin besin değerini artırmanın yanında, çeşitlilik, doku, lezzet, hacim, raf ömrü ve albeni sağlamaktadır. Sandviç üretiminde kullanılan ekmekler; 1. *Mayalı ekmekler* ve 2. *Düz ekmekler* olarak sınıflandırılır. Mayalı ekmekler de; *beyaz ekmek*, *tam buğday* e-*ISSN: 2148-2683*

*ekmeği*, *çavdar ekmeği*, *Fransız ve İtalyan ekmekleri* olarak çeşitlere ayrılmaktadır. Düz ekmekler ise *pide ekmeği*, *lavaş* ve *tortilla ekmeği* olarak sınıflandırılmaktadır. Sandviç ekmeğinin hazırlanmasında malzeme olarak beyaz un, tam buğday unu veya çavdar unu, sıvı yağ, yumurta, süt, şeker, tuz, ılık su ve ekmek çeşidine göre hazır maya kullanılmaktadır. Bu malzemeler karıştırılıp yoğrulur, hazırlanacak sandviç çeşidine göre mayalı ya da mayasız hamur şekillendirilerek pişirilir. Hamura pişirme işlemi uygulanmasının ardından sandviç hazırlanması amacıyla

ekmekler ambalajlanarak ya da ambalajlanmadan satışa hazır hale getirilmektedir (Kendra, 2016).

### 3.1. Mayalı Ekmek

#### 3.1.1. Beyaz Ekmek

En sık kullanılan ve tüketilen sandviç ekmeklerinden biridir. Bunlar kare ya da uzun dikdörtgenler şeklinde ve dilimli olarak kullanılabilir. Çeşitli soslarla ve dolgu malzemeleri ile tatlandırıldıktan sonra tercihe göre kızartılarak ya da soğuk olarak tüketilebilir (Kendra, 2016).

#### 3.1.2. Tam Buğday Ekmeği

Sandviçler için klasik bir ekmek olan tam buğday ekmeği, beyaz ekmeğe göre daha besleyici, lezzet olarak daha çok beğenilen, tekstürel olarak daha sıkı ve kahverengimsi renktedir (Baş, 2022). Tam buğday unu ile hazırlanan ekmek diyet lifince zengin olup, düşük glisemik indeksli ve düşük kalorili, kompleks karbonhidratlara sahip olması ile fonksiyonel özelliğiyle dikkat çekmektedir. Kullanım amacına göre farklı şekillerde üretilerek piyasaya sunulan tam buğday ekmekleri, tüketildiklerinde verdikleri tokluk hissinin yüksek olması sebebiyle de tercih edilmektedir. İçerisine marul, salatalık, domates, peynir, hindi füme, ton balığı, tavuk parçaları vb. gibi çeşitli malzemeler konularak hazırlanan tam buğday ekmeği sandviçler oldukça besleyici ve sağlıklı bir gıda ürünü olarak tüketime sunulmaktadır (Kendra, 2016).

#### 3.1.3. Çavdar Ekmeği

Çavdar unu ile yapılan çavdar ekmeğinin temel özelliği, bol lif ve düşük kaloriye sahip olmasıdır. Beyaz ve kepekli ekmekten daha lezzetli olmakla birlikte pek çok et ve çeşni çeşidiyle uyumlu ve doyurucu bir ekmek türüdür. Özellikle kilo problemi olan ya

da çeşitli sebeplerle sağlık sorunları yaşayan kişiler için, sağlıklı sandviçler hazırlamak amacıyla tavsiye edilen bir ekmek çeşididir (Kendra, 2016).

#### 3.1.4. Fransız ve İtalyan Ekmeği

Ülkemizde baget ekmeği olarak da bilinen ve tüketilen ekmek türleri sandviç hazırlamada kullanılan önemli ekmek çeşitleri arasındadır.

Bu ekmeklerin farklı şekillerde hazırlanan birkaç çeşidi vardır. Bunlardan yarım baget uzunluğunda olanlara “*dejeunette*”, daha uzun olanlara “*flute*” ve ince, kırı olanlara ise “*ficelle*” adı verilmektedir. Ortadan ikiye kesilerek içerisine sürülen çeşitli soslarla lezzetlendirilen ve tercih edilen dolgu malzemeleri eklenerek tüketime hazır hale getirilen sandviç ekmekleridir (Kendra, 2016).

### 3.2. Düz Ekmekler

Düz ekmekler, batı tipi ekmekler de denilen yüksek hacimli tava ekmeklerinden oldukça farklı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden bazıları, düşük spesifik hacimli, yüksek kabuk ve ekmek içi oranlarına sahip olmaları ve ayrıca ağızda bıraktıkları yapışkanimsi yapının hissedilmesi olarak sayılabilir. Bu farklılıkların asıl nedeni düz ekmeklerin batı tipi tava ekmeklerine göre daha kısa fermentasyon süresine sahip olması ve daha yüksek pişirme sıcaklığı ile oluşan üretim koşullarıdır (Faridi, 1988; Penfield ve Campbell, 1990; Hui, 1994; Qarooni, 1996; Quail, 1996).

Sahip oldukları özellikleriyle birlikte farklı üretim koşullarında üretilen düz ekmekler, iki gruba ayrılarak sınıflandırılmakta olup, tek katlı ve çift katlı düz ekmekler olarak adlandırılmaktadır (Pasqualone, 2018). Tablo 1’de çeşitli tek ve çift katlı düz ekmek isimleri ve yaygın olarak üretildikleri bölgeler verilmiştir (Coşkuner ve ark., 1999).

Tablo 1. Bazı Geleneksel Düz Ekmekler (Table 1. Some Traditional Flat Breads) (Coşkuner ve ark., 1999)

Ekmek Çeşidi	Üretildiği Yer	Özellikleri
Baladi	Mısır	Yaklaşık 150 g ağırlığında, yüksek sıcaklıkta kısa sürede pişen çift katlı dairesel ekmek çeşididir.
Barbari	İran	Yaklaşık 770 g kalın, oval şekilli 220°C de 8-12 dakikada pişirilmektedir.
Bazlama	Türkiye	200-250 g hamur düz ve kızgın bir sac üzerinde pişirilmektedir.
Çapati	İran, Hindistan	Bazlamaya benzer özelliklere sahip ince hamur kızgın sac üzerinde pişirilmektedir.
Gömme	Türkiye	Sert bir hamurdan hazırlanır ve pişirme sırasında kızgın çakıl taşları kullanılarak üzerine sac kapatılarak pişirilmektedir.
Lavaş	İran, Türkiye	Yaklaşık 250 g hamur oldukça ince bir şekilde açılmakta ve düz ve kızgın bir sac veya tandır üzerinde pişirilmektedir.
Sangak	İran	Ekşi hamurdan hazırlanan bu ekmek üzerine haşhaş veya susam serpilerek 3-5 dakika 250°C’ de pişirilmektedir.
Arap ekmeği, Pita	Mısır, Suriye, Lübnan, Türkiye, Kanada	Çift katlı, ekmek katmanları tamamen birbirinden ayrılmış ve yüksek sıcaklıkta kısa sürede pişme özelliğine sahiptir.
Yufka	Türkiye	Çok ince bir yapıya sahip olan yufka hamuru kızgın sac üzerinde suyunu kaybedene kadar pişirilmektedir.
Tandır ekmeği	Türkiye, Suudi Arabistan	Çapatiye benzer özellikte olan tandır ekmeği tandır olarak bilinen özel fırınlarda pişirilmektedir.

Düz ekmekler; *pide, focaccia, lavaş, tortilla ekmeği* gibi çeşitlere ayrılır. Pide ekmeği hem beyaz hem de tam buğday unundan üretilir. Bu ekmek pişerken şişerek dolgu malzemesi için mükemmel bir cep oluşturur. *Focaccia* ekmeği çeşidinde ise domates, soğan, patates, zeytin, peynir veya çeşitli aromatik otlar (biberiye, adaçayı, kekik vb.) pişirmeden önce ekmeğe eklenir. Bütün olarak satılır veya kareler halinde kesilir, bölünür ve doldurulur. Bir diğer düz ekmek çeşidi olan küçük ve dikdörtgen *tandır lavaş ekmekleri*, su ile yumuşatıldığında, rulo şeklinde bir sandviç yapmak için bir dolgunun etrafına sarılabilir. Sıcak bir taş üzerinde pişirilen mayasız yuvarlak mısır unlu *tortilla ekmeği* de lavaşa benzer fakat daha küçük ve tek lokmalık sandviçler hazırlamak amacıyla kullanılan bir ekmek çeşididir (Kendra, 2016).

## 4. Sandviç Ekmeğinin Kalite Özellikleri

Kaliteli bir sandviçte lezzetin yanında doku, görünüş, gevreklik, çignenebilirlik ve malzemelerin uyumu oldukça önemlidir. Nem içeriği, su aktivitesi, özgül hacmi, kalınlık, sertlik, ekmek içi ve kabuk nemi gibi özellikler kullanılan ekmeğin kalitesi üzerinde etkili faktörlerdir. Çeşitli sandviç türleri hazırlamak için farklı ekmek türleri gereklidir. Sandviçlerde en iyi görünüm ve lezzet için ekmeğin taze ve lezzetli olması çok önemlidir. Bazı sandviçler, kabuklu veya kabuksuz ekmeklerden hazırlanabilir. Ancak sert ve kuru bir ekmek, sandviçleri yemeyi zorlaştırır. Genellikle kullanılan ekmek türü, kullanılan dolguya bağlı olarak seçilmeli ve dolguyu dağılmadan tutabilmelidir (Pourkomainian, 2000).

Ekmeklerin üretiminde kullanılan bazı şeker, poliol ve hidrokoloidler nem tutucu görevi görerek ekmeklerin pişirme sırasında hacim kazanmasına yardımcı olurken nemli yapı oluşumunu engelleyerek raf ömrünün daha uzun olmasını sağlar. Pişirme öncesinde ekmeğin yüzeyini kaplayarak, parlak bir görünüm sağlamak ve tüketici beğenisini artırmak amacıyla ekmeklere sirlama işlemi uygulanmaktadır. Sırlama, unlu mamullerin yüzeylerinin lezzet ve görünüşlerini iyileştirmek amacıyla kaplanması için geleneksel olarak uygulanan fırıncılık işlemlerinden biridir. Ekmeğe parlak görünümü kazandırmak amacıyla yumurta, süt, bal, tuzlu su, mısır nişastası vb. ürünler kullanılmaktadır (Sungur ve ark., 2013).

## 5. Sandviç İç Dolgu Maddeleri

Sandviç temel olarak üç ana malzemenin farklı çeşitlerinin bir araya gelmesi ile hazırlanan bir hazır gıda ürünüdür. Temel kısmı meydana getiren malzemenin yerleştirildiği, bütün veya dilimlenmiş bir çeşit ekmek ana yapıyı oluşturur. Sandviç ekmeğine hem lezzet katan hem de dokunun iyileşmesini sağlayan, aynı zamanda ekmeğin yumuşamasını veya ıslanmasını engelleyen ikinci kısım ise nemlendirici ajan olarak tercih edilen farklı soslardır. Sandviçi oluşturmak için yapının içinde veya üzerinde istiflemiş, katmanlı ya da tek katlı bir veya daha fazla bileşenden oluşan kısım dolgu malzemeleridir. Sandviçin asıl besleyici kısmını oluşturan dolgu malzemeleri, sıcak veya soğuk olarak hazırlanan et, tavuk, balık, meyve, sebze, salata veya bunların herhangi bir kombinasyonu şeklinde oluşturulur (Kendra, 2016).

## 5.1. Kullanılan Kırmızı ve Beyaz Et

Bir sandviçte dolgu olarak kullanılan kırmızı ve beyaz et ürünleri fermente et ürünleri şeklinde kullanılmakla birlikte kavrulmuş, ızgarada pişirilmiş, kızartılmış veya haşlanmış şekilde kullanılabilirler. Bu ürünler genellikle jambon, rosto dana eti, salam, sosis, hindi, tavuk gibi ürünlerdir. Tek veya birkaç sıralanmış farklı et içeren İtalyan tarzı bir sandviç gibi sıcak veya soğuk olarak servis edilebilirler. Kırmızı ve beyaz et ile hazırlanacak sandviçlerin mikrobiyal bozulma ve kalite kaybına uğramaması için soğukta muhafaza edilmesi oldukça önemlidir (Baş, 2022).

## 5.2. Deniz Ürünleri ve Balık

Ton balığı ve karides genellikle mayonez bazlı sandviçlerde sebzelerle tercih edilir. Balık ve diğer deniz ürünleri çeşitleri, sandviçler için ızgara, derin yağda kızartılma işlemleriyle hazır hale getirilip veya konserve ürünlerden hazır olarak temin edilerek balıkların ekmek arasına doldurmasıyla servis edilir. Sandviç üretiminde kullanılan deniz ürünleri malzemeleri son derece çabuk bozulmaları sebebiyle ve kaliteyi korumak için soğukta muhafaza edilmelidir (Baş, 2022).

## 5.3. Sebzeler

Sağlıklı beslenmenin öneminin artmasıyla birlikte, fonksiyonel özellikli ekmeklerle yapılan sandviçlerde de bir artış gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra lezzeti arttırmak için de sebzeye olan talebin de arttığı bilinmektedir. Sandviçlerde marul, domates, biber, salatalık, soğan ve turşu sıklıkla kullanılan dolgu malzemeleridir. Etsiz hazırlanan sandviçlerde Portobello mantarı gibi sebzeler genellikle tercih edilir. Dolgu olarak kullanılan sebzeler ızgara, kavrulmuş veya çiğ olarak servis edilebilirler. Genellikle soslarla birlikte birincil dolgu olarak kullanıldıklarında sandviçlere lezzet katarlar. Kullanılan sebzeler toz toprak ve yabancı maddelerden arındırılmış bol suyla yıkanarak temizlenmiş olarak kullanılmalıdır (Brocklehurst, 1994)

## 5.4. Peynirler

Peynir, tek başına bir dolgu olarak kullanılabilirken aynı zamanda diğer birçok sandviçte de kullanılan popüler bir dolgu maddesidir. Geniş lezzet ve doku seçenekleri, hafif, sürtülebilir ve dilimlenebilir özellikleri ile farklı çeşitleri tercih edilebilir. Sandviçteki diğer tatları ve dokuları tamamlayan bir lezzet ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Peynir çeşitleri içerisinde sandviçlerde yaygın olarak kullanılan çeşitler; kaşar, beyaz peynir, cheddar, mozzarella, labne peynirleridir. Aroma ve çeşitlilik kazandırmak amacıyla da tulum, parmesan, mascarpone, emmantel ve ezine peynirleri de sandviçlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Baş, 2022).

## 5.5. Garnitürler

Garnitürler tipik olarak bir sandviçte dekoratif ve yenilebilir dolgular olarak kullanılırlar. Bir garnitür, sandviçin lezzetini tamamlarken aynı zamanda görsel çekicilik sağlar. Bütün sebzeler, havuç ve kereviz çubukları, turşu, portakal veya kavun dilimleri gibi daha büyük garnitürler dış garnitür olarak kabul

edilirler. Bu garnitür çeşitleri sandviç için tamamlayıcı tatlar sağlarlar (Pourkomainian, 2000; Kendra, 2016).

## 6. Sandviç Sosu

Gıdalara lezzet, nem ve görsel çekicilik katan çok çeşitli soslar mevcuttur. Sandviç yapımında kullanılan soslar ekmeğe üzerine sürülerek sandviçlere lezzet katmanın yanısıra ekmeği nemlendirerek sandviçin yenilebilirliğini artırır. Tat ve tekstürel anlamda sandviçi olumlu etkilemekle birlikte gıdanın besleyicilik değerinin de artırır. Yumuşak, sürülebilir yapıda, reçel, marmelat, mayonez, ketçap, soya sos, hardal sos, ranch sos, acı sos gibi farklı renk ve yapıda çeşitleri mevcuttur. Bu sosların bazıları geleneksel gıdalara dayanırken, diğerleri ise batı tarzı yemeklerin değiştirilmiş formlarıdır. Sos ürünlerinde kullanılan çeşitli baharatlar ve organik asitlerin koruyucu özelliklerinden dolayı, doğal olarak uzun süre depolanabilme stabilitesine sahiptir. Soslar genellikle sıvı veya yarı katı bir formda olduğundan kalite özellikleri; renk değişiklikleri, lezzet bozulması, kimyasal bozulma ve mikrobiyal aktivite ile ölçülebilir (Jones ve Man, 1994, Pourkomainian, 2000).

## 7. Sandviçlerde Mikrobiyolojik Riskler

Son yıllarda, tüketimi önemli ölçüde artan pizza, sandviç, hamburger ve patates kızartması gibi hazır gıdalar, tüketicilere hızlı tüketim imkânı sunmaktadır. Ancak hızlı tüketime uygun bu gıdalar hammadde, hazırlanma koşulları ve soğuk zincirin sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı gıda kaynaklı hastalıklara yol açabilecek bakteriyel kontaminasyon riski taşımaktadır (Xue ve ark., 2016; Ahmed ve ark., 2017; Saghaian ve Mohammadi, 2018). Yapılan birçok çalışmada doğrudan tüketime olanak sağlayan hazır gıdalardan izole edilen patojen mikroorganizmalar *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Campylobacter* spp., türleri olarak belirlenmiştir (Alyaaqoubi ve ark., 2009).

*S. aureus*'un antimikrobiyal dirençlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, 225 adet et burger ve sosisli sandviçten izole edilen suşların genlerinin moleküler karakterizasyonu belirlenmiştir. Test edilen sandviçlerin %83,1'i, ortalama  $4 \times 10^3$  kob/g oranında koagülaz pozitif *S. aureus* ile kontamine olduğu ve suşların anamisin, nalidiksik asit, sefotaksim, sülfametoksazol-trimetoprim, penisilin g, tetrasiklin ve sefalotine gibi antibiyotiklere karşı dirençli olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda bu patojenlerin tüketicilere bulaşma riskini önlemek için gıda ve personel hijyeni standartlarının uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Mahros ve ark. (2021).

Mansoura (Mısır) şehrinde farklı fast-food restoranlarından satın alınan sığır eti burger ve sosisli sandviçleri kontamine eden koagülaz pozitif *S. aureus* suşlarının enterotoksinlerini ve metisilin direncini değerlendirmek için, toplam 100 etli (50 sığır eti burger ve 50 sosisli sandviç) fast-food toplanmıştır. Analiz edilen örneklerden sığır eti burgerinin %90'ında ve sosisli sandviçlerin %82'sinde,  $2,9 \times 10^4$  ve  $3,8 \times 10^4$  kob/g *S. aureus* tespit edilmiştir. Tanımlanan 106 koagülaz pozitif suşun 14 adetinin (%13,2) enterotoksin üretme yeteneğine ve 47 adetinin (%44,3) ise metisiline dirençli olduğu belirlenmiştir. Sayım sonuçlarına göre numunelerin mikrobiyolojik kalitesinin zayıf ve hazır etli sandviçlerin de tüketime uygun olmadığı bildirilmiştir (Mohamed ve ark., 2021).

Yapılan başka bir çalışmada, hastane kantinlerinde hazır olarak satılan sandviç örneklerinde *E. coli* varlığını araştırmak ve direnç genlerinin tespitini sağlamak amacıyla 150 sandviç örneği toplanmıştır. Toplanan örneklerden izole edilen *E. coli* suşlarının direnç genleri PCR ile tespit edilmiş ve *E. coli* suşlarında GSBL üretiminden sorumlu blaCTX-M, blaTEM ve blaSHV direnç genlerinin varlığı belirlenmiştir. Bu direnç genlerine sahip *E. coli* suşlarının bulunduğu ürünleri tüketen insanların, sağlığının bozulabileceği bildirilmiştir (Uyanık, 2022).

Temmuz 2017'de İngiltere'de bir hastanede yatan hastada listeriosis vakası meydana gelmiş ve hastada tanımlanan *Listeria monocytogenes*'in sandviçler ve salatalardan izole edilen bir suşla benzer olduğu tespit edilmiştir. Böylece bu bakteri riskinin, tedarikçi şirketin sandviç ve salata ürünlerinin üretim ortamından kaynaklandığı belirlenmiştir. Analiz sırasında 3.000'den fazla sürüntü örneğinden 127 adet *L. monocytogenes* suşunun izole edildiği, salataların %31'inin ve sandviçlerin %3'ünün bu bakteriyle kontamine olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, bir gıda üretiminde kullanılan ekipmanın, gıdalla temas eden yüzeylerin ve gıdaların tek bir *L. monocytogenes* suşu tarafından bile sürekli kontaminasyonuna sebep olabileceği sonucunu ortaya koymanın yanında, hijyenik olmayan gıda ve üretim ortamlarının kolonizasyona ve sürekli kontaminasyona sebep olarak halk sağlığı için riski oluşturduğu bildirilmiştir (McLauchlin ve ark., 2021).

*Listeria* spp.'nin varlığını belirlemek için yapılan başka bir çalışmada, hastane ortamına yerleştirilen hastaların erişebileceği soğutmalı otomatlardan, modifiye atmosfer paketleme kullanımı gibi benzer üretim süreci ile karakterize edilmiş, 5 farklı firmaya ait 55 adet sandviç örneği toplanmıştır. Uygulanan tespit yöntemine göre, 9 sandviç örneğinde *L. monocytogenes* kontaminasyonu için pozitif sonuç elde edilmiştir. Sandviç gibi tüketime hazır gıdaların hastanelerde sunulduğunda ve duyarlı kişiler tarafından tüketildiğinde, *L. monocytogenes* varlığı ile ilgili risklerin orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Analiz edilen hazır gıdalardaki kontaminasyon miktarı Avrupa mikrobiyolojik kriterlerine uygun değerler gösterse de bu ürünlerin hassas bir ortamda tüketimi dikkatle kontrol edilmeli ve *L. monocytogenes* kaynaklı olası hastalıkları sınırlamak için hastanede yatan hastalara hazır gıda tüketimi ile ilgili riskler hakkında daha fazla bilgi sunulması gerektiği sonucuna varılmıştır (Cossu ve ark., 2016).

Burkina Faso'daki Ouagadougou bölgesindeki sokak yemeği tezgâhlarında 201 adet sandviçte *Salmonella* kontaminasyonu olup olmadığı incelenmiş; sandviç örneklerinde %17,9 (36/201) oranında *Salmonella enterica* varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, Ouagadougou'da satılan sandviçlerde *Salmonella* spp. varlığının yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmış ve satışa sunulan bu sandviçlerin tüketici sağlığını tehdit edecek düzeyde *Salmonella* riski taşıdığı belirtilmiştir (Nikiema ve ark., 2021).

## 8. Sandviçlerin Modifiye Atmosferde Paketleme (MAP) Kullanılarak Ambalajlanması ve Raf Ömrü

Sandviçler ekmeğe, sebze, sos, et, balık ve süt ürünleri gibi malzemelerden meydana gelmektedir. İçerdikleri bu iç malzemeler nedeniyle son derece hızlı bozulmaya maruz kalan sandviçlerin, güvenliklerini ve kalitelerini korumak için hemen işleme ve/veya paketleme gereklidir. Son yıllarda fırıncılık ürünlerindeki bozulma problemlerini önlemek amacıyla, kimyasal koruyucular,  $a_w$  ve pH değişimleri gibi uygulamalara

alternatif bir yöntem olarak Modifiye Atmosfer Paketleme (MAP) sistemleri tercih edilmektedir. Tüketime hazır gıdalar için en yaygın paketleme tekniği olan modifiye atmosfer paketleme, paket içerisindeki atmosfer kompozisyonunun değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Smith ve ark., 2004; Kontominas ve ark., 2021).

Gıdaların raf ömrünün uzatılması için CO<sub>2</sub> ile zenginleştirilmiş atmosferlerin kullanılması gıda muhafazasında, artan CO<sub>2</sub> ve azalan O<sub>2</sub> seviyelerinin, solunum yapan gıdalardaki katabolik reaksiyonları geciktirdiği ve bozulma yapan mikroorganizmaların gelişmesini engellediği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmalar da CO<sub>2</sub> ile zenginleştirilmiş fırıncılık ürünlerinin raf ömrünün uzadığı bildirilmiştir (Young ve ark., 1988; Smith ve ark., 2004).

Gıda koruyucularının kullanımı konusunda daha bilinçli hale gelen tüketiciler ürünlerin bozulmadan uzun süre tüketimine olanak sağlayacak alternatif yöntemler talep etmektedir. Yapılan bir ankette, tüketicilerin %75'i gıda ürünlerindeki kimyasal koruyucuların miktarlarının yüksekliği konusunda endişeliyken, %19'unun ışınlama teknolojisi konusunda endişeli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Gıda endüstrisinin bu endişelere karşı verdiği yanıt ise, unlu mamullerin raf ömrünü uzatmak için ürünün etiketinde belirtilmesine gerek duyulmayan ve tamamen doğal olan CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gibi gazların kullanıldığı MAP yöntemi uygulamaları olmuştur (Smith & Simpson, 1996; Smith ve ark., 2004).

Kurutma ve dondurma gibi geleneksel gıda muhafaza/depolama yöntemleriyle ilişkili artan enerji maliyetlerini dikkate alarak, daha az enerji harcayan ve daha ekonomik kısa ve uzun vadeli muhafaza yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir. MAP'nin fırıncılık ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için dondurmaya kıyasla enerji tüketimini %18-20 oranında azaltabildiği bildirilmiştir (Smith ve ark., 2004).

Sonuç olarak, MAP, sandviç gibi unlu mamüller de dahil olmak üzere birçok gıda için geleceğin koruma teknolojisi olarak hızla gelişmektedir. MAP'ın gıda korumada tam kontrol sağlayabilmesi, ürünlerin raf ömrünü uzatması ve nispeten düşük maliyetleri dikkate alınarak, gıda üreticisi tarafından tercih edilebileceği anlaşılmaktadır (Smith ve ark., 2004; Tirloni ve ark., 2018).

## 9. Sonuç

Zaman kavramının git gide daha da büyük önem arz ettiği günümüzde sandviçlerin, tüketime uygun ve kolay taşınabilir hazır gıdalar olmaları nedeniyle ihtiyaca yönelik pratik çözüm oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Tüketime hazır fast-food gıda olarak bilinen sandviçler, içerisindeki malzemelerin çeşitliliği, tüketicinin tercihlerine göre çeşitlilik göstermesi, beslenme ihtiyacına pratik bir çözüm üretmesi amacıyla piyasaya hızlı sunulan bir ürün olmanın yanında, aynı zamanda diyet beslenmesinde kullanılan bir ürüne de dönüşmüştür. Ayrıca hazırlanışında kullanılan çeşitli hayvansal ürünler, sebze ve meyveler nedeniyle, hem protein hem de vitamin ve mineral açısından oldukça besleyici özelliğe sahiptir. Sandviçlerin her öğünde tüketilebilme imkânı, farklı çeşitlerinin ve farklı ambalajlama tekniklerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Günümüzde tüketimi gittikçe artan sandviçlerin her yaş grubuna hitap edecek şekilde farklı çeşitleriyle sunulması ve fonksiyonel özellikteki içerikleriyle sağlıklı ürünler olarak üretilmesi tüketici için oldukça önemlidir.

## Kaynakça

- Ahmed, Z., Afreen, A., Hassan, M.U., Ahmad, H., Anjum, N., Waseem, M. 2017. Exposure of food safety knowledge and inadequate practices among food vendors at Rawalpindi; the fourth largest city of Pakistan. *J Food Nutr Res.*, 5, 63–73.
- Alyaaqoubi, S.J.M., Sani, N.A., Abdullah, A., Rahman, R.D.A. 2009. Microbiological quality of selected ready-to-eat food at Hulu Langat district, Malaysia. *Prosiding Seminar Kimia Bersama UKM-ITB VIII 9-11 June 2009*, 421-433.
- Anonim. 2022. Erişim adres: <https://www.misterno.com.tr/tr/urunler/tumu>
- Baş, A. 2022. Sandwich Lesson Book. Erişim adres: <https://pdfcoffee.com/sandwich-lesson-book-prepared-by-a-bas-pdf-free.html> (Erişim tarihi: 05.07.2019).
- Brocklehurst, T.F. 1994. Delicatessen salads and chilled prepared fruit and vegetable products. In: Man, C.M.D & Jones, A.A. (Eds) *Shelf Life Evaluation of Foods*, Chapman & Hall, pp.87-123.
- Buckley, M., Cowan, C., McCarthy, M. 2007. The convenience food market in Great Britain: Convenience food lifestyle (CFL) segments. *Appetite*, 49(3), 600-617.
- Cossu, F., Spanu, C., Deidda, S., Mura, E., Casti, D., Pala, C., De Santis, E.P.L. 2016. *Listeria* spp. and *Listeria monocytogenes* contamination in ready-to-eat sandwiches collected from vending machines. *Italian Journal of Food Safety*, 5(5500) 61-64.
- Coşkun, Y., Karababa, E., Ercan, R. (1999). Düz Ekmeklerin Üretim Teknolojisi. *Gıda*, 24 (2) 89-97.
- Yılmaz, E., Sarıuşık, M., Doğrubay, M., Kurnaz, A., Güldemir, O., Mil, B., Durlu Özkaya, F. 2018. Dünya Mutfaqları I. T.C Anadolu Üniversitesi Yayını No:3309. Açıköğretim Fakültesi Yayını No:2171.
- Faridi, H.A. 1988. Flat Breads. Pages. 457-506 in: *Wheat Chemistry and Technology Vol. 2*. Pomeranz, Y., ed. A.A.C.C Publ., St. Paul, Minnessota, U.S.A.
- Hui, Y.A. 1994. Bakery special products (Ed.) in: *Encyclopedia of Food Sci. And Tech.* Vol 1. 152-153
- Jones, A.A., Man, C. M. D. (1994). Ambient-stable sauces and pickles. In *Shelf Life Evaluation of Foods* (pp. 275-295). Springer, Boston, MA.
- Kendra, S. 2016. Food Production, NSQF Level-2 Student Handbook.
- Kontominas, M.G., Badeka, A.V., Kosma, I.S., Nathanailides, C.I. 2021. Recent developments in seafood packaging technologies. *Foods*, 10(5), 940.
- Mahros, M. A., Abd-Elghany, S. M., Sallam, K. I. 2021. Multidrug-, methicillin and vancomycin resistant *Staphylococcus aureus* isolated from ready-to-eat meat sandwiches: An ongoing food and public health concern. *International Journal of Food Microbiology*, 346, 109165.
- McLauchlin, J., Aird, H., Amar, C., Boyd, G., Brindle, A., Dallman, T., Swindlehurst, M. 2021. Listeriosis associated with pre-prepared sandwich consumption in hospital in England, 2017. *Epidemiology & Infection*, 149, e220.
- Mohamed, E., Ramadan, H., Abd-Elghany, S., Mahros, M. 2021. Isolation and characterization of enterotoxigenic coagulase-positive and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* contaminating beef burger and hot dog sandwiches retailed in Mansoura city. *Mansoura Veterinary Medical Journal*, 22(1), 20-24.

- Nikiema, M.E.M., Pardos de la Gandara, M., Compaore, K.A.M., Ky Ba, A., Soro, K.D., Nikiema, P.A., Weill, F.X. 2021. Contamination of street food with multidrug-resistant Salmonella, in Ouagadougou, Burkina Faso. PLoS One, 16(6): e0253312.
- Paeratakul, S., Ferdinand, D.P., Champagne, C.M., Ryan, D.H., Bray, G.A. 2003. Fast-food consumption among US adults and children: dietary and nutrient intake profile. Journal of the American Dietetic Association, 103 (10), 1332–1338.
- Pasqualone, A. 2018. Flatbreads: ancient products with a future life. Tecnica Molitoria International, 68 (19/A), 46-63.
- Penfield, M.P., Campbell, A.M. 1990. Yeast Breads: Flat breads. in: Experimental Food Science. 3rd Ed. Academic Press, pp. 438-441.
- Pourkomialian, B. 2000. Sauces and dressings. In *The Stability and Shelf-life of Food*. Kilcast D, Subramaniam P, eds. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 311-331.
- Qarooni, J. 1996. Flat bread technology. pp.206. Chapman & Hall, NY, U.S.A.
- Quail, K.J. 1996. Arabic bread production. pp. 148. AACC publ. St. Paul, Minnesota, U.S.A. Quantitative microbial risk assessment model for *Listeria monocytogenes* in RTE sandwiches. Microbial Risk Analysis, 9, 11-21.
- Saghalian, S, Mohammadi, H. 2018. Factors affecting frequency of fast food consumption. J Food Distribut Res., 49, 22–29.
- Smith, J.P., Daifas, D.P., El-Khoury, W., Koukoutsis, J., El-Khoury, A. 2004. Shelf life and safety concerns of bakery products a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44(1), 19-55.
- Smith, J.P., Simpson, B.K. 1996. Modified atmosphere packaging. In *Baked Goods Freshness*, p. 205. Eds. R.E. Hebeda and H.F. Zobel, Marcel Dekker, New York, 1995.
- Sungur, B., Ercan, R. 2013. Effects of combining added hydrocolloids and surfactant and frozen storage on the baking quality of frozen bread dough. 38(5), 283-290.
- Tirloni, E., Stella, S., De Knegt, L. V., Gandolfi, G., Bernardi, C., Nauta, M. J. 2018. A quantitative microbial risk assessment model for *Listeria monocytogenes* in RTE sandwiches. Microbial Risk Analysis, 9, 11-21.
- Uyanık, T. 2022. Samsun İlindeki Hastane Kantinlerinde Satışa Sunulan Tüketime Hazır Sandviçlerde Genişlemiş Spektrumlu Beta-Laktamaz Üreten *Escherichia coli* Varlığının Araştırılması. Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 19(1), 37-42.
- Wassef, H. 2004. Food habits of the Egyptians: newly emerging trends. EMHJ Eastern Mediterranean Health Journal, 10 (6), 898-915.
- Xue, H., Wu, Y., Wang, X., Wang, Y. 2016. Time trends in fast food consumption and its association with obesity among children in China. PLoS One, 11, e0151141.
- Young, L.L., Reviere, R.D., Cole, A.B. 1988. Fresh red meats: A place to apply modified atmospheres. Food Technol., 42, 65-69.



## 4 Boyutlu Modelde Spinör Tipi İntanton Çözümlerinin Dalgacık Entropisinin İncelenmesi

Mine Ak<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0003-1131-5529), mineak83@yahoo.com

(İlk Geliş Tarihi 5 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 28 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1099184)

**ATIF/REFERENCE:** Ak, M. (2022). 4 Boyutlu Modelde Spinör Tipi İntanton Çözümlerinin Dalgacık Entropisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 329-334.

### Öz

Son yıllarda, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin yörüngelerinin özelliklerini araştırmak için çeşitli alanlarda birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, Heisenberg anılatı aracılığıyla bulunan dört boyutlu Gürsey modeldeki spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngelerinin karakteristiği incelenmiştir. Spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngeleri, Shannon dalgacık entropisi – wavelet entropy (WE) yöntemiyle analiz edilmektedir. Spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngelerinin düzenli veya düzensiz durumlarını analiz etmek için faz uzayında WE ve WE spektrumu üzerine çalışılmaktadır. Spinör tipi instanton çözümlerinin kararlı nokta etrafında düzenli yörüngelere ve diğer noktalar için düzensiz yörüngelere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmaya göre, faz uzayında WE doğrusal olmayan dinamik sistemlerin entropi evrimini gözlemlemek için kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal olmayan dinamik sistemler, spinör tipi instanton, dalgacık entropisi, faz uzayı.

## Investigation of Wavelet Entropy of Spinor Type Instanton Solutions in a 4-Dimensional Model

### Abstract

In recent years, many methods have been proposed in various fields to investigate the properties of orbits of nonlinear dynamical systems. In this study, the characteristics of the orbits of spinor-type instanton solutions in the four-dimensional Gurse model via Heisenberg ansatz is investigated. The orbits of spinor-type instanton solutions are analyzed by Shannon wavelet entropy (WE) method. In order to analyze the regular or irregular states of the orbits of spinor-type instanton solutions, WE spectrum and WE in phase space are studied. It is observed that spinor-type instanton solutions have regular orbits around the fixed point and irregular orbits for other points. According to this study, WE can be used to observe the entropy evolution of nonlinear dynamical systems in phase space.

**Keywords:** Nonlinear dynamical systems, spinor-type instanton, wavelet entropy, phase space.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: [mineak83@yahoo.com](mailto:mineak83@yahoo.com)



## 1. Giriş

İnstantonlar, standart modelde kuantum alan teorisi bağlamında var olan klasik topolojik çözümlerdir (Rajaraman, 1987). İnanstantonlar, vakumlar arası tünellemeye karşılık geldiğinden, kuarkların parçacıklar içinde hapsolmesini açıklamada önemli bir rol oynarlar (Dunajski, 2010). Gürsey model, dört boyutlu konformal invaryant saf fermiyonik bir modeldir (Gursey, 1956). Gürsey modelde, spinör tipi instantonlara karşılık gelen çözümler Heisenberg anatzı kullanılarak elde edilmiştir (Heisenberg, 1954) (Kortel, 1956). Konformal invaryant saf spinör Gürsey alan denkleminin spinör tipi instanton çözümleri, konformal simetrisinin kendiliğinden kırılmasıyla bulundu (Akdeniz, 1982). Daha sonraki yıllarda, spinör dalga denklemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Akdeniz ve ark., 1982) (Hortacsu ve ark., 2007) (Hortacsu ve Lutfuoğlu, 2007) (Canbaz ve ark., 2012) (Aydogmus ve ark., 2013) (Ak, 2022).

Entropi, sistemdeki enerjiyi hesaplamak için termodinamikte ilk olarak Clausius tarafından kullanılmıştır (Clausius, 1850). Sonra Boltzmann istatistiksel fiziğın temellerini attı (Boltzmann, 1871). Daha sonra, bilgi teorisinde Shannon (Shannon, 1948), entropiyi rastgele bir veri kaynağı tarafından üretilen bilginin ortalama hızı olarak hesapladı (Nicolis ve ark., 2020). Bilgi teorisine göre entropi, ayırık veya sürekli bir sistemdeki belirsizliğin bir ölçüsüdür. Shannon entropisi, rastgele seçilen bir değişikenden üretilen bilginin beklenen değerini hesaplar. Entropi, bir sistemdeki kaos olarak tanımlanır. Sistemdeki düzensizlik ne kadar büyük olursa, entropi de o kadar büyük olur (Wehrl, 1978).

Shannon entropisi, başlangıçta bilgi kaynağının belirsizliğini ifade etmek için kullanıldı. Daha sonra bilgi teorisi dışındaki diğer alanlarda belirsizlik veya düzensizliğin bir ölçüsü olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmada Shannon entropisi tercih edilmiştir. Bir sistemin düzensizliği, sistem bileşenleri arasındaki enerji akışıyla ilgilidir. Bir sistemdeki belirsizlik veya düzensizlik ne kadar büyükse, entropi de o kadar yüksek olur (Zhang ve ark., 2021). Sistem düzensizliği arttıkça sistemi oluşturan bileşenler arasındaki enerji alışverişi azalır ve entropi değeri artar. Buna göre en düzensiz sistem, maksimum entropi değerine sahip sistemdir. Bilimsel çalışmalarda farklı entropi yöntemleri kullanılsa da Shannon entropisi pratikte en sık kullanılan belirsizlik ölçüsüdür (Camarena-Martinez ve ark., 2016) (Pan ve ark., 2016).

Dinamik sistemler birçok alanda farklı uygulamaları ile oldukça önemli ve geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Birçok dinamik sistemdeki davranış özelliklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi uzun süredir çok önemli bir araştırma konusu olmuştur (Brin ve Stuck, 2015). Bu çalışmada, spinör tipi instanton çözümlerinin dalgacık entropisi (Shannon dalgacık entropisi) incelenmiştir. Dalgacık entropisi, dalgacık ayırıştırma ve entropinin birleştirilmesine dayanan bir yöntemdir (Huang ve ark., 2021). Yüksek zaman-frekans çözünürlüğüne sahip bir sinyalin düzensizlik derecesini veya sırasını tahmin etmek için kullanılır (Shannon, 1948). Dalgacık entropisi, oldukça düzenli sinyaller için daha düşük ve oldukça düzensiz sinyaller için daha yüksektir (Rosso ve ark., 2001).

Bu çalışmada, spinör tipi instanton çözümlerinin farklı başlangıç koşullarına göre davranışı Shannon dalgacık entropi yöntemi ile incelenmiştir. Yörüngelerle ilgili bilgi almak için, faz

uzaylarında Shannon dalgacık entropisi (WE), farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  parametre değerleri için değişen başlangıç koşullarına göre incelenir. Bu çalışmaya göre, spinör tipi instanton çözümlerinin kararlı noktalar etrafında düzenli yörüngelere ve diğer noktalarda düzensiz yörüngelere sahip olduğu görülmektedir.

Bu makale şu şekilde planlanmıştır: Bölüm 2'de, Gürsey modelde Heisenberg anatzı ile elde edilen spinör tipi instanton çözümlerinin lineer olmayan diferansiyel denklemlerinden ve düzenli ve düzensiz yörüngeleri tespit etmek için kullandığımız dalgacık entropisinden bahsedilmiştir. Bölüm 3'te, spinör tipi instanton çözümlerinin dalgacık entropisi, farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değerleri ile değişen başlangıç koşullarına göre çizilmiştir. Faz uzaylarındaki çözümlerin dalgacık entropisi de bu bölümde verilmiştir. Sonuçlar Bölüm 4'te sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Gürsey Model

3/2 ölçek boyutunda fermiyon alanlarına dayanan Gürsey dalga denklemleri, konformal invaryant Lagrange denklemleri (Gürsey, 1956)

$$L = i\bar{\psi}\partial\psi + g(\bar{\psi}\psi)^{\frac{4}{3}} \quad (1)$$

ile tanımlanır.  $g$  pozitif kuplaj sabitidir. Hareket denklemleri,

$$i\partial\psi + g(\bar{\psi}\psi)^{\frac{1}{3}}\psi = 0 \quad (2)$$

ile verilir. Heisenberg anatzının (Heisenberg, 1954) Öklid konfigürasyonunun karmaşık formu

$$\psi = [ix_{\mu}\gamma_{\mu}\chi(s) + \varphi(s)]C, \quad (3)$$

ile ifade edilir.  $C$  keyfi bir spinör sabitidir.  $\chi(s)$  ve  $\varphi(s)$  ise  $s = x_{\mu}^2 = r^2 + t^2(x_1 \equiv x, x_2 \equiv y, x_3 \equiv z, x_4 \equiv t)$ 'nin gerçek fonksiyonlarıdır. (3) denklemini (2) denkleminde yerine yazarsak,

$$4\chi(s) + 2s\frac{d\chi(s)}{ds} - \alpha[s\chi(s)^2 + \varphi(s)^2]^{\frac{1}{3}}\varphi(s) = 0, \quad (4a)$$

$$2\frac{d\varphi(s)}{ds} + \alpha[s\chi(s)^2 + \varphi(s)^2]^{\frac{1}{3}}\chi(s) = 0, \quad (4b)$$

denklem çiftini elde ederiz.  $\alpha = g(\bar{C}C)^{\frac{1}{3}}$  yazarsak,

$$i\gamma_{\mu}\partial_{\mu}\psi = \left[-4\chi(s) - 2s\frac{d\chi(s)}{ds} + 2ix_{\mu}\gamma_{\mu}\frac{d\varphi(s)}{ds}\right]\bar{C}C, \quad (5)$$

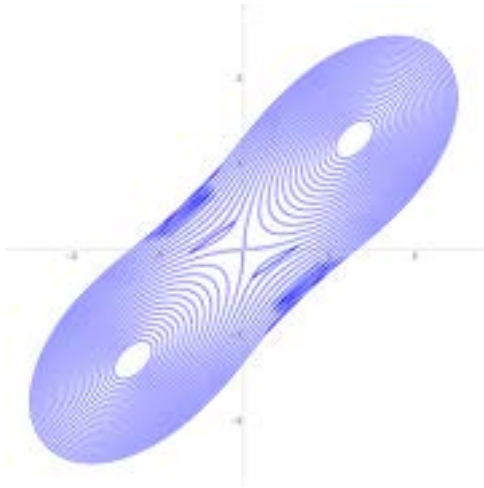
$$(\bar{\psi}\psi)^{\frac{1}{3}} = (s\chi^2(s) + \varphi^2(s))(\bar{C}C)^{\frac{1}{3}}$$

elde ederiz.  $\chi = As^{-\sigma}F(t)$  ve  $\varphi = Bs^{-\tau}G(t)$  ile  $t \equiv \ln s$ ,  $\sigma = \tau + \frac{1}{2}$ ,  $\tau = \frac{3}{4}$  ve  $A^2 = B^2$  (Kortel, 1956) yazarak, doğrusal olmayan basit diferansiyel denklem sistem çifti (4a) ve (4b)'nin boyutsuz formu (6a) ve (6b) denklemleri,

$$2 \frac{dF(t)}{dt} + \frac{3}{2}F(t) - \alpha(AB)^{\frac{1}{3}} [F(t)^2 + G(t)^2]^{\frac{1}{3}} G(t) = 0, \quad (6a)$$

$$2 \frac{dG(t)}{dt} - \frac{3}{2}G(t) + \alpha(AB)^{\frac{1}{3}} [F(t)^2 + G(t)^2]^{\frac{1}{3}} F(t) = 0, \quad (6b)$$

elde edilir. Burada F ve G  $\in \mathbb{R}$  reel fonksiyonlardır ve A, B pozitif sabitlerdir (Kortel, 1956).  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$  için bu denklem sisteminin çözümü (Akdeniz, 1982)'de verilen Gürsey instantonlarıdır. Yakın tarihte yapılan bir çalışmada, faz uzayında Gürsey instantonlarının evriminde kuplaj sabitinin rolü araştırılmıştır (Aydogmus ve ark., 2013).



Şekil 1. Gürsey instantonlarının çözümlerine karşılık gelen faz diyagramı (Aydogmus ve ark., 2013).

(Figure 1. Phase diagram corresponding to solutions of Gürsey instantons (Aydogmus et al., 2013).)

## 2.2. Dalgacık Dönüşümleri

Dalgacık dönüşümü, bir sinyalin zaman-frekans analizi için kullanılan bir dönüşüm türüdür. Özellikle sismik verilerin incelenmesi sırasında yaşanan sorunlar, "Sürekli Dalgacık Dönüşümü"nin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Daha sonra dalgacık analizinin çok çeşitli sinyal tiplerine uygulanabilir olduğu bulundu (Daubechies, 1992) (Aldroubi ve Unser, 1996) (Mallat, 1999).

Dalgacık, frekans ve zamanda iyi konumlanmış bir titreşim fonksiyonudur. Bir dalgacık kümesi  $\psi_{a,b}$ , ana dalgacık  $\psi(t)$ 'nin açılımları ve ötelemeleri tarafından üretilen temel fonksiyonlar kümesidir:

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right), \quad (7)$$

Burada ölçek s, dönüşüm parametreleri u ve t zamandır. s'nin artması dalgacığın daralmasına neden olur. Böylece s benzersiz analitik model ve modelin farklı zaman ve ölçeklerdeki kopyaları elde edilir. Dalgacık dönüşümleri şu şekilde tanımlanır:

$$(W_{\psi} f)(u, s) = \langle f, \psi_{u,s} \rangle = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (8)$$

Ayrık parametre seti için  $s_j = 2^{-j}$  ve  $u_{j,k} = 2^{-j}k$  ile ana dalgacık fonksiyonunun özel seçimi için  $\psi(t)$ ,

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (9)$$

ile verilir. Sonlu enerji sinyallerinden oluşan Hilbert uzayı,  $L^2(\mathbb{R})$ 'nin bir ortonormal temelidir. İlişkili ondalık ayrık dalgacık dönüşümü, sinyalin yedekli olmayan bir temsilini oluşturur ve değerleri dalgacık serisindeki katsayılarıdır. Buradaki dalgacık katsayıları, farklı ölçeklerde yerel enerjilerin doğrudan tahminini ve bilgisini sağlar. Ayrıca bilgi,  $L^2(\mathbb{R})$ 'de iç içe geçmiş alt uzayların hiyerarşik bir şemasında düzenlenebilir.

Örnekleme süresi  $t_s$ 'nin, tekdüze bir zaman ızgarasına rağmen örneklenen  $S = \{s_0(n), n=1, \dots, M\}$  değerleri tarafından verildiği varsayılır. Basitlik için  $t_s = 1$  alınır. Ayrıştırma tüm çözünürlük seviyelerinde yapılırsa, dalgacık genişlemesi şu şekilde olacaktır:

$$S(t) = \sum_{j=-N}^{-1} \sum_k C_j(k) \psi_{j,k}(t) = \sum_{j=-N}^{-1} r_j(t), \quad (10)$$

burada dalgacık katsayıları  $C_j(k)$ , j ve j+1 ardışık sinyal yaklaşımları arasındaki yerel artık hatalardır ve  $r_j(t)$ , j ölçeğindeki artık sinyaldir.  $2^{j-1}\omega_s \leq |\omega| \leq 2^j\omega_s$  frekanslarına karşılık gelen S(t) sinyalinin bilgisini içerir.

$\{\psi_{j,k}(t)\}$ ,  $L^2(\mathbb{R})$  için ortonormal bir temel olduğundan, enerji kavramı Fourier teorisinden türetilmiştir. Dalgacık katsayıları  $C_j(k) = \langle S, \psi_{j,k} \rangle$  ile verilir. Ayrıştırma sinyalinin enerjisi ve her k örneklemeindeki enerji,

$$E(k) = \sum_{j=-N}^{-1} |C_j(k)|^2 \quad (11)$$

ile verilir. Sonuç olarak, toplam enerji şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{tot} = \|S\|^2 = \sum_{j<0} \sum_k |C_j(k)|^2 = \sum_{j<0} E_j \quad (12)$$

Göreceli dalgacık enerjisine karşılık gelen normalize değerler,

$$\rho_j = \frac{E_j}{E_{tot}} \quad (13)$$

$j = -1, -2, \dots, -N$  için çözünürlük seviyesi enerjinin farklı ölçeklerde olasılık dağılımını tanımlar. Sonuç olarak,  $\sum_j \rho_j = 1$  ve olasılık enerji dalgacık dağılımı  $P \equiv \{\rho_j\}$  hem zaman hem de frekans düzlemlerinde belirli fenomenleri saptamak ve karakterize etmek için uygun bir araç oluşturan bir zaman ölçeği olasılık yoğunluğu olarak kabul edilir.

Shannon entropisi (Shannon, 1948), olasılık dağılımını analiz etmek ve karşılaştırmak için etkili bir yöntemdir ve ayrıca herhangi bir dağılım bilgisinin bir ölçüsünü hesaplar. Toplam Shannon WE (Rosso ve ark., 2001) (Blanco ve ark., 1998) (Rosso ve Mairal, 2002) şu şekilde tanımlanır:

$$S_{WT}^S[P] = - \sum_{j < 0} \rho_j \cdot \ln [\rho_j] \quad (14)$$

Sinyalin düzen-düzensizlik ölçüsü ve sinyalin temel dinamikleri hakkında bilgi veren WE'dir. Çok düzenli bir sistemde, sinyal büyük ölçüde tek bir benzersiz dalgacık çözünürlük seviyesinde çözülecektir, yani, temsili sinyal frekansını içeren dalgacık çözünürlük seviyesi dışında tüm göreceli dalgacık enerjileri sıfıra çok yakın olacaktır. Bu durumda WE sıfıra yakın veya çok düşük bir değerde olacaktır. Düzensiz bir sistemde sinyal, tüm frekans bantlarının bir dalgacık temsiline sahip olacaktır. Sonuç olarak, bağlı dalgacık enerjisi tüm çözünürlük seviyeleri için hemen hemen eşit olacak ve WE maksimum değerlerde olacaktır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

$F(t)$  ve  $G(t)$  için WE, denklem (6a) ve (6b)'de  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1, 1.2, 0.7$  gerçek parametresi için, sırası ile  $[-2, 2]$ ,  $[-2, 2]$ ,  $[-4, 4]$  aralığında 0.01 adım boyutu ile değişen başlangıç koşuluyla hesaplanır. 0'dan 1000'e  $t = 1$  adım boyutu kullanılarak ve önceki bölümdeki denklemler sırayla hesaplanarak, (6a) ve (6b) denklemlerinin sayısal çözümlerinden elde edilen  $F(t)$  ve  $G(t)$  zaman serileri olan  $f(n)$  ve  $g(n)$  sinyalleri üretilir.

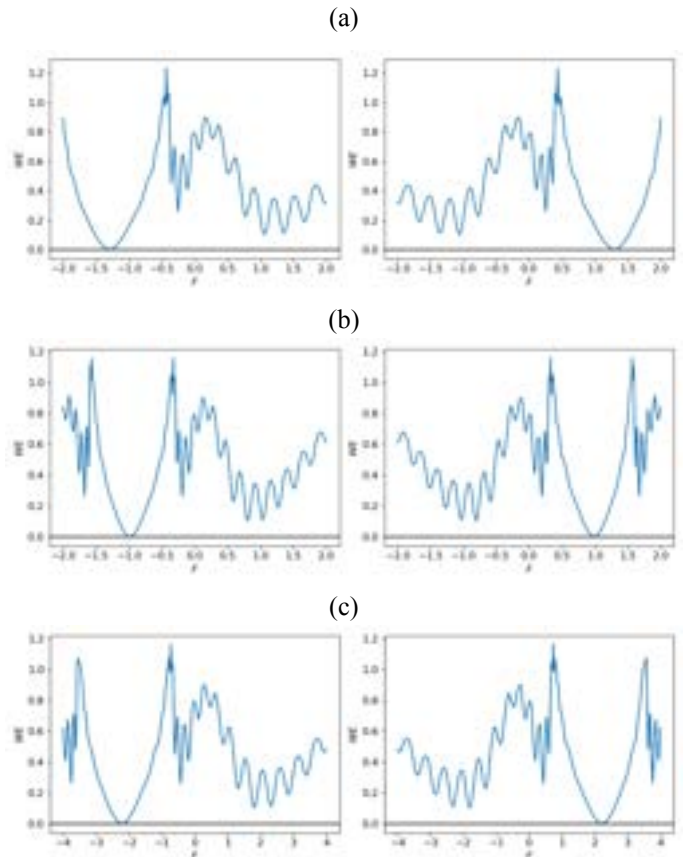
#### 3.1. Spinör tipi instanton çözümlerinin dalgacık entropisi spektrumları

Bu bölümde, spinör tipi instanton çözümlerinin başlangıç koşullarına göre farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değerlerinde WE spektrumu verilmiştir. Şekil 2 (a)'da,  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$  için  $(F, G) = \left(-\frac{3\sqrt{3}}{4}, -\frac{3\sqrt{3}}{4}\right) = \left(\frac{3\sqrt{3}}{4}, \frac{3\sqrt{3}}{4}\right)$  kararlı noktaldır ve  $(F, G) = (0, 0)$  çatallanma noktasıdır. Bu değerler spinör tipi instanton çözümlerine karşılık gelir (Aydogmus ve ark., 2013). Şekil 2 (b)'deki  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  ve Şekil 2 (c)'deki  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  değerleri, spinör tipi instanton çözümlerinin gerçek parametre  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değerlerine göre değişimini görmek için rastgele seçilir. Bir önceki çalışmada (Aydogmus ve ark.,

2013) yapılan stabilite analizine göre,  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  için  $(F, G) = \left(-\frac{5\sqrt{\frac{5}{2}}}{8}, -\frac{5\sqrt{\frac{5}{2}}}{8}\right) = \left(\frac{5\sqrt{\frac{5}{2}}}{8}, \frac{5\sqrt{\frac{5}{2}}}{8}\right)$  ve  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  için  $(F, G) = \left(-\frac{15\sqrt{\frac{15}{14}}}{7}, -\frac{15\sqrt{\frac{15}{14}}}{7}\right) = \left(\frac{15\sqrt{\frac{15}{14}}}{7}, \frac{15\sqrt{\frac{15}{14}}}{7}\right)$  kararlı noktaldır ve  $(F, G) = (0, 0)$  çatallanma noktasıdır.

Şekil 2 (a),  $G = -1.3$  değeri sabit tutularak  $F = -1.3$ 'te ve  $G = 1.3$  değeri sabit tutularak  $F = 1.3$ 'te WE sıfırdır ve periyodik yörüngeler olarak yorumlanabilir ve periyodik olmayan yörüngeler olan diğer noktalarda WE sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Benzer şekilde Şekil 2 (b), (c)'deki  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  ve  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  değerleri için kararlı nokta etrafında periyodik, diğer noktalarda ise periyodik olmayan yörüngelere sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir. Şekil 2 (a)'da  $F = \{-2, -0.5\}$  ve  $F = \{0.5, 2\}$  değerleri civarında, Şekil 2 (b)'de  $F = \{-1.5, -0.4\}$  ve  $F = \{0.4, 1.5\}$  değerleri civarında ve Şekil 2 (c)'de,  $F = \{-3.5, -1\}$  ve  $F = \{1, 3.5\}$  değerleri civarında WE en büyük değerlere sahiptir.

Şekil 2 incelendiğinde,  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  parametresinin değeri arttıkça kararlı noktaların değeri azalmakta,  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  parametresinin değeri azaldığında ise kararlı noktaların değeri artmaktadır. Spinör tipi instanton çözümlerinin WE spektrumuna göre, gerçek parametre  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değişse bile yörüngelerin özelliklerinin değişmediği ve yörüngelerin benzer özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir.



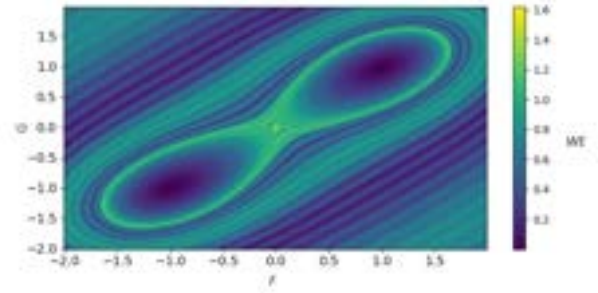
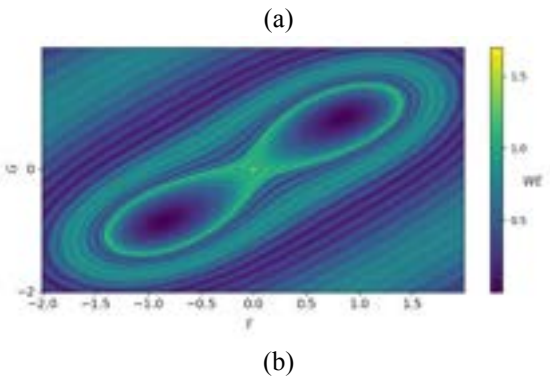
Şekil 2. (a)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  ve (c)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  için değişen  $F$  değerlerine göre spinör tipi instanton çözümlerinin WE spektrumu. (Figure 2. WE spectrum of spinor type instanton solutions with varying  $F$  values for (a)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  and (c)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$ )

### 3.2. Spinör tipi instanton çözümlerinin faz uzayında dalgacık entropisi

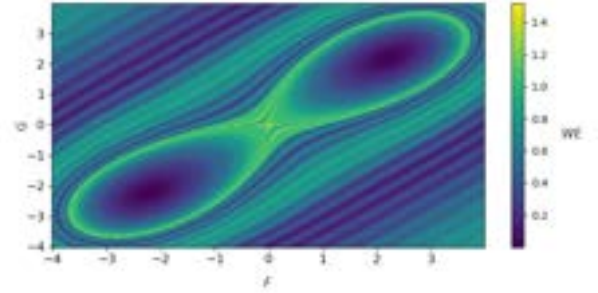
Bu bölümde, farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değerleri için değişen başlangıç koşullarına göre spinör tipi instanton çözümlerinin değişimini daha iyi görmek için WE konturu çizilmektedir. Farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  değerleri için değişen  $F(t)$  ve  $G(t)$  değerlerine göre faz uzayının büyük bir alanını kapsayan renk grafiği incelenmiştir.

Şekil 3 (a)'da  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)'de  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  ve (c)'de  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  için çatallanma noktası  $(F, G) = (0, 0)$ , kararlı noktalar yaklaşık olarak sırası ile  $(F, G) = (-1.3, -1.3) = (1.3, 1.3)$ ,  $(-1, -1) = (1, 1)$  ve  $(-2.1, -2.1) = (2.1, 2.1)$  periyodik yörüngeler koyu renktedir. Periyodik olmayan yörüngeler açık renktedir. Çatallanma yörüngesindeki WE'nin en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca periyodik yörüngeler ve kararlı noktalar çevresinde dalgacık entropi değerinin 0 olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3'teki kontur grafiklerinden de görüleceği gibi, spinör tipi instanton çözümlerinde farklı  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}}$  parametreleri için başlangıç koşulları dikkate alındığında önemli bir değişiklik görülmemektedir.

Şekil 3'e bakıldığında, WE'nin spinör tipi instanton çözümlerinin faz uzayında temsili ile periyodik ve periyodik olmayan durumlar arasındaki ayırım daha net hale gelmektedir. Genel olarak, spinör tipi instanton çözümlerinin kararlı noktalar etrafında periyodik yörüngelere sahip olduğu sonucuna varılabilir. Periyodik yörünge ile çatallanma yörüngesi arasında WE değerlerinin arttığı görülmektedir. WE değerleri çatallanma yörüngesinde en yüksek düzensizliğe ulaşmakta olup bu yörünge dışındaki yörüngelerde daha düşük değerlerdedir.



(c)



Şekil 3. (a)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  ve (c)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$  için spinör tipi instanton çözümlerinin faz uzayında WE'si.

(Figure 3. WE in phase space of spinor-type instanton solutions for (a)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  and (c)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$ )

(Figure 3. WE in phase space of spinor-type instanton solutions for (a)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1$ , (b)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 1.2$  and (c)  $\alpha(AB)^{\frac{1}{3}} = 0.7$ )

### 4. Sonuç

Gürsey modelinde Heisenberg anızatı kullanılarak elde edilen spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngelerinin düzensizlik durumları araştırılmıştır. Spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngelerinin düzensizlik durumlarını incelemek için WE spektrumu ve WE'nin kontur grafiği analiz edilmiştir. Bir önceki çalışmada (Aydogmus ve ark., 2013) analitik olarak belirlenen spinör tipi instanton çözümlerinin kararlı noktaları WE yöntemi ile doğru bir şekilde belirlenebilir. Kararlı nokta etrafında periyodik yörüngeler ve kararlı noktadan uzakta periyodik olmayan yörüngeler olduğu görülmektedir. Ayrıca WE, çatallanma yörüngesindeki en yüksek düzensizliğe ulaştıktan sonra artmaya ve azalmaya devam etmektedir. Sonuç olarak faz uzayında WE yöntemi sayesinde lineer olmayan bir denklem sistemi olan spinör tipi instanton çözümlerinin yörüngelerinin periyodikliği hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür.

Bu çalışmanın sonucunda, WE'leri faz uzayında ele almak, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin yörüngelerinin periyodikliği hakkında bize hızlı ve doğru bir sonuç verebilir. Diğer entropi yöntemlerinin (Pincus, 1991) (Richman ve Moorman, 2000) (Bandt ve Pompe, 2002) (Costa ve ark., 2002) (Truebner ve ark., 2006) (Chen ve ark., 2007) (Baumert ve ark., 2012) (Riedl ve ark., 2013) (Li ve ark., 2015) faz uzayında WE'leri incelenebilir ve lineer olmayan sistemlerin yörüngelerinin periyodik veya periyodik olmayan doğası hakkında daha ayrıntılı bilgi elde edilebilir.

### 5. Teşekkür

Bu makaleyi hazırlarken verdiği destek için değerli hocam Prof. Dr. K.Gediz AKDENİZ'e teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Ak, M. (2022). 4 Boyutlu Fermiyonik Modelde Kaosun Genelleştirilmiş Hizalama İndeksi Yöntemiyle İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 726-734.
- Akdeniz, K. G. (1982). On classical solutions of Gurssey's conformal-invariant spinor model. *Lettere al Nuovo Cimento*, 33(2), 40-44.
- Akdeniz, K. G., Arik, M., Durgut, M., Hortaçsu, M., Kaptanoğlu, S., & Pak, N. K. (1982). The quantization of the Gürsey model. *Physics Letters B*, 116(1), 34-36.
- Aldroubi, A., Unser, M. (1996). *Wavelets in Medicine and Biology*. Boca Raton: CRC Press.
- Aydogmus, F., Canbaz, B., Onem, C., Akdeniz, K. G. (2013). The behaviours of Gurssey instantons in phase space. *Acta Physica Polonica B*, 44(9), 1837-1845.
- Bandt, C., Pompe, B. (2002). Permutation entropy: a natural complexity measure for time series. *Physical Review Letters*, 88(17), 174102.
- Baumert, M., Javorka, M., Seeck, A., Faber, R., Sanders, P., Voss, A. (2012). Multiscale entropy and detrended fluctuation analysis of QT interval and heart rate variability during normal pregnancy. *Comput Biol Med*, 42(3), 347-352.
- Blanco, S., Figliola, A., Quian-Quiroga R., Rosso, O. A., Serrano, E. (1998). Time-frequency analysis of electroencephalogram series (III): wavelet packets and information cost function. *Physical Review E*, 57, 932-940.
- Boltzmann, L. (1871). Einige allgemeine Satze über Warmegleichgewicht unter Gas-molekullen, *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien*, 63, 679-711.
- Brin, M., Stuck, G. (2015). *Introduction to Dynamical Systems*. Illustrated edition, Cambridge University Press.
- Camarena-Martinez, D., Valtierra-Rodriguez, M., Amezquita-Sanchez, J. P., Granados-Lieberman, D., Romero-Troncoso, R. J., Garcia-Perez, A. (2016). Shannon Entropy and K-Means Method for Automatic Diagnosis of Broken Rotor Bars in Induction Motors Using Vibration Signals. *Shock and Vibration*, 2016, 1-10.
- Canbaz, B., Onem, C., Aydogmus, F., Akdeniz, K. G. (2012). From Heisenberg ansatz to attractor of Thirring Instanton. *Chaos, Solitons & Fractals*, 45(2), 188-191.
- Chen, W., Wang, Z., Xie, H., Yu, W. (2007). Characterization of Surface EMG Signal Based on Fuzzy Entropy. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 15(2), 266-272.
- Clausius, R. (1850). On the motive power of heat & on the laws which may be deduced from it for the theory of heat. *Annalen der Physik*, 79, 368-500.
- Costa, M., Goldberger, A. L., Peng, C.-K. (2002). Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series. *Physical Review Letters*, 89(6), 068102.
- Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia: SIAM.
- Dunajski, M. (2010). *Solitons, Instantons, and Twistors*. Illustrated edition, Oxford University Press.
- Gurssey, F. (1956). On a conform-invariant spinor wave equation. *Il Nuovo Cimento*, 3(5), 988-1006.
- Heisenberg, W. (1954). Zur quantentheorie nichtrenormierbarer wellengleichungen. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 9, 292-303.
- Hortacsu, M., Lutfuoglu, B. C., & Taskin, F. (2007). Gauged system mimicking the Gürsey model. *Modern Physics Letters A*, 22, 2521-2532.
- Hortacsu, M., Lutfuoglu, B. C. (2007). Renormalization group analysis of a Gurssey model inspired field theory. *Physical Review D*, 76, 025013.
- Huang, W., Luo, G., Cheng, M., He, J., Liu, Z., Zhao, Y. (2021). Protection Method Based on Wavelet Entropy for MMC-HVDC Overhead Transmission Lines. *Energies*, 14(3), 678.
- Kortel, F. (1956). On some solutions of Gurssey's conformal-invariant spinor wave equation. *Il Nuovo Cimento*, 4, 210-215.
- Li, P., Liu, C., Li, K., Zheng, D., Liu, C., Hou, Y. (2015). Assessing the complexity of short-term heartbeat interval series by distribution entropy. *Med Biol Eng Comput*, 53(1), 77-87.
- Mallat, S. (1999). *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Second edition, San Diego: Academic Press.
- Nicolis, O., Mateu, J., Contreras-Reyes J. E. (2020). Wavelet-Based Entropy Measures to Characterize Two-Dimensional Fractional Brownian Fields. *Entropy*, 22(2), 196.
- Pan, S., Han, T., Tan, A. C., Lin, T. R. (2016). Fault diagnosis system of induction motors based on multiscale entropy and support vector machine with mutual information algorithm. *Shock and Vibration*, 2016, 1-12.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 88(6), 2297-2301.
- Rajaraman, R. (1987). *Solitons and Instantons: An Introduction to Solitons and Instantons in Quantum Field Theory*. 1st edition, North Holland.
- Richman, J. S., Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample Entropy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 278(6), H2039-H2049.
- Riedl, M., Müller, A., Wessel, N. (2013). Practical considerations of permutation entropy: A tutorial review. *The European Physical Journal Special Topics*, 222, 249-262.
- Rosso, O. A., Blanco, S., Yordanova, J., Kolev, V., Figliola, A., Schürmann, M., Başar, E. (2001). Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals. *Journal of Neuroscience Methods*, 105(1), 65-75.
- Rosso, O. A., Mairal, M. L. (2002). Characterization of time dynamical evolution of electroencephalographic records. *Physica A*, 312, 469-504.
- Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Truebner, S., Cygankiewicz, I., Schroeder, R., Baumert, M., Vallverdu, M., Caminal, P., Vazquez, R., Luna, A. B., Voss, A. (2006). Compression entropy contributes to risk stratification in patients with cardiomyopathy. *Biomed Tech (Berl)*, 51(2), 77-82.
- Wehrl, A. (1978). General properties of entropy. *Reviews of Modern Physics*, 50, 221-260.
- Zhang, H., Jiang, W., Deng, X. (2021). A New Method to Measure the Information Quality Based on Shannon Entropy. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46, 3691-3700.



# Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Biyogaz Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılması ve Etkileri

Rahman Çalhan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3894-8468), [rahmancalhan@karabuk.edu.tr](mailto:rahmancalhan@karabuk.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 09 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1038595)

**ATIF/REFERENCE:** Çalhan, R. (2022). Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Biyogaz Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılması ve Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 335-340.

## Öz

Anaerobik parçalanma prosesi organik atıkların mikroorganizmalar tarafından CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi gazlara dönüştürüldüğü biyolojik bir süreçtir. Anaerobik sistemde katkı maddeleri kullanılması, mikrobiyal toplulukların anaerobik ortamlarını iyileştirmek, mikroorganizmaların aktivitesini artırmak ve daha fazla biyogaz üretimi sağlamak için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada elektrik ark ocağı cürufunun (EAOC) anaerobik sistemde katkı maddesi olarak kullanılmasının biyogaz ve metan üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. EAOC hurda demirden, demir çelik üretimi gerçekleştirilen bir firmadan temin edilmiş ve anaerobik sisteme belirli oranlarda (%1-5) eklenmiştir. Deneyler mezofilik şartlarda (36±1 °C), 30 günlük hidrolik bekleme sürelerinde (HBS) gerçekleştirilmiştir. 30 günlük bekleme süresi sonunda en yüksek kümülatif biyogaz üretimi 6021,90 mL ile %5 EAOC eklenen R9'da elde edilmiş ve en yüksek biyogaz verimi 219,8 mL.gVS<sup>-1</sup> ile %4 EAOC eklenen R7'de elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik Parçalanma, Biyogaz, Elektrik Ark Ocağı, Cüruf, Katkı Maddesi

## Use of Electric Arc Furnace Slag as an Additive in Biogas Production and Its Effects

### Abstract

Anaerobic digestion (AD) is a biological process in which organic wastes are converted into gases such as CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>S by microorganisms. In AD, using additives is a widespread approach to improve the anaerobic environment of microbial communities, increase microorganisms' activity, and provide more biogas production. This study investigates the effects of adding the electric arc furnace slag (EAFS) as an additive to the AD system on biogas and methane production. EAFS was obtained from a company that produces iron and steel from scrap iron and added to the AD system at specific concentrations (1-5%). Experiments were carried out in mesophilic conditions (36±1 °C) during a 30-day hydraulic retention time (HRT). As a result of batch experiments, at the end of the 30-day HRT, the highest cumulative biogas production was obtained in R9 with 6021.90 mL and 5% EAFS added, and the highest biogas efficiency was obtained in R7 with 219.8 mL.gVS<sup>-1</sup> and 4% EAFS added. Furthermore, it was determined that the addition of EAFS to the AD system increased methane yield.

**Keywords:** Anaerobic Digestion, Biogas, Electric Arc Furnace, Slag, Additive

\* Sorumlu Yazar: [rahmancalhan@karabuk.edu.tr](mailto:rahmancalhan@karabuk.edu.tr)

## Kısaltmalar

AD	Anaerobic digestion
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
BG	Büyük baş hayvan gübresi
C	Karbon
CaO	Kalsiyum oksit
CH <sub>4</sub>	Metan
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
EAFS	Electric arc furnace slag
EAO	Elektrik ark ocağı
EAO C	Elektrik ark ocağı cürufu
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir (III) oksit
H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür
HBS	Hidrolik bekleme süresi

## 1. Giriş

Enerji, günümüzde ülkelerin dış politikalarına yön vermekte kullandıkları en önemli araçlardan bir tanesidir (Ceylan 2021). Fosil enerji kaynaklarının giderek daha fazla kullanılması ve petrol fiyatlarının sürekli olarak dalgalanması ülkeler için enerji güvenliği ve enerjide dışa bağımlılık problemlerini ortaya çıkarırken hava kirliliği iklim değişikliği gibi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir (Bilhan & Emikönel, 2021; Jung, Kim, & Lee, 2016). Son yıllarda küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarının azaltılması en önemli çevresel problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle hem ulusal hem de uluslararası ölçekte acil önlemler alınması gerekmektedir. Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olması ve önemli çevresel problemlerin asıl sorumlusu olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır (Abdeshahian, Lim, Ho, Hashim, & Lee, 2016; Noorollahi, Kheirrouz, Farabi-Asl, Yousefi, & Hajinezhad, 2015). Çevreye duyarlı, ekonomik, yerel ve çeşitli kaynaklardan enerji üretimine imkân sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar ve sürekli olarak gelişen teknoloji, içerisinde atıkların da bulunduğu birçok maddenin, enerji üretiminde kullanılabilmesine olanak tanımaktadır (Nandi, Saha, Huda, & Alam, 2017).

CH<sub>4</sub>, küresel ısınmaya neden olan sera gazları arasında en zararlı olan gazlardan bir tanesidir. CH<sub>4</sub>, doğal ortamlarda (sulak alanlar, bataklıklar, vahşi hayvanlar vb.) kendiliğinden ortaya çıkabildiği gibi antropojenik faaliyetler (hayvan çiftlikleri, çöp depolama sahaları, kömür işletmeleri vb.) sonucunda da ortaya çıkabilmektedir (Arif, Liaquat, & Adil, 2018). Yapılan çalışmalarda dünya üzerindeki CH<sub>4</sub>'ün yaklaşık olarak %50'si antropojenik faaliyetler sonucunda ortaya çıkmaktadır (Nevzorova & Kutcherov, 2019). Antropojenik faaliyetler sonucunda ortaya çıkan CH<sub>4</sub>, kontrollü koşullar altında üretilerek biyogaza dönüştürülebilmekte ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu nedenle farklı tür biyokütellerin özellikle atıkların biyogaz üretiminde kullanılması giderek popüler hale gelmektedir (Nandi et al., 2017).

Anaerobik parçalanma, organik maddelerin oksijensiz ortamda anaerobik mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> gibi son ürünlere dönüştürüldüğü prostestir (Abudi et al., 2016; Divya, Gopinath, & Merlin Christy, 2015; Mata-Alvarez et al., 2014). Anaerobik parçalanma prosesi sonucunda ortaya çıkan gaz karışımı biyogaz olarak adlandırılmakta ve çöpler, gübreler ve tarımsal atıklar gibi organik içeriği yüksek maddelerden üretilen için

yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Zenk, 2019). Anaerobik parçalanma atık miktarının azaltılması, toprak ve yeraltı suyu kirliliğinin önlenmesi, koku kirliliğinin önlenmesi ve sera gazı emisyonunun azaltılması gibi birçok çevresel fayda sağlar. Ayrıca oksijenlenmiş enerji üretimi ile kaynak kullanımının azaltılması da katkıda bulunmaktadır (Aboudi, Alvaro-Gallego, Laguerre-Garcia 2016; Esposito et al. 2012). Bunun yanı sıra, bu süreçte ortaya çıkan yüksek kalitede gübre, fosfor, potasyum ve kimyasal gübre kullanımını azaltmaktadır (Divya et al., 2015; Lisboa & Sidiq, 2013). Biyogaz üretiminin ekonomik ve sürdürülebilir toplumsal yapıya dönüştürülebilmesi için işletme modellerinin geliştirilmesi ve kullanılan hammadde başına üretilen biyogaz miktarının artırılması gerekmektedir (Kaparaju, Ellegård, & Angelidaki 2009). Bu amaçla biyogaz üretiminde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda anaerobik parçalanma prosesine çeşitli katkı maddeleri eklenerek biyogaz üretim veriminin artırılması giderek popüler hale gelmektedir. Anaerobik parçalanma prosesine eklenen katkı maddeleri arasında nanopartiküller (Kaskun, Çalhan, & Akinay, 2021; Suanon et al., 2017), aktif karbonlar (Lee, Lee, & Park, 2016), demir bazlı katkı maddeleri (Kato, Hashimoto, & Watanabe, 2012), enzimler (Tashiro et al., 2013), pH düzenleyiciler (Zhang, Zhang, Zhang, Shi, & Cai, 2005), iz mineraller ve besin maddeleri (Nges & Björnsson, 2012) gibi farklı türden maddeler bulunmaktadır. Kullanılan katkı maddelerinden bazıları mikroorganizmaların anaerobik yaşam şartlarının iyileşmesini sağlarken bazı katkı maddeleri ise mikroorganizmalar arası etkileşimlerin iyileşmesini ve biyogaz veriminin artmasını sağlamaktadır.

Demir-çelik üretiminde, cevherden demir üretiminin gerçekleştirildiği bazik oksijen fırını (BOF) ve hurda malzemelerden demir üretiminin gerçekleştirildiği elektrik ark ocağı (EAO) prosesleri kullanılmaktadır. Türkiye'de demir çelik üretiminde %69 oranında EAO prosesi kullanılmaktadır (World Steel Association, 2019). Demir-çelik üretim prosesinde oldukça fazla miktarda enerji ve hammadde kullanılırken üretim sonrasında cürufun da içinde bulunduğu fazla miktarda atık ortaya çıkmaktadır. Çelik cürufu, ergitme ve oksitleme proseslerinde, demir oksitlerin ve diğer safsızlıkların giderilmesi sonrasında ortaya çıkar ve proses sonunda çelikten ayrılarak uzaklaştırılır (Santamaria et al., 2018). EAO prosesi sonucunda da oldukça fazla miktarda cüruf, atık olarak ortaya çıkmakta ve bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bertaraf edilmeyen cüruflar, cüruf depolama sahalarında biriktirilerek cüruf dağlarının oluşmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan cürufun yeniden kullanım imkanlarının araştırılması ve farklı şekillerde değerlendirilerek çevreye verilen zararın en aza indirilmesi ve sürdürülebilir üretime katkı sağlanması oldukça önemlidir (Monosi, Ruello, & Sani 2016).

Cüruf içerisinde barındırdığı farklı bileşikler ile biyogaz üretimine katkı sağlayabilecek bir potansiyele sahiptir. Ayrıca oldukça yüksek gözenekliliğe ve geniş bir yüzey alanına sahip olan cüruf, mikroorganizmalar için gerekli olan tutunma yüzeyini de sağlayabilmektedir. Ancak literatürde, cürufun biyogaz üretiminde kullanılması üzeri yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmada EAO prosesi sonucunda ortaya çıkan cüruflar, anaerobik parçalanma prosesinde katkı maddesi olarak kullanılmış ve 30 günlük bekleme süresinde, biyogaz üretimi ve metan verimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Gerçekleştirilen çalışmada bütün deneyler, 1000 mL toplam hacime sahip cam reaktörlerde, 600 mL'lik çalışma hacimlerinde, üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bütün reaktörlerde sızdırmazlığı sağlayabilmek için pnömatik bağlantı ekipmanları kullanılmıştır. Anaerobik parçalanma prosesinin gerçekleşebilmesi için gerekli olan reaktör sıcaklıklarını sağlayabilmek için termostat ayarlı su banyosu kullanılmış ve bütün deneyler mezofilik şartlarda (36±1 °C) gerçekleştirilmiştir. Günlük üretilen biyogaz miktarları su yer değiştirme prensibine göre ölçülmüştür. Üretilen biyogazın bileşimi ise portatif biyogaz analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Bütün deneysel çalışmalarda büyükbaş hayvan gübresi (BG) ana substrat olarak, EAOC ise katkı maddesi olarak kullanılmıştır. BG yerel olarak faaliyet gösteren bir kesimhane tesisinden taze olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır. Kullanılan BG'nin karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir. EAOC ise EAOC prosesi ile demir-çelik üretimi gerçekleştiren yerel bir işletmeden temin edilmiş ve kullanılmadan önce 2-5 mm partikül boyutuna küçültülerek 103-105 °C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Deneylerde, Karabük Üniversitesi, Çevre Mühendisliği laboratuvarında bulunan 40 litre hacimli, anaerobik reaktörden alınan aşı kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan büyükbaş hayvan gübresinin karakterizasyonu (Table 1. Characterization of used cattle manure)

	BG
C (%)	41,62
N (%)	5,92
Toplam katı madde, TKM (%)	27,65
Uçucu katı madde, UKM (%)	90,13
Uçucu yağ asidi, UYA (mg.L <sup>-1</sup> )	49 200
Toplam azot, TN (mg.L <sup>-1</sup> )	11 600
Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ (mg.L <sup>-1</sup> )	51 270

Tablo 2'de deneylerde kullanılan karışım oranları verilmiştir. Bütün reaktörlere 140 BG ve 100 mL aşı eklenmiş ve daha sonra %1-5 oranlarında EAOC eklenmiştir. Reaktörlere eklenecek olan EAOC miktarları ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Son olarak çeşme suyu kullanılarak bütün reaktörlerdeki katı madde oranı %7 olacak şekilde ayarlanmıştır. Sonuçları karşılaştırabilmek amacıyla bir deney seti sadece 140 g BG ve 100 mL aşı ile beslenmiş ve çeşme suyu ile katı madde oranı %7 olarak ayarlanmıştır. Bütün reaktörler mezofilik şartlarda, 30 günlük HBS ile işletilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan reaktörlerin bileşimleri (Table 2. The compositions of the reactors used in the experiments)

Reaktör	BG (g)	EAOC (%)
R1	140	1
R2	140	1,5
R3	140	2
R4	140	2,5
R5	140	3
R6	140	3,5
R7	140	4
R8	140	4,5
R9	140	5
Kontrol	140	0

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. EAOC Karakterizasyonu

EAOC'nin kimyasal bileşimi, üretimde kullanılan hurdaların kalitesine, bileşimine ve hurdaların ergitildiği EAOC'nin işletme şartlarına göre değişmektedir (Nikolić et al., 2016). EAOC bileşiminde genellikle ağırlıklı olarak Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunurken bunların yanında az miktarda MnO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve K<sub>2</sub>O bulunabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan EAOC'nin kimyasal bileşimi Tablo 3'te verilmiştir. EAOC içerisinde %34,79 ile en fazla bulunan bileşik CaO olurken bunu sırasıyla %22,11, %17,47 ve %9,71 ile Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takip etmiştir.

Cürufun bazisite indeksi denklem (1)'de gösterilen formülasyon ile hesaplanmıştır. Cürufun bazisite indeksi, cüruf içerisindeki bazik oksitlerin, sıvı içerisindeki sızma mekanizmalarını ne sızıntı suyunun pH'ını doğrudan etkileyen en önemli parametredir. Yüksek bazisite indeksi, pH'ın yükselmesine ve sızıntı suyunda yüksek alkaliniteye neden olmaktadır (Bankole, Rezan, & Sharif, 2014). Deneylerde kullanılan EAOC'nin, denklem (1)'e göre hesaplanan bazisite indeksi, 1,63 olarak hesaplanmış olup (>1,2) bazik olarak değerlendirilmektedir.

$$Mb = \frac{(CaO+MgO)}{(SiO_2+Al_2O_3)} \quad (1)$$

Tablo 3. EAOC'nin kimyasal bileşimi (Table 3. Chemical composition of EAOC)

Bileşen	Kompozisyon (%)
SiO <sub>2</sub>	14,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,11
MnO	4,97
CaO	34,79
MgO	5,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,80
S	0,29
K <sub>2</sub> O	0,04
Diğer	7,44

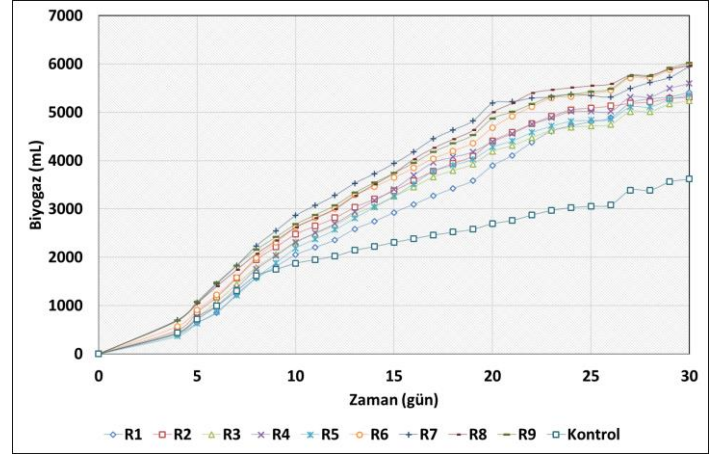
### 3.2. Hidroliz Aşaması ve Günlük Biyogaz Üretimi

Şekil 1'de reaktörlerde elde edilen günlük biyogaz üretim sonuçları gösterilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi 30 günlük HBS boyunca biyogaz üretiminde bazı pik değerler elde edilmiş olup bu piklerden ilki 4. günde gerçekleşmiş ve 1 numaralı çizgi ile gösterilmiştir. Biyogaz üretiminin ilk basamağı yüksek yapılı bileşiklerin daha küçük yapılı monomerlerine parçalandığı hidroliz aşamasıdır ve biyolojik olarak kolay parçalanabilen organik maddeler bu aşamada hızlı bir şekilde parçalanmaktadır. Kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında, EAOC eklenen bütün reaktörlerde hidroliz aşamasında daha fazla biyogaz üretimi gerçekleştirildiği görülmektedir. Düşük oranlarda EAOC eklenen reaktörlerde (%1-3) hidroliz basamağında daha düşük



biyogaz üretimi elde edilirken daha yüksek oranlarda (%3,5-5) EAOC eklenen reaktörlerde daha yüksek biyogaz üretimi elde edilmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 632,2 mL ile R8'de gerçekleşirken bunu sırasıyla R7, R9 ve R6 585,1 mL, 561,5 mL ve 471,2 mL ile takip etmiştir. Hidroliz aşamasında kontrol reaktöründe biyogaz üretimi ise 412,3 mL olarak gerçekleşmiştir. Hidroliz basamağında henüz metan üretimi tam olarak gerçekleşmediği için üretilen biyogaz içerisindeki metan oranları oldukça düşük tespit edilmiştir. 16. günde ise 30 günlük HBS boyunca elde edilen en yüksek pik değeri elde edilmiştir. Bu durum reaktör içerisindeki tüm mikroorganizma grupları için uygun ortam şartlarının 9-16. günler arasında sağlandığını göstermektedir. 16. günde en yüksek günlük biyogaz üretimi %4,5 oranında EAOC eklenen R8'de 742,2 mL ile elde edilirken bunu 706,8 mL ile R7 ve 644 mL ile R6 izlemiştir. En yüksek EAOC oranına sahip olan R9'da ise 632,2 mL biyogaz üretimi gözlenmiştir. Daha düşük oranlarda EAOC eklenen R1, R2, R3, R4 ve R5'te ise günlük biyogaz üretimi daha az gerçekleşirken, EAOC eklenen tüm reaktörlerde kontrol reaktörüne göre daha fazla biyogaz üretimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu durum EAOC eklenmesinin biyogaz üretimine katkı sağladığını göstermektedir. %4,5'e kadar yüksek konsantrasyonda EAOC eklenen reaktörlerdeki günlük biyogaz üretiminin daha fazla olması, cüruf içerisindeki bileşenlerin daha hızlı bir şekilde sıvı ortamına geçerek mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirdiğini göstermektedir. 21. günde 30 günlük HBS'deki son pik değeri elde edilmiş olup en yüksek günlük biyogaz üretimi R1'de 592,9 mL ile gerçekleşmiştir. Bunu 384,8 mL ile R2 ve 298,4 mL ile R4 takip etmiştir. Bu durum daha düşük konsantrasyonlarda eklenen EAOC'nin sıvı ortamına geçişi için daha fazla süre gerektiğini göstermektedir.

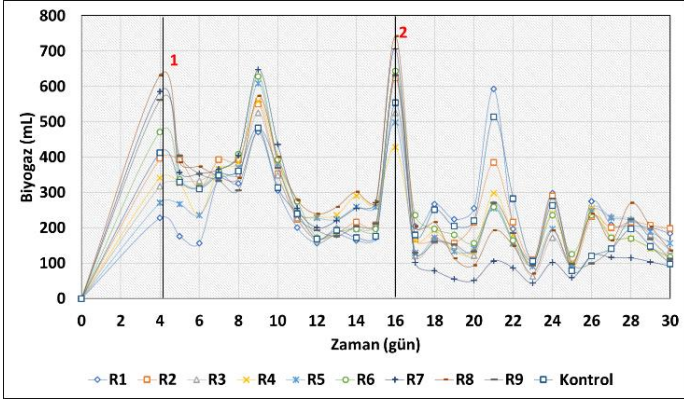
göre artan EAOC oranlarında kümülatif biyogaz üretim miktarının arttığı ve EAOC eklenen reaktörlerde, kontrol reaktörüne göre %30,8-%39,8 oranlarında artış elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kümülatif biyogaz üretim miktarları (Figure 2. Cumulative biogas productions)

Şekil 3 reaktörlerin kümülatif biyogaz üretimleri ile biyogaz verimlerini karşılaştırmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde artan EAOC oranlarında biyogaz veriminin arttığı ancak %3,5'ten daha fazla EAOC eklenmesinin hem kümülatif biyogaz üretimini hem de biyogaz verimini çok fazla değiştirmedii görülmektedir. En yüksek biyogaz verimine 219,8 mL.gVS<sup>-1</sup> ile R9'da ulaşılmıştır. Bunu 218,36 mL.gVS<sup>-1</sup> ile R6, 217,79 mL.gVS<sup>-1</sup> ile R8 ve 217,24 mL.gVS<sup>-1</sup> ile R7 izlerken kontrol reaktörünün biyogaz verimi 132,22 mL.gVS<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir.

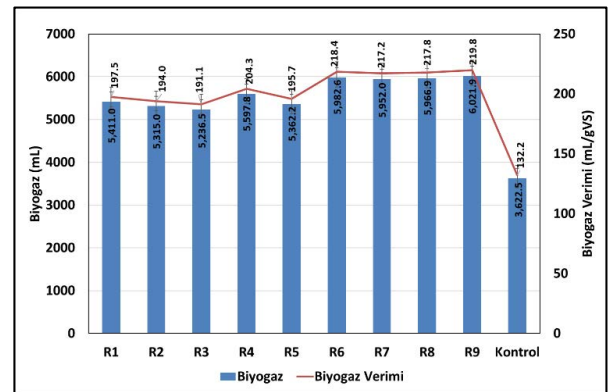
Demir oksitlerin anaerobik sistemde mikroorganizmalar ve uzak elektron alıcıları arasında elektriksel olarak iletken bir ağ yapısı oluşturduğu ve elektron transferini hızlandırdığı tespit edilmiştir (Chen, Steele, & Stuckey, 2018). Anaerobik sisteme dışarıdan eklenen demir oksitlerin mikroorganizmalar arasındaki elektron transferini iyileştirmekte ve biyogaz üretimine katkıda bulunmaktadır (Xu et al., 2019). Gadhe ve ark. anaerobik sisteme Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematit) eklenmesinin anaerobik ortam şartlarının iyileştirilmesine yardımcı olarak elektron transfer hızının artmasına katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir (Gadhe, Sonawane, & Varma, 2015). Tablo 3'ten de görülebileceği gibi EAOC bileşiminde %22,11 oranında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunmaktadır. EAOC içerisindeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün biyogaz üretimine katkı sağladığı düşünölmektedir.



Şekil 1. Günlük biyogaz üretim miktarları (Figure 1. Daily biogas productions)

### 3.3. Kümülatif Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Verimi Üzerine Etkileri

Reaktörlerin 30 günlük HBS sonucundaki kümülatif biyogaz üretim miktarları Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'den de görülebileceği gibi EAOC eklenen tüm reaktörlerde kümülatif biyogaz üretimi, kontrol reaktörüne göre daha yüksek gerçekleşmiştir. 30 günlük HBS sonucunda %3,5-5 oranlarında EAOC eklenen reaktörlerde kümülatif biyogaz üretimleri birbirlerine oldukça yakın gerçekleşmiştir. En yüksek kümülatif biyogaz üretimi %5 oranında EAOC eklenen R9'da 6021,9 mL ile elde edilmiş olup bunu 5982,6 mL ile R6, 5966,9 mL ile R8 ve 5952 mL ile R7 takip etmiştir (Tablo 3). %1-3 oranlarında EAOC eklenen reaktörlerin kümülatif biyogaz üretimleri de yine birbirlerine oldukça yakın gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlara



Şekil 3. Biyogaz verimi ile kümülatif biyogaz üretiminin karşılaştırılması (Figure 3. Comparison of biogas yield with cumulative biogas production)

### 3.4. Metan Verimi Üzerine Etkisi

Üretilen biyogazın içeriği günlük olarak ölçülmüş ve Tablo 4'te reaktörlerin ortalama metan içerikleri ve metan verimleri verilmiştir. Kontrol reaktörü de dahil olmak üzere bütün reaktörlerin metan içerikleri incelendiğinde üretilen biyogazın metan içeriğinin %60-62,8 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek metan içeriği %62,8 ile R7'de elde edilirken en düşük metan içeriği %60 ile R8'de elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar EAOC eklenmesinin metan üretimi üzerinde çok fazla etkili olmadığını göstermektedir. CaO su içerisinde çözünerek anaerobik sistemin tamponlama kapasitesini arttırabilmektedir (Canan, Calhan, & Ozkaymak, 2021). Han ve ark. yüksek CaO ve MgO içeriğine sahip olan cürufun anaerobik sistemde kullanılmasının ortam alkalinitesini arttırabildiğini belirtmişlerdir (Han, Yun, Zhang, Xu, & Wang, 2019). Tablo 3'ten de görülebileceği gibi EAOC'nin CaO ve MgO içerikleri sırasıyla %34,79 ve %5,07 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle anaerobik sisteme EAOC eklenmesinin ortam alkalinitesini arttırarak metanojenik aktiviteyi sınırlandırdığı ve bu nedenle metan üretiminin iyileştirilmesine katkı sağlanmadığı düşünülmektedir.

Reaktörlerin metan verimleri incelendiğinde kontrol reaktörünün metan verimi 80,64 mL CH<sub>4</sub>.gVS<sup>-1</sup> olarak elde edilirken en yüksek metan verimi 136,56 mL CH<sub>4</sub>.gVS<sup>-1</sup> ile R7'de elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre anaerobik sisteme %4 oranında EAOC eklenmesi kontrol reaktörüne göre metan verimini %66 oranında arttırmaktadır.

Tablo 4. Biyogaz ve metan verimleri (Table 4. Biogas and methane yields)

Reaktör	Biyogaz (mL)	Biyogaz Verimi (mL.gVS <sup>-1</sup> )	CH <sub>4</sub> (%)	CH <sub>4</sub> Verimi (mL CH <sub>4</sub> .gVS <sup>-1</sup> )
R1	5411,0±18,1	197,50±24,7	61,31±5,3	121,09±11,4
R2	5315,0±22,4	193,99±31,9	62,71±4,8	121,65±13,9
R3	5236,5±17,6	191,13±15,6	62,48±3,9	119,42±16,2
R4	5597,8±13,5	204,31±36,8	61,24±1,8	125,12±12,8
R5	5362,2±19,7	195,71±44,2	61,38±2,2	120,13±18,7
R6	5982,6±12,9	218,36±51,5	61,7±4,6	134,73±19,1
R7	5952,0±11,1	217,24±37,6	62,86±1,6	136,56±17,5
R8	5966,9±18,4	217,79±43,1	60±5,2	130,67±17,3
R9	6021,9±20,3	219,79±19,6	60,91±5,3	133,88±10,8
Kontrol	3622,5±14,3	132,22±38,2	60,99±2,7	80,64±16,4

## 4. Sonuç

Gerçekleştirilen çalışmada anaerobik sisteme EAOC eklenmesinin biyogaz üretimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar %1-5 oranlarında EAOC eklenmesinin kontrol reaktörüne göre kümülatif biyogaz üretimini arttırdığını göstermiştir. En yüksek kümülatif biyogaz üretimi 6021,9 mL ile R9'da elde edilirken %3,5-5 EAOC eklenen reaktörlerde oldukça yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. En yüksek metan verimi ise %4 EAOC eklenen R7'de 136,56 mL CH<sub>4</sub>.gVS<sup>-1</sup> ile elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre EAOC prosesi sonucunda ortaya çıkan cürufur biyogaz üretiminde katkı maddesi olarak verimli bir şekilde kullanılabilir. Eklenen EAOC'nin anaerobik mikroorganizmalar ve mikroorganizma türleri üzerine

etkilerini daha detaylı inceleyebilmek için bu konu üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

## Kaynakça

- Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., & Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714–723. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>
- Abouti, K., Álvarez-Gallego, C. J., & Romero-García, L. I. (2016). Evaluation of methane generation and process stability from anaerobic co-digestion of sugar beet by-product and cow manure. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 121(5), 566–572. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.10.005>
- Abudi, Z. N., Hu, Z., Sun, N., Xiao, B., Rajaa, N., Liu, C., & Guo, D. (2016). Batch anaerobic co-digestion of OFMSW (organic fraction of municipal solid waste), TWAS (thickened waste activated sludge) and RS (rice straw): Influence of TWAS and RS pretreatment and mixing ratio. *Energy*, 107, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.141>
- Arif, S., Liaquat, R., & Adil, M. (2018). Applications of materials as additives in anaerobic digestion technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(January 2017), 354–366. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.039>
- Bankole, L. K., Rezan, S. A., & Sharif, N. M. (2014). Assessment of hexavalent chromium release in Malaysian electric arc furnace steel slag for fertilizer usage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 19(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/19/1/012004>
- Bilhan, A., & Emikönel, S. (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. *European Journal of Science and Technology*, (24), 289–294. <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>
- Canan, A., Calhan, R., & Ozkaymak, M. (2021). Investigation of the effects of different slags as accelerant on anaerobic digestion and methane yield. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01340-0>
- Ceylan, H. (2021). Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamalarında Enerji Sektörü Analizi. *European Journal of Science and Technology*, (27), 237–242. <https://doi.org/10.31590/ejosat.952538>
- Chen, J. L., Steele, T. W. J., & Stuckey, D. C. (2018). The effect of Fe 2 NiO 4 and Fe 4 NiO 4 Zn magnetic nanoparticles on anaerobic digestion activity. *Science of the Total Environment*, 642, 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.373>
- Divya, D., Gopinath, L. R., & Merlin Christy, P. (2015). A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 690–699. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.055>
- Esposito, G., Frunzo, L., Giordano, A., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 11(4), 325–341. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9277-8>
- Gadhe, A., Sonawane, S. S., & Varma, M. N. (2015). ScienceDirect Influence of nickel and hematite nanoparticle powder on the production of biohydrogen from complex distillery wastewater in batch fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 10734–10743.

- <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.198>
- Han, F., Yun, S., Zhang, C., Xu, H., & Wang, Z. (2019). Bioresource Technology Steel slag as accelerant in anaerobic digestion for nonhazardous treatment and digestate fertilizer utilization. *Bioresource Technology*, 282(January), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.029>
- Jung, H., Kim, J., & Lee, C. (2016). Continuous anaerobic co-digestion of Ulva biomass and cheese whey at varying substrate mixing ratios: Different responses in two reactors with different operating regimes. *Bioresource Technology*, 221, 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.059>
- Kaparaju, P., Ellegaard, L., & Angelidaki, I. (2009). Optimisation of biogas production from manure through serial digestion: Lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technology*, 100(2), 701–709. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.023>
- Kaskun, S., Çalhan, R., & Akinay, Y. (2021). Enhancement of biogas production using SnO<sub>2</sub> nanoparticle-doped mica catalyst. *Biomass Conversion and Biorefinery*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01983-z>
- Kato, S., Hashimoto, K., & Watanabe, K. (2012). Methanogenesis facilitated by electric syntrophy via (semi)conductive iron-oxide minerals. *Environmental Microbiology*, 14(7), 1646–1654. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02611.x>
- Lee, J. Y., Lee, S. H., & Park, H. D. (2016). Enrichment of specific electro-active microorganisms and enhancement of methane production by adding granular activated carbon in anaerobic reactors. *Bioresource Technology*, 205, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.054>
- Lisboa, M. S., & Lansing, S. (2013). Characterizing food waste substrates for co-digestion through biochemical methane potential (BMP) experiments. *Waste Management*, 33(12), 2664–2669. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.004>
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-G?iza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., & Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 412–427. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.039>
- Monosi, S., Ruello, M. L., & Sani, D. (2016). Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production. *Cement and Concrete Composites*, 66, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.004>
- Nandi, R., Saha, C. K., Huda, M. S., & Alam, M. M. (2017). Effect of mixing on biogas production from cow dung. *Eco-Friendly Agril*, 10(2), 7–13. Retrieved from [www.efaj-international.com](http://www.efaj-international.com)
- Nevzorova, T., & Kutcherov, V. (2019). Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414>
- Nges, I. A., & Björnsson, L. (2012). High methane yields and stable operation during anaerobic digestion of nutrient-supplemented energy crop mixtures. *Biomass and Bioenergy*, 47, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.002>
- Nikolić, I., Drinčić, A., Djurović, D., Karanović, L., Radmilović, V. V., & Radmilović, V. R. (2016). Kinetics of electric arc furnace slag leaching in alkaline solutions. *Construction and Building Materials*, 108, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.038>
- Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Farabi-Asl, H., Yousefi, H., & Hajinezhad, A. (2015). Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 748–754. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.190>
- Santamaria, A., Faleschini, F., Giacomello, G., Brunelli, K., San José, J. T., Pellegrino, C., & Pasetto, M. (2018). Dimensional stability of electric arc furnace slag in civil engineering applications. *Journal of Cleaner Production*, 205, 599–609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.122>
- Suanon, F., Sun, Q., Li, M., Cai, X., Zhang, Y., Yan, Y., & Yu, C. P. (2017). Application of nanoscale zero valent iron and iron powder during sludge anaerobic digestion: Impact on methane yield and pharmaceutical and personal care products degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 321, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.076>
- Tashiro, Y., Matsumoto, H., Miyamoto, H., Okugawa, Y., Pramod, P., Miyamoto, H., & Sakai, K. (2013). A novel production process for optically pure l-lactic acid from kitchen refuse using a bacterial consortium at high temperatures. *Bioresource Technology*, 146, 672–681. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.102>
- World Steel Association. (2019). Steel Statistical Yearbook 2019 Concise version. *World Steel Association*, 1–6. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/zh/dam/jcr:7aa2a95d-448d-4c56-b62b-b2457f067cd9/SSY19%2520concise%2520version.pdf>
- Xu, H., Chang, J., Wang, H., Liu, Y., Zhang, X., Liang, P., & Huang, X. (2019). Enhancing direct interspecies electron transfer in syntrophic-methanogenic associations with (semi)conductive iron oxides: Effects and mechanisms. *Science of the Total Environment*, 695, 133876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133876>
- Zenk, H. (2019). The Electric Energy Potential of Samsun City from Animal Manure. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1307–1312. <https://doi.org/10.31590/ejosat.661910>
- Zhang, B., Zhang, L.-L., Zhang, S.-C., Shi, H.-Z., & Cai, W.-M. (2005). The influence of pH on hydrolysis and acidogenesis kitchen wastes. *Environmental Technology*, 26(3), 329–340.



# Gölgelerin Oyunu: İzdüşümlerin İstatistiksel Çıkarımları ve Türkiye’de Döviz Kurlarını Etkileyen Makroekonomik Göstergeler Üzerine Bir Uygulama

Yunus Güral<sup>1\*</sup>, Arzu Ekinci<sup>2</sup>, Mehmet Gürcan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0572-453X), [ygural@firat.edu.tr](mailto:ygural@firat.edu.tr)

<sup>2</sup> Batman Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Batman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9229-8198), [arzu.demirelli@batman.edu.tr](mailto:arzu.demirelli@batman.edu.tr)

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3641-8113), [mgurcan@firat.edu.tr](mailto:mgurcan@firat.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 22 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1039913)

**ATIF/REFERENCE:** Güral, Y., Demirelli E. A. & Gürcan, M. (2022). Gölgelerin Oyunu: İzdüşümlerin İstatistiksel Çıkarımları ve Türkiye’de Döviz Kurlarını Etkileyen Makroekonomik Göstergeler Üzerine Bir Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 341-351.

## Öz

Pratikte kullanılan istatistiksel yöntemlerin matematiksel arka planları çoğunlukla uygulayanlar için pek önem arz etmeyen detaylar olarak görülebilir. Ancak bilimsel araştırmaların farklı detayları için oldukça önem arz eden tekniklerdir. Örneğin en küçük kareler yöntemi “EKK” üç farklı şekilde detaylandırılabilir. Bir uygulamacı yöntemi paket programın analiz butonu olarak görürken bir teorisyen EKK yöntemini değişken sayısı gözlem sayısından az olan bir denklem sisteminin çözüm tekniği olarak görmektedir. Bu aynı zamanda görüntü uzayının tanım uzayından büyük olduğu bir durumda görüntü uzayından alınan bir elemanın ters görüntüsünün elde edilmesi tekniğidir. Bu bakımdan bu çalışma araştırmalarda kullanılan temel bileşenler analizi, Karhunen-Loeve dönüşümü, kısmi en küçük kareler regresyonu ve Nipals algoritması gibi tekniklerin teorik arka planlarını vermeyi amaçlamaktadır. Yöntemleri anlaşılır kılmak için çalışmada USD ve EURO kurunun cevap değişkeni olarak seçildiği uygulamaya yer verilmiştir. Açıklayıcı değişkenler ise aralarında iç ilişkili olduğu düşünülen, ihracat, ithalat, borsa endeksi, işsizlik oranı, enflasyon, cari açık ve döviz rezervi değişkenleridir. 2014:01 / 2021:06 dönem aralığındaki aylık veriler alınarak oluşturulan modele çoklu doğrusal regresyon, NIPALS algoritması ve Karhunen-Loeve dönüşümü yapıldıktan sonra NIPALS algoritması uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Temel bileşenler analizi “PCA”, kısmi en küçük kareler yöntemi “PLS”, Karhunen-Loeve dönüşümü, Nipals algoritması, Online-Nipals.

## Game of Shadows: Statistical Inferences of Projections and an Application on Macroeconomic Indicators Affecting Exchange Rates in Turkey

### Abstract

The mathematical backgrounds of statistical methods used in practice can often be seen as insignificant details for those who apply them. However, they are very important techniques for different details of scientific research. For example, the least-squares method can be elaborated in three different ways. While a practitioner sees the method as the analysis button of the package program, a theorist sees the EKK method as a solution technique for a system of equations with a variable number less than the number of observations. This is also the technique of obtaining an inverted image of an element taken from the image space in a case where the image space is larger than the domain. In this respect, this study aims to give the theoretical background of techniques such as principal component

\* Sorumlu Yazar: [ygural@firat.edu.tr](mailto:ygural@firat.edu.tr)

analysis, Karhunen-Loeve transform, partial least squares regression, and Nipals algorithm used in research. In order to make methods understandable, the application in which USD and Euro rates are chosen as the answer variable is included in the study. Explanatory variables, on the other hand, are export, import, stock market index, unemployment rate, inflation, current account deficit, and foreign Exchange reserve variables, which are thought to be interrelated. The NIPALS algorithm was applied after multiple linear regression, NIPALS algorithm, and Karhunen-Loeve transform were applied to the model, which was created by taking monthly data in the period of 2014:01/ 2021:06.

**Keywords:** Principal component analysis “PCA”, partial least squares method “PLS”, Karhunen-Loeve transform, Nipals algorithm, Online-Nipals.

## 1. Giriş

Günümüzde çok değişkenli veri analizinde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde ilklere giren yöntemlerin başında temel bileşenler analizi gelmektedir. Temel bileşenler analizi köken itibarıyla Cauchy, Pearson ve Hotelling'e kadar dayanmaktadır. Bu çalışmadaki amacımız kısaca bu yöntemi tanıtarak buradan hareketle kısmi en küçük kareler yöntemine kadar dayandırmaktır. Kısmi en küçük kareler yöntemi, bir veya daha fazla bağımlı değişkeni iki veya daha fazla bağımsız değişkenle ilişkilendirmek için geliştirilen bir algoritmadır. Bir regresyon yöntemi olarak, bir matrisin özvektörlerini ve özdeğerlerini belirlemeye yönelik güç yöntemine benzer olan NIPALS algoritmasını kullanan temel bileşenler regresyonu yönteminden uyarlanmıştır (Avraham Lorber ve ark. 1987). Kısmi en küçük kareler yönteminde uygulanan dokuz algoritma mevcuttur (Andersson, M. 2009). Bu algoritmaları kısaca sıralayalım; 1. Wold tarafından geliştirilen NIPALS (Wold, H. 1966), 2. Martens'in ortogonalize edilmiş puanlar algoritması (Martens H, Naes T. 1989), 3. Golub ve Kahan'ın Bidiag2'si (Golub, G. & Kahan, W. 1965), 4. Joung'un SIMPLS'si (De Jong, S. 1993), 5. Dayal tarafından geliştirilen çekirdek PLS (Dayal, B. S. & MacGregor, J. F. 1997), 6. Manne'nin PLSF'si (Wu, W. & Manne, R. 2000), bu algoritmada kendi içerisinde sonradan yapılan eklemelerle üç yeni algoritma daha üretmiştir, 7. Direkt olarak açıklayıcı ve cevap değişkenlerinden puanlar veren temel vektörlerin hesaplanması için yeni bir yinelenen formüle dayalı doğrudan puanlar PLS1 algoritması, 8. Sadece orijinal açıklayıcı ve cevap değişkenleri kullanılarak tanımlanmış Krylov PLS1, 9. Açıklayıcı değişkenden yinelemeli olarak tanımlanan regresyon vektörü ve önceki yinelemeli regresyon vektörleri ile PLSPLS1 algoritması. Bu algoritmalarından 1, 2, 5 ve 7'inci sırada yazılanlar en kararlı algoritmalar. Aynı zamanda 5 ve 7'inci sırada olanlar 1 ve 2'inci sırada olan algoritmalarından çok daha hızlıdır. En hızlı sayılabilecek algoritma olan 4 ve orta hızlı olan algoritma 9 ise faktör sayısı yükseldikçe kararsız hale gelme eğilimi göstermektedir. 3, 6 ve 8'inci sırada bulunan algoritmalar bazı uygulamalarda PLS1 regresyon vektörüne uymayan regresyon vektörleri oluşturmuş bu bakımdan yükleme ve puan vektörlerinin de yinelemeli denklemlerde saptığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen artık toplamlarının ise en küçük kareler anlamında optimalin altında olduğu gösterilmiştir. Bu dokuz algoritma içerisinde, NIPALS gibi, veri matrislerinin indirgenmesine dayalı algoritmaların diğerlerinden sayısal anlamda daha kararlı olduğu da bilinmektedir (Ergon, R. 2009). Hesaplamalarda sayısal anlamda kararlılık ve tutarlılık önemlidir. Tüm PLS1 algoritmaları aslında aynı sayısal regresyon sonuçlarını vermek zorunda olmalarına rağmen bu durum uygulamalarda mümkün olmamaktadır. Bu durumda aynı veriler farklı algoritmalarla modellendiğinde farklı modeller elde edilecektir (Andersson, M. 2009).

Veri incelemede kullanılan istatistiksel teknikler araştırmacılara veri ile ilgili ilk bakışta göremedikleri birçok önemli bilgiyi ve detayı sunmaktadır. Bir araştırmada toplanan veriler görselleştirilmek istendiğinde ilk adımda verinin dağılımı, tablo ve grafiklerin kullanımı tercih edilmektedir. Ancak incelenmek istenen veri yüksek boyutlu olduğunda bu görsellik araştırmacılar için pekte önemli bilgiler içermez. Bundan dolayı verinin birtakım istatistiksel işlemlerden geçirilmesi gereklidir. Yüksek boyutlu verilerde ilk adımda tercih edilen yöntem temel bileşenler analizidir. Temel bileşenler analizi (PCA) kullanım kolaylığı bakımından araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen bir veri inceleme tekniğidir. Kullanım kolaylığı düzenli bir algoritmasının olmasından kaynaklanmaktadır. Araştırmacının bu analizi yapabilmek için yoğun bir teorik bilgiye ihtiyacı yoktur. Kullanım avantajlarının çok olmasının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ancak bunlar araştırmacılar tarafından göz ardı edilebilecek konumdadır. Bu dezavantajlar kısaca iki kategoride toplanabilir: Birincisi kovaryans matrisi tekil değer ayrışımı (SVD) ile parçalandığından matrisin değerlendirilmesi zordur. İkincisi ise verinin bazı önemli görselleri PCA tarafından açıkça ortaya konulamamasıdır. Sağladığı avantajlar ise kısaca şu şekildedir: ortogonal bileşenler sayesinde veri düşük boyuta indirgenir, kovaryans karmaşıklığı azaltılır, tüm verileri sınıflara ayırabilir, büyük hesaplamalar gerektirmez, en geniş varyanslara sahip yönleri inceler (Karamizadeh vd., 2013:173-175). PCA analizi ilk olarak SVD ayrışımı ile başlar. Bu ayrışımın elde edilen öz vektörler ortogonal olan temel bileşenleri belirler. Bu sayede değişkenlerin doğrusal kombinasyonları birbirleri ile ilişkisiz olarak elde edilir.

PCA incelemesinde elde edilen temel bileşen sayısı araştırmacıya ait değildir. Ancak araştırmacı elde edilen temel bileşenlerden açıklama yüzdesi fazla olanları seçme imkanına sahiptir. Bu imkan yüksek boyutlu verilere temel bileşenler regresyonu uygulamada oldukça faydalıdır. PCA gibi SVD ayrışımına dayanan ikinci bir analiz yöntemi de kısmi en küçük kareler (PLS) yöntemidir. PLS yöntemini PCA yönteminden ayıran en karakteristik özellik: SVD ayrışımının PCA yönteminde  $X^t X$  varyans kovaryans matrisine uygulanması, PLS yönteminde ise  $X^t Y$  kovaryans matrisine uygulanmasıdır. Burada  $X$  bağımsız değişkenlerin,  $Y$  ise bağımlı değişkenlerin standartlaştırılmış veri matrisleridir. PLS, PCA yöntemi gibi uygulaması tanımlanan birtakım algoritmalar sayesinde kolaylaştırılmış önemli bir yöntemdir. Bu özelliğinden dolayı araştırmacılar tarafından tercih edilen ve literatürde geniş uygulama sahası bulmuş bir yöntemdir. PLS yöntemi için geliştirilen bazı algoritmalar temelde lineer olmayan kısmi en küçük kareler (Nipals) algoritmasına dayanmaktadır. Nipals algoritması için bakılması gereken önemli kaynaklar (Wold, 1966:391-420) ve (Oin vd., 2014:1073-1077)'de verilen kaynaklardır. Literatürde bulunan birçok kaynaktaki Nipals algoritmasının adımları bulunmaktadır. Ancak bu adımların izahları yeterince açık değildir. Sonraki bölümde Nipals algoritması detaylı olarak anlatılacaktır. Vurgulanması gereken önemli bir nokta da PCA ve PLS yöntemlerinin yüksek boyutlu verilerin yanı sıra iç ilişki probleminde de Ridge regresyonuna

alternatif olarak kullanılabilmesidir (Rosipal ve Krämer, 2006:34-51; Wold vd., 1984). Regresyon incelemesinde bağımsız değişkenler arasında ilişki bulunduğu bu durum veri matrisinin herhangi bir sütununun ilişkili olduğu diğer bir sütun cinsinden yazılabilmesini sağlamakta ve  $X^tX$  matrisinin tersi alınamamaktadır. Böyle bir durumda regresyon katsayılar vektörü regresyonun normal denklemlerinden direkt olarak elde edilemez. Bu problemi ortadan kaldırmak için varyans kovaryans matrisinin asal köşegen elemanlarına eklemeler yapılarak singülerlik ortadan kaldırılmaya çalışılır. Yapılan eklemeler değişkenlerin bulunduğu eksen değerlerini artırdığından değişkenlerin arasındaki açılırları artırmaktadır. Bu sayede kovaryans değerleri azaltılarak bir çözüme gidilebilir. Ancak artan varyanslar direkt olarak tahminlere yansıtacağından bu durum tahminlerin hatasını artırmaktadır. Bunun yerine temel bileşenler veya kısmi en küçük kareler regresyonlarının kullanılması latent değişkenlerin eksenlerini ortagonalleştirdiği için daha uygundur. Literatürde yapılan birçok çalışmada bu durum vurgulanmıştır. Denklem sayısı fazla olan lineer denklem sistemlerinin çözümü en küçük kareler yöntemiyle yapılabilir. Bu yöntemde katsayılar matrisinin genelleştirilmiş tersi  $(X^tX)^{-1}X^t$  matrisidir.  $(X^tX)^{-1}$  ters matrisi hesaplanmadığında, matrisin sütunları lineer bağımlı olduğunda veya değişken sayısı denklem sayısından büyük olduğunda, lineer denklem sistemi, regresyon modelinin normal denklemleri, birinci mertebeden daha düşük bir türev yardımıyla oluşturulduğunda elde edilen çözüm Ridge çözümüdür. Bu durum detaylı olarak kaynak (Marquardt ve Snee, 1975:3-20)'da yer almaktadır.

Çalışmamızda USD ve EURO kuru ile iç ilişkili olduğu düşünülen makro-ekonomik değişkenler seçilerek kurulan modele, çoklu doğrusal regresyon, NIPALS algoritması ve Karhunen-Loeve dönüşümü yapıldıktan sonra NIPALS algoritması uygulanmıştır. Teorik olarak, döviz kuru ile ithalat, ihracat, Bist 100 endeksi, işsizlik, enflasyon, cari açık ve Merkez bankası döviz rezervleri arasındaki ilişkiler şu şekilde açıklanabilir. Döviz kuru, bir ülkenin ulusal para biriminin değerini yabancı bir ülkenin para birimleri cinsinden ifade etmektedir. Ülkelerin ekonomilerine bağlı olarak döviz kurlarında bazı dönemlerde azalış gözlenirken, bazı dönemlerde ise ani yükselişlerle karşılaşmaktadır. Bu durum piyasalarda belirsizlik ve tedirginliğe neden olurken, döviz ile iş yapan kesimleri olumsuz etkilemektedir. Döviz kurlarındaki ani yükselişler sonucunda üretimde kullanılan ithal malların fiyatları artmakta ve buna bağlı olarak üretilen ticari malların maliyetleri yükseltmektedir. Bunun sonucunda maliyetleri yükselen ürünlerin ihracatının yapılabilmesi konusunda üreticiler sıkıntı yaşamakta uluslararası pazarlardaki rekabet güçleri azalmaktadır ve bu şekilde dövizle iş yapan ticari kesimler döviz kurundaki değişimlerden olumsuz etkilenmektedir. Döviz kurlarındaki bu ani değişimler, ekonomi üzerinde yarattığı tahribat ve ekonomik göstergeleri olumsuz etkilemektedir (Kartal vd., 2018: 211).

Döviz kuru, sadece ithalat ve ihracatla ilişkili kalmamakta, aynı zamanda emek piyasası üzerinde de çeşitli etkilere sebep olmaktadır. Döviz kurundaki dalgalanmaların, kısa vadede ekonomik kalkınmayı ve dolayısıyla emek piyasasını olumsuz etkilediği varsayılmaktadır. Döviz kurlarındaki dalgalanmalar belirsizlik ortamında maliyetleri artırır, özellikle mikro düzeyde işletmelerin uzun vadede plan yapmalarını zorlaştırır. Döviz kurundaki belirsizliğin ortadan kalkmasının etkisi ekonomiye olumlu biçimde yansıtılarak ihracat, üretim ve istihdamı olumlu yönde etkiler. İhracat artışının yeni yatırımlarla desteklenmesi durumunda, istihdamı artırıcı etkinin daha fazla olacağı da açıktır.

Sonuç olarak, istikrarlı seyreden döviz kuruyla, dış ticaret işsizlik arasında doğrusal bir ilişkinin olduğundan bahsedilebilir (Buscher ve Mueller, 1997). Döviz kurunun emek piyasası üzerine olan etkisi, çoğunlukla ihracat ve ithalat yoluyla olmaktadır. İthalatın artması bununla birlikte ithal mallarla yerli mallar arasında rekabet oluşması, işverenlerle işçiler arasındaki ilişkiyi büyük ölçüde etkilemektedir. Reel döviz kurundaki yükselmenin, özellikle ithalatın artmasına yol açarak işsizliğe sebep olduğu söylenebilir (Bilgin, 2004).

Döviz kuru ile BİST 100 endeksinde işlem gören ulusal hisse senetlerinin fiyatları arasında ekonomik ilişkide ise Branson (1983)'un portföy dengesi yaklaşımına göre BİST 100 endeksinde meydana gelen bir artışın döviz kurlarında düşüşe sebep olacağı düşünülmektedir. Hisse senetlerinde gözlenen artış, Türk Lirasına olan talebin artmasına ve böylece TL'nin değerlenmesine yol açmaktadır, bu sebeple yabancı hisse senetlerini elden çıkaran yatırımcılar ulusal hisse senetlerine yönelerek, döviz kurlarında düşüşe sebep olmaktadır (Yurdakul, 2016: 24).

Ülke ekonomisinin en önemli sorunlarından biri olan enflasyon; fiyatlar genel seviyesindeki artışı ifade etmekle birlikte, yaşandığı ülkenin para biriminin diğer ülke para birimleri karşısındaki değerinin azalması olarak ta açıklanır (Gedik, 2020:324). Enflasyonun döviz kuru ile ilişkisi ise, literatürde kısır döngü hipotezi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu hipoteze göre; döviz kurunda gözlenen artış ile üretim için temin edilen ithal hammaddelerin ve ara malların fiyatları artacaktır. Bunun sonucunda ise maliyeti artan ürünlerin üretimi azalacak, fiyatlar genel seviyesinde artışa neden olacaktır. Bu döngüde piyasayı canlandırmak için para arzının artırılması, enflasyon ve döviz kurlarının yükselmesine sebep olacaktır (Terzi ve Kurt, 2007: 3). Cari açık bir ülkenin ürettiğinden daha fazla harcama yaparak tüketmesi olarak tanımlanmaktadır, yabancı paralara talebi artırdığından, döviz kuru üzerinde yükselişe sebep olacak baskı oluşturmaktadır, bu sebeple döviz kuru ile ilişkisinin pozitif yönde olması beklenmektedir. Merkez bankası döviz rezervleri ile döviz kuru arasındaki ekonomik ilişkide ise Merkez bankası piyasadaki döviz topluyarak döviz rezervlerini artırma yoluna gittiğinde piyasada döviz hacmi azalacaktır. Böyle bir müdahale sonrası kurların yükselişe geçmesi beklenmektedir. Bunun tersi bir müdahalede Merkez bankası piyasaya döviz sürdüğünde, rezervlerdeki döviz miktarı azalacak ve piyasadaki döviz miktarı artacaktır. Bunun sonucunda döviz kurlarında düşme beklenmektedir. (Şit ve Karadağ, 2019:153).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Matematiksel Arka Plan: Kısa Matris Bilgisi

Temel bileşenler analizi, kısmi en küçük kareler yöntemi ve NIPALS algoritmasının anlaşılabilmesi için matris bilgilerinin kısa bir yorumu daima gereklidir. Öncelikle matris denildiğinde akla ilk gelen kullanım yerinin lineer dönüşümler olması gerekir. Bu sayede lineer regresyon modelini daha rahat anlamlandırabiliriz. Lineer bir regresyon modeli cevap değişkeninin katsayılar vektörünün lineer bir dönüşümüne eşlenmesiyle oluşturulur. Bu sayede regresyon katsayıları veri matrisinin tersinin soldan denklemlerle çarpılması sonucunda elde edilir. Bu işlem beraberinde birçok soruları getirmektedir. Örneğin hangi şartlarda veri matrisinin tersi mevcuttur. İlk akla gelen veri matrisinin tersinin alınabilmesi için karesel olması zorunluluğudur. Fakat lineer bir modelde veri matrisi hiçbir zaman karesel olmaz. Bu durum matrislerin genelleştirilmiş tersleri kavramını gündeme getirir ve literatürde oldukça yoğun

bir şekilde incelenmiştir. Bu konuda literatürün ilk kaynağı Penrose, R. (1955, July)'a aittir. Kısaca bu çalışmanın bizi ilgilendiren kısmı lineer bir model denkleminin her iki tarafını veri matrisinin transpozunu ile çarpılması ve katsayılar vektörüyle çarpılan veri matrisinin bu sayede karesel hale getirilmesidir. Ancak bazı veri matrisleri soldan transpozları ile çarpılarak karesel hale getirilselerde çarpım sonucu oluşan varyans kovaryans matrisinin singülerlikten dolayı tersi olmayabilir. Bu durum iç ilişki problemini ortaya çıkartır. Bundan dolayı veri matrisini oluşturan sütunların, değişkenlerin, birbirleri ile ilişkisiz olması gerekmektedir. Eğer herhangi bir ilişki mevcutsa veri matrisinin spektral ayrışımı sonucunda temel bileşenler dediğimiz yeni değişkenler ilişkisiz hale getirilir. Genelleştirilmiş matris tersleri sıklıkla ters dönüşüm problemlerinde kullanıldığından oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yönüyle literatürde bu konuda değişik algoritmalar mevcuttur (Courrieu, P. 2008). Bu çalışmalarda farklı matris tersleri tanıtılarak hesaplamaların gerek hızları gerekse tahmin güçleri birbirleri ile kıyaslanmaktadır. Özellikle Drazin matris tersi hem uygulama açısından hem de elde edilen sonuçların duyarlılığı açısından genelleştirilmiş matris tersleri arasında önemli bir yere sahiptir (Koliha, J. J. 1996). Bu bölümde genelleştirilmiş ters matrislerin lineer regresyon modellerindeki uygulamasına ait kısa bir örnek sunulacaktır.

Matrislerle lineer dönüşümler özdeştir. Her matris lineer bir dönüşümdür. Bunun yanı sıra her lineer dönüşüme bir matris karşılık gelmektedir.  $A$ ,  $n \times p$  tipli bir matris ise tanım kümesi  $p$  ve görüntü kümesi  $n$  boyutludur.  $A$  matrisinin görüntüsünü  $\mathcal{R}(A)$  ile gösterelim. Matrisin tanım kümesinin boyutu görüntü kümesinin boyutundan küçükse  $\mathcal{R}(A) \subset R^p$  olacağından  $R^p$  uzayında tanım kümesiyle eşlenmeyen elemanlar bulunacaktır. Bu durum en küçük kareler çözümünün temelini oluşturur. Şöyle ki  $Ab = y$  denklem sisteminde  $y$  cevap değişkeni  $\mathcal{R}(A)$  içerisinde değilse  $\mathcal{R}(A)$  içerisinde cevap değişkenine en yakın olan eleman bulunarak ters görüntü alınabilir. Bu sayede  $b$  çözüm vektörü tahmin edilmiş olur. Yeri gelmişken aşağıdaki kısa bir örnekte bu işlemi gösterelim. Basit doğrusal regresyon denklemi  $Y = b_0 + b_1X$  şeklinde seçilen bir modelde bağımsız ve bağımlı değişken değerleri yazıldığında  $Ab = y$  lineer denklem sistemi;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 6 \\ 14 \end{bmatrix} \quad (1)$$

şeklinde oluşturulur.

Burada dönüşüm matrisinin görüntüsü;

$$\mathcal{R}(A) = \{(b_0 + b_1, b_0 + 2b_1, b_0 + 3b_1) : b_0, b_1 \in R\} \quad (2)$$

olarak elde edilir.

Cevap değişkeni  $Y \notin \mathcal{R}(A)$  görüntünün elemanı olmadığından çözüm için cevap değişkenine görüntüler içerisinde en yakın eleman seçilir. Bu eleman,  $r \in \mathcal{R}(A)$  olmak üzere iki vektör arasındaki kare uzaklığı gösteren ve Eşitlik (3) ile verilen  $d^2(Y, r)$  fonksiyonunun minimum değeri olup;

$$d^2(Y, r) = (8 - b_0 - b_1)^2 + (6 - b_0 - 2b_1)^2 + (14 - b_0 - 3b_1)^2 \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıdaki ifadenin  $b_0$  ve  $b_1$  parametrelerine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlendiğinde  $b_0 = 3,33$  ve  $b_1 = 3$  çözümü bulunur.

Matrisin tanım kümesinin boyutu görüntü kümesinin boyutundan büyükse dönüşümün görüntüsü  $\mathcal{R}(A) = R^p$  görüntü kümesini tamamen kaplar. Ancak tanım kümesinin boyutu büyük olduğundan birebir eşlemeyle görüntü kümesine sığamayacağından tanım kümesinin elemanlarından birçoğu görüntü kümesinde bir elemana eşlenir. Bu durum ise ters görüntünün seçilmesini bozacağından, lineer denklem sisteminin parametreleri tek türlü bulunamaz. Literatürde bu problem "ill posed" olarak adlandırılır. Günümüzde halen çözüm arayan problemlerin başında gelmektedir. Bu problem için kullanılan yöntemler genel olarak cevap değişkeninin varyansını en iyi şekilde temsil eden değişkenlerin seçilebilmesiyle yapılmaktadır. Literatürde bu gibi durumlarda sıklıkla PCA ve PLS yöntemleri kullanılmaktadır.

## 2.2. İç Çarpım Kavramı

İç çarpım kavramı ilk olarak diklik, ikinci olarak izdüşüm için sıklıkla kullanılan önemli bir kavramdır. Son yüz elli yılda gelişen modern matematiğin neredeyse en önemli işlemidir. İlk olarak sabit vektörler üzerinde tanımlanmasına rağmen sonradan fonksiyonel diziler üzerine genişletilmiştir. Bu sayede bir fonksiyonun birbirlerine dik olan sayılabilir çoklukta fonksiyonlar cinsinden ifadesi mümkün olmuştur. Bu özellik bilime önemli katkılar sunmaktadır. Günümüzde daha yeni sayılabilecek fonksiyonel veri analizi bizim için bu katkılarının önemli bir göstergesidir (Ramsay, J. O. & Dalzell, C. J. 1991).

İki vektörün iç çarpımı  $\langle x, y \rangle = x^t y$  şeklinde tanımlanıp  $x^t y = 0$  olduğunda bu iki vektörün dik olduğu anlaşılır ve bu durum  $x \perp y$  şeklinde gösterilir. Şayet  $\|y\| = 1$ , yani  $y$  vektörü birim vektör ise  $x^t y$  değeri  $x$  vektörünün  $y$  vektörü üzerindeki dik izdüşüm uzunluğunu veya kısaca gölgesini verir.  $x$  ve  $y$  tesadüfi değişkenlerinin değerleri standartlaştırılmış ise iç çarpım değeri  $x^t y = \cos \alpha = \rho_{xy}$  korelasyon katsayısına eşit olacaktır. Burada  $\alpha$  iki değişken arasındaki açıyı temsil eder. Doğal olarak korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki açının kosinüs değeridir. Aynı şekilde  $X$  bağımsız değişkenlerin ve  $Y$  ise bağımlı değişkenlerin bir matrisi ise  $X^t X$  bağımsız değişkenlerin varyans kovaryans matrisi,  $X^t Y$  ise bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenlerin kovaryans matrisidir.

İç çarpım  $x^t y$  değerinin  $x$  vektörünün  $y$  üzerindeki izdüşümünü vermesi önemli bir özelliktir. Bu sayede  $y$  yerine  $\{u_1, \dots, u_p\}$  birim dik vektörler alındığında eşitlik (4) ile verilen toplam,  $x$  vektörünün  $u_j$  vektörleri cinsinden açılımı

$$\sum_{j=1}^p (x^t u_j) u_j \quad (4)$$

eşitliği ile verilir.

Başta Fourier ve Karhunen-Loeve açılımları olmak üzere bu tipli seri açılımları birçok araştırmada oldukça önemlidir. Ayrıca bağımsız değişkenler birbirlerine dik olduklarında bu açılım regresyon denklemini göstermektedir.

## 2.3. Öz Vektör Kavramı

Bu bölümde özvektör kavramı sadece belirli özellikleri ile kısaca tanıtılacaktır. Dönüşümler genelde tanım kümesinin her bir önemli özelliğini görüntü kümesine taşımazlar. Taşındığı taktirde dönüşüm altında değişmeyen ve dönüşüme has karakteristik özelliklerdir. Lineer dönüşümler tanım kümesinin bazıını oluşturan birbirine dik vektörlerden oluşmuş bir yapıyı görüntü kümesine taşıırken yapının dikliğini koruyamazlar. Ancak her lineer dönüşüm dik vektörlerden oluşmuş en az bir yapıyı

dikliğini koruyarak görüntü kümesine taşır. İşte bu dikliği bozulmadan taşınan vektörler dönüşümün öz vektörleridir. Bu durumu şu şekilde açıklayalım.  $A$ ,  $n \times p$  tipli bir matris ve  $\{u_1, \dots, u_p\}$  tanım kümesinde birbirlerine dik birim vektörlerden oluşmuş bir yapı olsun.  $i \neq j$  için  $u_i \perp u_j$  iken  $\langle u_i, u_j \rangle = 0$   $Au_i \perp Au_j$  olabilmesi için  $\langle \lambda_i u_i, \lambda_j u_j \rangle = \lambda_i \lambda_j \langle u_i, u_j \rangle = 0$  eşitliği dikkate alındığında  $Au_i = \lambda_i u_i$  ve  $Au_j = \lambda_j u_j$  seçilmesi yeterlidir. Gerçekten  $(A - \lambda_i I)u_i = 0$  denkleminin çözümü  $Au_i = \lambda_i u_i$  şeklinde elde edileceğinden bu durum böyle bir seçim yapma şansımızın olduğunu garanti eder.

$u_i$  sıfırdan farklı olduğunda  $(A - \lambda_i I)u_i = 0$  denklem sisteminin çözümünün olabilmesi için  $\det(A - \lambda_i I) = 0$  olmalıdır. Bu ise  $\lambda_i$  sabitinin öz değer,  $u_i$  vektörünün de öz vektör olduğunu göstermektedir.

Burada kısaca şuna da değinelim;  $\langle Au_i, Au_j \rangle = (Au_i)^t (Au_j) = u_i^t A^t A u_j$  ifadesi literatürde oldukça önemlidir.  $u_i = u_j = w$  alındığında aşağıdaki eşitlik,

$$R_A(w) = \frac{w^t A w}{w^t w} \quad (5)$$

Rayleigh bölümü olarak adlandırılır (Stott ve ark, 2017).

Rayleigh bölümü online PLS (OL-PLS) yönteminin önemli bir fonksiyonudur. OL-PLS yöntemi "Gradient-Descent Total Least Squares" yönteminden adapte edilerek oluşturulmuş bir algoritmadır. Nipals algoritmasından sonra bu yöntem de kısaca değinilecektir.

### 2.3. Tekil Değer ve Tekil Değer Ayrışımı: SVD

Bu bölümde sadece bir matrisin SVD ayrışımının kısaca nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilecektir. Kare ve tam ranklı matrislerin tanım ve görüntü kümelerinin boyutları eşit olduğundan sorunsuz lineer dönüşümlerdir. Boyutu  $(n \times n)$  olan bir kare matrisin rankı  $n$  sayısından küçük olduğunda matrisin görünüşte kare olmasının hiçbir önemi yoktur. Örneğin bu şekildeki bir matrisin rankı  $n - 1$  olduğunda matrisin sütun vektörlerinden bir tanesi (veya satır vektörlerinden bir tanesi) diğerleri ile lineer bağımlı olacağından görüntü kümesinde faklı bir boyutu belirtmeyecektir. Dolayısıyla görüntü kümesinin boyutu tanım kümesinin boyutundan bir eksik olur. Bu ise kötü görüntü problemini ortaya çıkarır. Kare, tam ranklı ve  $(n \times n)$  tipindeki bir kare matrisin öz vektörleri  $\{u_1, \dots, u_n\}$  ise lineer dönüşümün tanım kümesi bu sistem tarafından rahatlıkla tanımlanabilir. Aynı şekilde aşağıdaki eşitliği dikkate aldığımızda,

$$\mathcal{R}(A) = Sp\{Au_1, \dots, Au_n\} = Sp\{\lambda_1 u_1, \dots, \lambda_n u_n\} \quad (6)$$

görüntü kümesinin de özdeğer ve öz vektörler yardımıyla tanımlanabileceğini görürüz. Bu önemli özellikten dolayı matrisin öz değer ve öz vektör ayrışımı,

$$A = U \Lambda U^t \quad (7)$$

şeklinde yapılabilir. Burada  $U = (u_1, \dots, u_n)$  öz vektörlerin matrisi,  $\Lambda = \text{diagonal}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$  öz değerlerin köşegen matrisidir. Ancak kare olmayan veya tam ranklı olmayan matrisler için  $A = U \Lambda U^t$  şeklinde yazılım mümkün değildir. Ancak bu formdaki bir matris parçalanması mümkündür. O zaman bu şekildeki bir matrisin,

$$A = U \Lambda V^t \quad (8)$$

şeklinde parçalandığını varsayalım. Bu parçalanmada  $A$  matrisinin rankının  $s$  olduğunu kabul edersek  $A: (n \times p)$ ,  $U: (n \times$

$s)$ ,  $\Lambda: (s \times s)$  ve  $V^t: (s \times p)$  boyutlu matrislerdir.  $AA^t = U \Lambda^2 U^t$  olduğundan  $U$ ,  $AA^t$  matrisinin öz vektörlerinin matrisi,  $A^t A = V \Lambda^2 V^t$  olduğundan  $V$ ,  $A^t A$  matrisinin öz vektörlerinin matrisidir. Her iki durumda da öz vektörlere karşılık gelen öz değerler aynıdır.  $A^t A$  veya  $AA^t$  matrislerinin öz değerleri  $\Lambda$  matrisinin köşegen elemanlarıdır.  $A$  matrisinin singüler değerleri ise bu öz değerlerin kare kökleridir.

Burada karşımıza temelde iki durum çıkabilir. Birincisi  $s = p$  olabilir. Bu durumda  $A^t A$  matrisi  $(p \times p)$  boyutlu ve tam ranklıdır. Eğer iç ilişki problemi yoksa öz değerlerin hepsi sıfırdan büyük ve birbirinden farklıdır. Problemin çözümü en küçük kareler yöntemine indirgenir. Öz değerlerin sıfıra yakın olması iç ilişki probleminin en önemli göstergesidir. İkincisi  $s < p$  ise  $A^t A$  matrisi de tam ranklı olmaz. Bu durumda iç ilişki problemi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda yapılacak ilk iş var olan öz vektörlerle,  $\{u_1, \dots, u_s\}$ , görüntü kümesini tanımlayarak çözüme gitmektir. Görüntü kümesinin baz elemanları bağımsız değişkenlerin lineer birleşimleri olan temel bileşenlerdir.

### 2.5. Temel Bileşenler Analizi: PCA

Temel bileşenler analizi çok değişkenli istatistiksel teknikler arasında neredeyse en popüler olanıdır. Bu konuda literatürde dayanan en eski kaynaklar Cauchy, A. L. (1829), Pearson, K. (1901) ve Hotelling, H. (1933)'e aittir (Abdi, H., & Williams, L. J. 2010). Bu bölümde kısa bir örnek üzerinde işlemin nasıl gerçekleştirildiği gösterilecektir.

Temel bileşenler kısaca en temel manasıyla bağımsız değişkenlerin öz vektörlerin katsayıları yardımıyla lineer birleşimler şeklinde yazılabilmesidir. Bağımsız değişkenlerin matrisine  $X = U \Lambda V^t$  şeklinde tekil değer ayrışımı yapılsın. Bu durumda  $V$ ,  $X^t X$  çarpımının öz vektörleri,  $XV$  ise temel bileşenlerdir. Şimdi bağımsız değişkenler arasında iç ilişkinin bulunduğu bir örneği göz önüne alalım. Bu örnekte regresyon denklemi

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \\ 3 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \\ 8 \end{bmatrix} \quad (9)$$

eşitliği ile verilsin. Lineer dönüşümün görüntü kümesi  $\mathcal{R}(A) = \{(t, 2t, 3t) : t = b_0 + 2b_1, b_0, b_1 \in R\}$  tek boyutludur. Cevap değişkeni  $(2, 5, 8) \notin \mathcal{R}(A)$  görüntü kümesinin elemanı değildir. Böyle bir durumda  $b_0$  ve  $b_1$  tek türlü elde edilemez. En küçük kareler denkleminin çözümünden  $t = 18/7$  ve  $b_0 + 2b_1 = 18/7$  olduğundan parametreler tek türlü elde edilemeyecektir. Eşitliği sağlayacak şekilde  $b_0 = 2/7$  ve  $b_1 = 8/7$  alınarak tahmin denklemi  $\hat{y} = (2/7)x_1 + (8/7)x_2$  şeklinde oluşturulabilir. Veri matrisine SVD ayrışımı yaparsak bağımsız değişkenlerin lineer birleşimini yeni bağımsız değişken olarak kullanabiliriz.  $X^t X$  matrisinin tek öz değeri  $\lambda = 70$  ve öz vektörü  $v^t = (1/\sqrt{5}, 2/\sqrt{5})$  olarak elde edilir. Bu durumda var olan tek temel bileşen  $Xv = (1/\sqrt{5})X_1 + (2/\sqrt{5})X_2$  olarak bulunur. Sonuç olarak veri kümesi aşağıdaki şekilde değiştirilmiş olur,

Tablo 1. Temel bileşenden elde edilen değerler (Table 1. Values from the principal component)

$X_1$	$X_2$	$Z = Xv$	$Y$
1	2	$5/\sqrt{5}$	2
2	4	$10/\sqrt{5}$	5
3	6	$15/\sqrt{5}$	8



Yeni regresyon denklemi  $\hat{y} = -1 + (3/\sqrt{5})z$  şeklinde tahmin edilir.

## 2.6. Karhunen-Loeve Dönüşümü: KL

Bu dönüşüm temelinde Fourier serisi gibi bir stokastik sürecin seriyeye açılması ilkesine dayanmaktadır (Karhunen, K. 1947 ve Loeve, M. 1948). Burada sadece veriden elde edilen kovaryans matrisi için bu işlemin nasıl yapıldığı ile ilgileniyoruz. Bu dönüşüm sayesinde kovaryans matrisi birbirine dik sütunlardan oluşur.

Bir matrisin sabit bir sayıyla çarpılması öz değer ve öz vektörlerini değiştirmez. Bu özellikten dolayı  $X^t X$  matrisini bazı durumlarda  $CovX$  varyans kovaryans matrisi olarak da kullanabiliriz. Bu farklı bir durum gibi algılanmamalıdır. Kovaryans matrisi değişkenler arasında varyans ve kovaryanslar hesaplanarak oluşturulacağı gibi tek tek gözlemler için ilgili çarpımlar hesaplanıp toplandığı taktirde de bulunabilir. KL dönüşümü kovaryans matrisinin öz vektörleri yardımıyla oluşturulur. Kovaryans matrisinin öz vektörleri  $U = \{u_1, \dots, u_s\}$  olmak üzere dönüşüm  $\mathcal{K} = U^t(X - EX)$  şeklinde tanımlanır. Burada  $EX$ ,  $X$  tesadüfi değişkeninin beklenen değerini göstermektedir. Aynı zamanda  $EX$ ,  $X$  tesadüfi değişkeninin gözlem değerlerinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Dönüşüm uygulama bakımından PCA yönteminden daha kolaydır. Kovaryans matrisi;

$$nCovX = \ell_1 \ell_1^t + \dots + \ell_n \ell_n^t \quad (10)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada  $\ell_j^t = (x_{j1}, \dots, x_{jp})$   $j$ -inci gözlem vektörüdür. Ayrıca  $\mathcal{K}$  matrisinin satır elemanları birbirlerine diktir.  $\mathcal{K}^t = (k_1, \dots, k_p)$  olmak üzere,

$$k_i = (u_i \ell_1^t, \dots, u_i \ell_n^t) \Rightarrow u_i \ell_1^t u_j \ell_1^t = \ell_1 u_i^t u_j \ell_1^t = 0 \Rightarrow k_i k_j^t = 0 \quad (11)$$

gerektirmeleri sağlar.

Sonuç olarak  $\mathcal{K}$  matrisinin satır elemanları  $x_1, \dots, x_p$  değişkenlerinin birbirlerine dik (ilişkisiz) olacak şekildeki lineer birleşimlerinden oluşur.

## 2.7. Kısmi En Küçük Kareler Yöntemi: PLS ve Nipals

Kısmi en küçük kareler yöntemi çok değişkenli veri kümelerinin modellenmesinde oldukça etkili bir yöntemdir. PLS modellemesi ve kullanılan algoritmalar Martens H, Naes T. (1989) tarafından kaleme alınan kitapta ayrıntılı olarak bulunur. PLS için ortogonal ayırıştırma, kısıtlama koşullarına tabi olan bir ekstremum problemidir. Bu nedenle Lagrange çarpanları yöntemi kullanılarak incelenebilir. Zhu, E. ve Barnes, R. M. (1995) bu yöntemle 'basit yineleme algoritması' denilen etkili bir yineleme algoritması elde etmişlerdir. Burada ana fikir, tahmin için regresyon modelinin uygun şekilde hesaplanmasıdır. Bunun için lineer regresyon modelinde veri matrisi parçalanarak katsayılar matrisi ile çarpıldığında iki parçaya ayrılır. İkinci parça gizli değişkenleri içermektedir. Gizli değişkenlerin iterasyonunda yinelemeli denklemler ters matris yardımıyla bulunur. Bu şekildeki basit yineleme algoritmaları, NIPALS algoritmasından daha hızlı, daha fazla bellek tasarrufu sağlar ve programlanması daha kolaydır. PLS regresyonu için basit yineleme algoritması ile NIPALS algoritması karşılaştırıldığında, yeni algoritmanın kesinliği klasik algoritmadan daha kötü değildir. Yeni yöntem, klasik algoritmanın amacı olan gizli değişkenler ile  $Y$  arasındaki

kovaryansın maksimum olduğu ekstremum problemlerini de çözebilir (Zhu, E. & Barnes, R. M. 1995). Ancak algoritmalar gerçekleştirilirken bilgisayarda yapılan yuvarlama hataları sonucunda birbirine dik çıkması beklenen vektörlerin dik olmadıkları sonucu ile de karşılaşılabilir (Seasholtz, M. B., Pell, R. J. & Gates, K. E. 1990). NIPALS algoritması ile ilgili çokça kaynak literatürde mevcuttur. Bunların herbirisi mevcut algoritmaya yaptıkları küçük dokunuşlarla gerek algoritmanın yakınsama durumunu gerekse tahminlerin güvenilirliğini artıtmayı amaçlamaktadır (Ergon, R. 2009). Burada gerçekleştirdiğimiz kısa çalışmada bunların hepsine ayrıntılı bir şekilde değinmek imkânımız maalesef mümkün değil. Bu bölümde sadece NIPALS algoritmasının Wold, H. (1966) ve Wold, S. ve ark. (1984) tarafından verilen ilk haline değineceğiz.

PLS yönteminde ilk dikkat edilmesi gereken unsur "kısmi" olma özelliğidir. Bu kısaca şu anlama gelir, PCA yönteminde SVD ayrışımı yapılırken tüm öz vektörler öncelikle elde edilmeli ve matris parçalanması gerçekleştirilmelidir. PLS yönteminde ise bu durum adımsal olarak işletilir. İlk önce en büyük öz değere karşılık öz vektör bulunarak işlem başlatılır. Daha sonra bu öz vektör ilgili matristen atılarak eksiltilmiş olan veri matrisinin en büyük öz değeri, veri matrisinin ikince öz değeri ve bu öz değere karşılık gelen öz vektör bulunarak işlemler bir döngü içerisinde takip edilir. Eksiltilmiş matris kavramına kısaca açıklık getirelim. Determinantı sıfırdan farklı olan  $(n \times n)$  tipli  $A$  matrisinin öz değerleri sırasıyla  $\lambda_1 > \dots > \lambda_n$  ve öz vektörleri sırasıyla  $v_1, \dots, v_n$  olmak üzere bu matris,

$$A = \lambda_1 v_1 v_1^t + \dots + \lambda_n v_n v_n^t \quad (12)$$

şeklinde özdeğer ve özvektörler cinsinden yazılabilir.  $A$  matrisinin bu yazılışı spektral ayrışım olarak bilinmektedir.

Bu durumda  $A - \lambda_1 v_1 v_1^t = \lambda_2 v_2 v_2^t + \dots + \lambda_n v_n v_n^t$  olup  $A - \lambda_1 v_1 v_1^t$  eksiltilmiş matrisinin en büyük öz değeri  $\lambda_2$  olur. Benzer işlem SVD ayrışımı için de geçerlidir. Veri matrisinin SVD ayrışımı  $X = UAV^t$  olmak üzere öz değerleri  $\lambda_1 > \dots > \lambda_p$  ve  $U = [u_1, \dots, u_p]$ ,  $V = [v_1, \dots, v_p]$  ise  $X$  matrisi,

$$X = \lambda_1 u_1 v_1^t + \dots + \lambda_p u_p v_p^t \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir.

Kısmi en küçük kareler yöntemi genel olarak çok değişkenli regresyon analizine göre düzenlenmiştir. Ancak çoklu regresyon olduğu zamanda uygulanabilir. Regresyonda bağımsız değişkenlerin veri matrisinin sütunları ile bağımlı değişkenlerin veri matrisinin sütunlarının arada olan ilişkiyi belirtebilmesi için aynı uzayı tanımlamaları gerekmektedir. Basit olarak düşündüğümüzde çoklu regresyon denkleminde regresyon tahmin denklemi  $Xb = \hat{y}$  şeklinde yazıldığında bağımsız değişken veri matrisinin sütunlarının lineer birleşimleri bağımlı değişkenin tanımladığı bölgeyi göstermektedir. Bu ise bağımlı değişkenin tanımladığı bölgenin aslında bağımsız değişkenlerin veri matrisinin sütun uzayı tarafından tanımlandığını açık bir şekilde gösterir. Sonuç olarak  $X$  ve  $Y$  matrislerinin SVD ayrışımalarının sırasıyla  $X = T\xi^t$ ,  $Y = T\eta^t$  şeklinde yazılması bize bu imkanı vermektedir.

Ancak  $X$  ve  $Y$  matrislerinin SVD ayrışımalarını ayrı ayrı yaptığımızda  $X = U_X \Lambda_X V_X^t$  ve  $Y = U_Y \Lambda_Y V_Y^t$  parçalanmalarından elde edilen  $U_X \Lambda_X \neq U_Y \Lambda_Y$  olduğundan aranan  $T$  matrisi elde edilemez. Bu durumda  $X^t X B = X^t Y$  denklem sisteminin sütun uzayları bu özelliği sağladığından  $X^t Y$  matrisinin en büyük öz değerine karşılık gelen öz vektörü ile işe başlanmalıdır. Bütün öz

değerler bir anda bulunamaz. Gerçekte PLS yönteminin kısmi yapılmasının nedeni de budur. Buna göre  $S = X^t Y$  olmak üzere  $SS^t$  matrisinin en büyük öz değeri  $\lambda_1$  ve bu öz değere karşılık gelen öz vektör  $w_1$  olsun. Bu öz vektörü ilk adımda  $\xi$  matrisinin ilk sütunu olarak değerlendiririz.  $X\xi = T$  eşitliğinden  $T$  matrisinin ilk sütunu  $t_1 = Xw_1$  çarpımından elde edilir. Bunun devamında  $T$  matrisinin ilk sütunu elimizde olduğundan  $\xi$  ve  $\eta$  matrislerinin ilk sütunlarını da,

$$X = T\xi^t \Rightarrow X^t = \xi T^t \Rightarrow X^t T = \xi T^t T \Rightarrow X^t t_1 = \xi_1 t_1^t t_1 \Rightarrow \xi_1 = X^t t_1 / t_1^t t_1 \quad (14)$$

$$Y = T\eta^t \Rightarrow Y^t = \eta T^t \Rightarrow Y^t T = \eta T^t T \Rightarrow Y^t t_1 = \eta_1 t_1^t t_1 \Rightarrow \eta_1 = Y^t t_1 / t_1^t t_1 \quad (15)$$

şeklinde elde edebiliriz.

Böylelikle PLS yönteminin ilk adımı tamamlanmış olur. İkinci adıma geçerken  $X$  ve  $Y$  matrislerini  $t_1$ ,  $\xi_1$  ve  $\eta_1$  yardımıyla,

$$X = t_1 \xi_1^t + \dots + t_p \xi_p^t \Rightarrow X_1 = X - t_1 \xi_1^t \quad (16)$$

$$Y = t_1 \eta_1^t + \dots + t_p \eta_p^t \Rightarrow Y_1 = Y - t_1 \eta_1^t \quad (17)$$

şeklinde bir kademe eksilterek yeniden ifade edebiliriz.

Burada  $X_1$  ve  $Y_1$  ikinci döngüde kullanacağımız eksiltilmiş yeni matrislerimizdir. İşlem tamamlandığında  $T$ ,  $\xi$  ve  $\eta$  matrislerinin tüm sütunları elde edilmiş olur. Kısaca  $XB = Y$  denkleminde  $X$  matrisinin  $X = T\xi^t$  şeklinde yazılabileceği dikkate alındığında  $B$  parametre matrisi;

$$XW = T\xi^t W \Rightarrow \hat{X} = XWW^t = T\xi^t WW^t \Rightarrow B = W(\xi^t W)^{-1} T^t Y \quad (18)$$

olarak elde edilir. Burada  $W$  matrisi  $X^t Y$  matrisinin öz vektörlerinden oluşurken  $\hat{X}$  düşük ranklı yeni veri matrisidir (Stott ve ark, 2017).

## 2.8. Online Nipals Algoritması: OL-PLS

Kısmi en küçük kareler yöntemi kullanım kolaylığı ve iyi sonuç vermesi bakımından veri analizinde sıkça kullanılan önemli bir analizdir. Yöntemin uygulanmasında takip edilen algoritma, Nipals, SVD yönteminin adimsal uygulamaya dönüştürülmesiyle başarılı bir şekilde tanımlanmıştır. Uzunlamasına gözlenen verilerde araştırmacı bu yöntemi uygulayabilmek için gözlemi durdurarak hesaplama yapmalıdır. Ancak veri gözlem durduktan sonra da sürdürülebiliyorsa ilk yapılan hesaplamalara sonraki gözlemlerin eklenmesi doğrudan mümkün olmamaktadır. Bu aşamada geliştirilen OL-PLS yöntemi bu bakımdan oldukça kullanışlıdır (Stott ve ark,2017). Bu yöntem birinci veriden başlayarak Nipals algoritmasını işletebilmekte ve bu sayede gözlem ilerledikçe her adımda hesaplama yapılabilmektedir. Veri matrisi  $X = (x^1, \dots, x^p)$  ve cevap değişkeni  $Y = (y^1, \dots, y^r)$  olmak üzere  $X^t Y$  matrisi,

$$S = X^t Y = g_{X1}^t g_{Y1} + \dots + g_{Xn}^t g_{Yn} \quad (19)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada  $g_{Xj} = (x_j^1, \dots, x_j^p)$  ve  $g_{Yj} = (y_j^1, \dots, y_j^r)$   $j$ -inci gözlem vektörleridir. Diğer ilgili adımlar Nipals algoritmasında olduğu gibi takip edilir.

## 3. Pratik Bir Uygulama

Veri üzerinde NIPALS algoritmasının adım adım uygulanması oldukça güç bir süreçtir. Bu bakımdan işlemler için bir paket program kullanmak daha avantajlı olacağından Matlab paket programı ile çalışılmıştır. Bu aşamada paket programın verdiği *e-ISSN: 2148-2683*

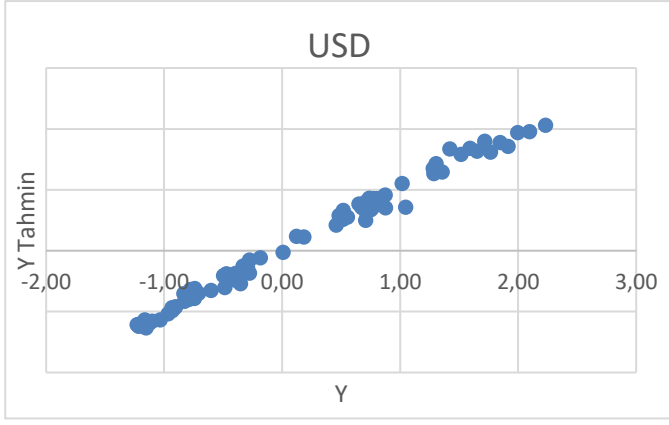
çıktıların yorumlanması ve anlamlandırılması bakımından veri üzerinde kısa bir uygulama yapacağız. Araştırmaya konu olan veriler TÜİK ve Türkiye Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sisteminden elde edilmiştir. Çalışmada USD ve EURO kurları bağımlı değişken alınırken ihracat ( $X_1$ ), ithalat ( $X_2$ ), borsa endeksi ( $X_3$ ), işsizlik oranı ( $X_4$ ), enflasyon ( $X_5$ ), cari açık ( $X_6$ ) ve döviz rezervi ( $X_7$ ) bağımsız değişken olarak alınmıştır. Bu verilere bağımlı değişken olarak önce USD sonra EURO alınmış ve çoklu lineer regresyon analizi uygulanmıştır.

İlk önce USD bağımlı değişken alınarak regresyon analizi yapıldığında  $R^2$ , %99 olarak bulunurken model istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Yapılan analizin sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Cevap değişkeni USD için yapılan çoklu regresyon analizi sonuçları (Table 2. Multiple regression analysis results for the response variable USD)

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	p değeri
Regresyon	88,227	7	12,604	1337,146	,000
Hata	,773	82	,009		
Toplam	89,000	89			
Modelin uyumu $R^2$ : 0,991					
Tahminin standart hatası: 0,09709					
Cevap değişkeni: USD					
Faktörler:	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	p değeri		
Model sabiti	-2,54e-12	0,010	1,000		
$X_1$ : ihracat	-0,006	0,012	0,597		
$X_2$ : ithalat	-0,003	0,011	0,791		
$X_3$ : borsa endeksi	-0,080	0,025	0,002		
$X_4$ : işsizlik oranı	-0,072	0,021	0,001		
$X_5$ : enflasyon	0,821	0,052	0,000		
$X_6$ : cari açık	0,043	0,012	0,001		
$X_7$ : döviz rezervi	-0,296	0,034	0,000		

Tablo 2 incelendiğinde model sabiti dahil olmak üzere birinci ve ikinci değişkenlerin modele katkısının anlamsız olduğu görülmektedir. Bu durumda USD değerlerindeki değişimi ihracat ve ithalat etkilememektedir. Modele katkısı en fazla olan üç değişken ise sırasıyla enflasyon, döviz rezervi ve borsa endeksidir. Dikkat edilecek olursa USD ile enflasyon arasında beklendiği gibi pozitif bir ilişki, döviz rezervi ve borsa endeksi ile de zıt yönlü bir ilişki modelde yakalanmıştır. Cevap değişkeni USD için çoklu doğrusal regresyon modelinden elde edilen tahmin değerlerinin USD değerlerini ne ölçüde doğru tahmin ettiğinin görülebilmesi bakımından USD değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Modelin uyumu grafiğinin birinci açıortay doğrusu üzerinde çıkmasına bağlıdır.



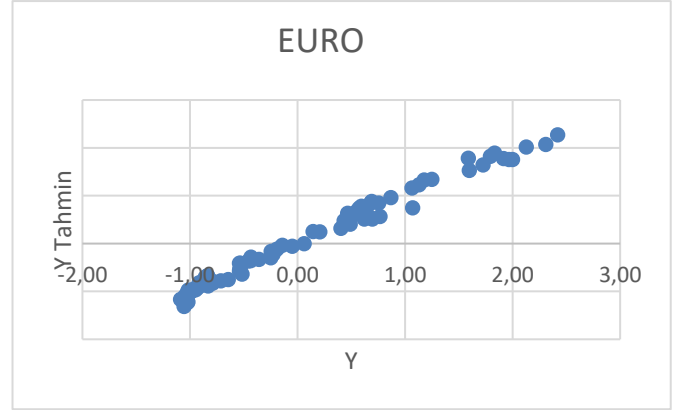
Şekil 1. Cevap değişkeni USD değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 1. Graph of response variable USD values and predicted values)

İkinci olarak cevap değişkeni EURO için çoklu regresyon analizi yapıldığında  $R^2$  %98 olarak bulunurken model istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Yapılan analizin sonuçları Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Cevap değişkeni EURO için yapılan çoklu regresyon analizi sonuçları (Table 3. Multiple regression analysis results for the response variable EURO)

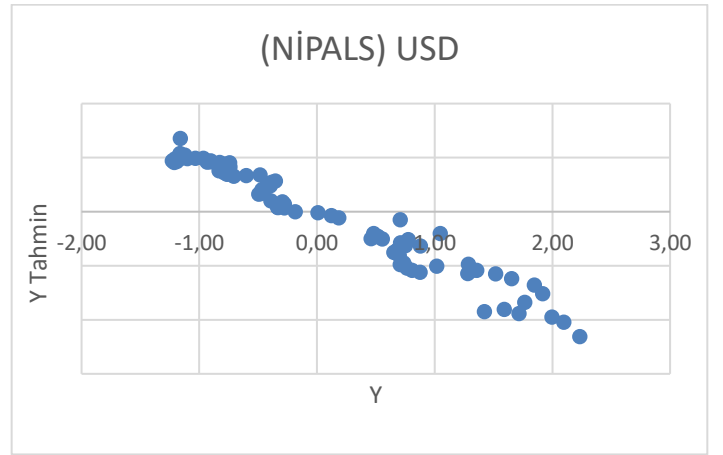
	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	p değeri
Regresyon	87,782	7	12,540	844,422	0,000
Hata	1,218	82	0,015		
Toplam	89,000	89			
Modelin uyumu $R^2$ : 0,986					
Tahminin standart hatası: 0,12186					
Cevap değişkeni: EURO					
Faktörler:	Katsayılar	Katsayıların standart hatası		p değeri	
Model sabiti	2,698e-11	0,013		1,000	
$X_1$ : ihracat	0,063	0,015		0,000	
$X_2$ : ithalat	0,003	0,014		0,849	
$X_3$ : borsa endeksi	0,002	0,031		0,951	
$X_4$ : işsizlik oranı	-0,150	0,027		0,000	
$X_5$ : enflasyon	0,823	0,065		0,000	
$X_6$ : cari açık	0,056	0,016		0,001	
$X_7$ : döviz rezervi	-0,306	0,043		0,000	

Tablo 3’e dikkat edilecek olursak model sabiti ve kullanılan açıklayıcı değişkenlerden ithalat ve borsa endeksi değerlerinin modele katkısı anlamlı değildir. Bu durumda EURO değerlerindeki değişimi ithalat ve borsa endeksi değerleri etkilememektedir. Modele katkısı en fazla olan üç değişken ise sırasıyla enflasyon, döviz rezervi ve işsizlik oranıdır. Dikkat edilecek olursa EURO ile enflasyon arasında beklendiği gibi pozitif bir ilişki, döviz rezervi ve işsizlik oranı ile de zıt yönlü bir ilişki modelde yakalanmıştır. Cevap değişkeni EURO için çoklu doğrusal regresyon modelinden elde edilen tahmin değerlerinin EURO değerlerini ne ölçüde doğru tahmin ettiğinin görülebilmesi bakımından EURO değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği Şekil 2’de verilmektedir. Grafik birinci açıortay doğrusu üzerinde ve etrafında yer almaktadır.



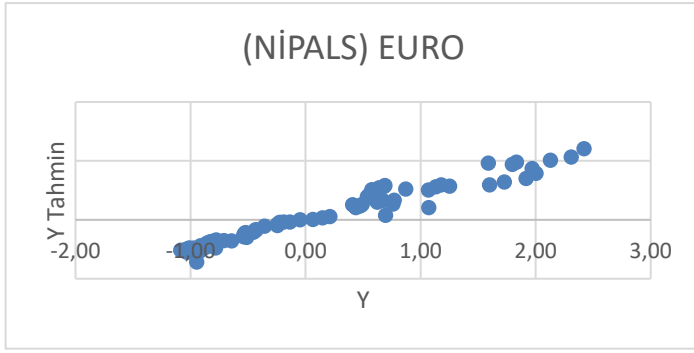
Şekil 2. Cevap değişkeni EURO değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 2. Graph of response variable EURO values and predicted values)

Şimdi NIPALS algoritmasını uygulayarak USD ve EURO değerlerini açıklayıcı değişkenlerin nasıl tahmin ettiğini görelim. Kullanılan model çok değişkenli doğrusal model olup açıklayıcı değişkenlerin USD ve EURO değerlerini birlikte nasıl açıkladığını göstermektedir. Elde edilen tahmin değerleri ile verinin grafiği, Şekil 3 ve Şekil 4’de sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3. NIPALS algoritması kullanılarak USD değişkeninin değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 3. Graph of the values of the USD variable and the predicted values using the NIPALS algorithm)

Hata kareler ortalaması  $HKO = 0,9889$  olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki şekle bakıldığında tahmin değerlerinin dar bir alanda toplandığı dikkati çekmektedir. Bu durumda USD kurunu etkilediği düşünülen açıklayıcı değişkenlerin USD kuru üzerinde etkisiz olduğu sonucuna varabiliriz. Ancak çoklu regresyon incelemesinde açıklayıcı değişkenlerin USD kuru üzerinde etkili olduğunu görmüştük. Burada karşımıza çıkan zıtlığın nedenleri kullanılan analiz yöntemlerinin birinin yetersizliğinden mi yoksa verinin yetersizliğinden mi kaynaklandığına öncelikli olarak karar vermemiz gerekmektedir. Bunun yerine kullanılan yöntemlerden çoklu doğrusal modelin veriye daha uygun olduğunu söylemek hata olur. Bu soruna yazının son bölümünde tekrar değinilecektir.



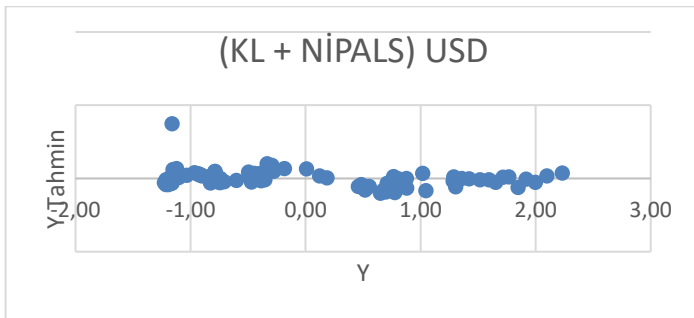
Şekil 4. NİPALS algoritması kullanılarak EURO değişkeninin değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 4. Graph of the values of the EURO variable and the predicted values using the NİPALS algorithm)

Hata kareler ortalaması HKO= 0,9889 olarak hesaplanmıştır. Şimdi KL dönüşümü yaptıktan sonra NİPALS algoritmasını veriye uygulayalım. Açıklayıcı değişkenlerin katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Regresyon katsayıları: değerler 1.0e-12 ile çarpılır (Table 4. Regression coefficients: values multiplied by 1.0e-12)

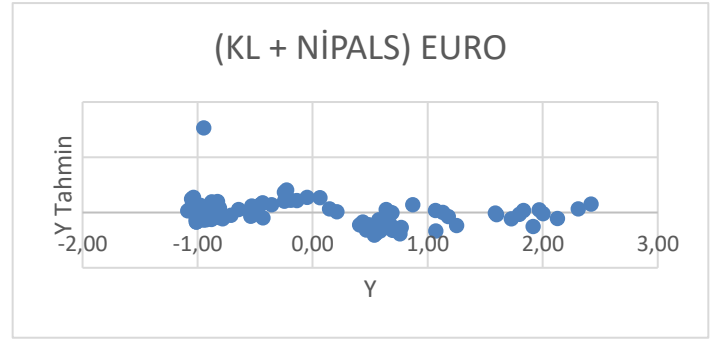
$X_1$ : ihracat	0.2764	-0.0064
$X_2$ : ithalat	-0.0032	0.0001
$X_3$ : borsa endeksi	-0.0145	0.0003
$X_4$ : işsizlik oranı	0.0958	-0.0022
$X_5$ : enflasyon	-0.0070	0.0002
$X_6$ : cari açık	-0.0195	0.0005
$X_7$ : döviz rezervi	-0.2828	0.0066

Tablo 4'te verilen katsayılar göre USD EURO kurlarını etkileyen en önemli açıklayıcı değişken döviz rezervidir. Döviz rezervi USD kurunu zıt yönlü etkilerken EURO kurunu aynı yönlü etkilemektedir. Şekil 5 ve Şekil 6 ile verilen grafikler sırasıyla USD ve EURO kur değerlerinin tahminlerine aittir.



Şekil 5. KL+NİPALS algoritması kullanılarak USD değişkeninin değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 5. Graph of the values of the USD variable and the predicted values using the KL+NİPALS algorithm)

Hata kareler ortalaması HKO= 0,0071 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. KL+NİPALS algoritması kullanılarak EURO değişkeninin değerleri ile tahmin değerlerinin grafiği (Figure 6. Graph of the values of the EURO variable and the predicted values using the KL+NİPALS algorithm)

Hata kareler ortalaması HKO= 1,9707 olarak hesaplanmıştır.

#### 4. Sonuç

Çalışmamızda sırasıyla çoklu regresyon, temel bileşenler, KL dönüşümü ve NİPALS algoritması tanıtılmıştır. Bu analizlerin neden gerekli olduğu matematiksel arka planları ile verilmiştir. Bunlara ek olarak son yapılan uygulama ile USD ve EURO kurlarını etkileyen faktörler KL dönüşümü ile birlikte NİPALS algoritması yardımıyla araştırılmıştır. Bu uygulamada USD ve EURO kurları ayrı ayrı iki çoklu regresyon modeli ile tahmin edildikten sonra NİPALS algoritması ile çok değişkenli regresyon analizi yapılarak cevap değişkeni USD ve EURO kurları birlikte kullanılmıştır. Cevap değişkenlerinin birbirlerini etkilemesi doğaldır. İki döviz kuru doğal olarak makroekonomik göstergelere bağlı birbirlerini etkileyebilir. Bu bakımdan tüm değişkenlere ilk önce KL dönüşümü uygulanarak bağımlılık ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Bu analizin sonucunda her iki kurda birlikte etkileyen ilk üç değişken sırasıyla döviz rezervi, ihracat ve işsizlik oranı olarak elde edilmiştir. Bu durum Bilgin, M. H. (2004) ve Branson, W. H. (1983)'ün çalışmaları da bunu teyit etmektedir. Döviz kuru ile dış ticaret ve işsizlik arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Ancak her iki kura aynı açıklayıcı değişkenler ile çoklu regresyon yapıldığında USD kurunu etkileyen değişkenler enflasyon, döviz rezervi ve borsa endeksi çıkarken EURO kurunu etkileyen önemli değişkenler enflasyon, döviz rezervi ve işsizlik oranı çıkmaktadır. İlk olarak burada dikkati çeken önemli bir nokta enflasyonun çoklu regresyonda önemli olduğuna karar verilirken çok değişkenli regresyonda önemli olmamasıdır. Doğal olarak enflasyon zaten diğer açıklayıcı değişkenlerden etkilenen bir değişken olması nedeniyle NİPALS algoritması bu değişken etkisini diğer değişkenlere atfederek önemini zayıflatmıştır. Ancak çoklu regresyon bunu yapabilme kabiliyetine sahip olmadığından bu değişkeni en önemli değişken olarak analiz sonucunda vermektedir. Burada dikkati çeken bir başka önemli nokta da her iki regresyon incelemesinde de döviz rezervinin anlamlı olarak bulunmasıdır. Tabii ki döviz rezervi de diğer açıklayıcı değişkenlerden etkilenir. Ancak diğer değişkenlerin sonucu olabildiği gibi aslında daha çok nedeni de olmaktadır. Bundan dolayı NİPALS algoritmasında önemli bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada önemli bir soru merkez bankasındaki döviz rezervinin kuru hangi yönde etkilediğidir. İhracatın artması piyasalarda dönen döviz miktarının ve merkez bankası döviz rezervinin de artmasını sağlar. Ancak sadece merkez bankası döviz rezervinin artması piyasalardaki dövizin

merkez bankası tarafından çekildiğinin de bir göstergesi olabilir (Gedik, A. 2020). Döviz rezervinin artmasıyla kurun artışa geçmesi ise tamda bunun bir göstergesidir. EURO kurunda bunun gerçekleştiğini görebilmekteyiz (Buscher, H. S. ve Claudia Mueller 1997). Burada dikkat edilmesi gereken bir başka önemli ayrıntı da dış ticaretin hangi oranda EURO ve USD bölgesinde yapıldığıdır. USD kuruna bakıldığında döviz rezervinin azalması kurun artışını beraberinde getirmektedir. Merkez bankası yeterli döviz rezervine sahip olmadığında piyasalara döviz sürememekte bunun sonucu olarak ta USD kuru artmaktadır (Branson, W. H. 1983). İhracatın artmasının USD kurunu artırması ise direkt olarak dış ticaretin EURO bölgesiyle yapılmasından kaynaklıdır. Analiz sonuçlarına bakıldığında ele alınan makroekonomik göstergelerin USD kurunu değil EURO kurunu daha iyi açıklamasının nedeni de budur. Son olarak burada vurgulamak isteriz ki her araştırmada ilk önce bir ön çalışma ile seçilen değişkenlerin nasıl kullanılacağına karar verilmelidir. İnceleme sonuçlarında da vurguladığımız gibi en azından dış ticaretin böyle bir araştırmada kullanılabilmesi için yeni bir değişken olarak ticaret bölgelerinin sınıflandırılması gerekmektedir. Ele alınan veri seti tek bir yöntemle değil en azından iki yöntemle yapılmalı ve yöntemlerin verdiği sonuçların karşılaştırılması yerine farklılıklarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

## Kaynakça

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics, 2(4), 433-459.
- Alexander E. Stott, Sithan Kanna, Danilo P. Mandic, William T. Pike (2017), An Online Nipals Algorithm for Partial Least Squares, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, pp. 4177-4181.
- Andersson, M. (2009). A comparison of nine PLS1 algorithms. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 23(10), 518-529.
- Avraham Lorber, Lawrence E. Wangent, and Bruce R. Kowalski (1987) "A Theoretical Foundation for The PLS Algorithm" Journal of Chemometrics, Vol. 1, 19-31.
- Bilgin, M. H. (2004). Döviz Kuru İşsizlik İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir İnceleme, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (8), 80-94.
- Branson, W. H. (1983), A Model of Exchange-rate Determination with Policy Reaction: Evidence from Monthly Data, NBER Working Paper, No: 1135.
- Buscher, H. S. ve Claudia Mueller (1997), Exchange Rate Volatility Effects On The German Labour Market: A Survey Of Recent Results And Extensions, Discussion Paper Series, No. 37, Institute For The Study Of Labor, March 1997.
- Cauchy, A. L. (1829). Sur l'équation l'aide de laquelle on détermine les inégalités séculaires des mouvements des planetes. Oeuvres Completes (Ileme Série), 9.
- Courrieu, P. (2008). Fast computation of Moore-Penrose inverse matrices. arXiv preprint arXiv:0804.4809.
- Dayal, B. S., & MacGregor, J. F. (1997). Improved PLS algorithms. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 11(1), 73-85.
- De Jong, S. (1993). SIMPLS: an alternative approach to partial least squares regression. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 18(3), 251-263.
- Ergon, R. (2009). Re-interpretation of NIPALS results solves PLSR inconsistency problem. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 23(2), 72-75.
- Faber, M. N., & Ferré, J. (2008). On the numerical stability of two widely used PLS algorithms. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 22(2), 101-105.
- Gedik, A. (2020), Türkiye'de İthalat İhracat İle Enflasyon Arasında Nedensellik Analizi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(19), 323-333.
- Golub, G., & Kahan, W. (1965). Calculating the singular values and pseudo-inverse of a matrix. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Series B: Numerical Analysis, 2(2), 205-224.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. Journal of educational psychology, 24(6), 417.
- Karamizadeh, S., Abdullah, S. M., Manaf, A. A., Zamani, M., & Hooman, A. (2013). An overview of principal component analysis. Journal of Signal and Information Processing, 4(3B), 173.
- Karhunen, K. (1947). Under lineare methoden in der wahr scheinlichkeitsrechnung. Annales Academiae Scientiarum Fennicae Series A1: Mathematica Physica, 47.
- Kartal, M., Depren, S. K., & Depren, Ö. (2018). Türkiye'de Döviz Kurlarını Etkileyen Makroekonomik Göstergelerin Belirlenmesi: MARS Yöntemi ile Bir İnceleme, MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7(1), 209-229.
- Koliha, J. J. (1996). A generalized Drazin inverse. Glasgow mathematical journal, 38(3), 367-381.
- Loeve, M. (1948). Fonctions aleatoires du second ordre. Processus stochastique et mouvement Brownien, 366-420.
- Marquardt, D. W., & Snee, R. D. (1975). Ridge regression in practice, The American Statistician, 29(1), 3-20.
- Martens H, Naes T. (1989) Multivariate Calibration 3rd edn. John Wiley: New York.
- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. The London, Edinburgh, and Dublin philosophical magazine and journal of science, 2(11), 559-572.
- Penrose, R. (1955, July). A generalized inverse for matrices. In Mathematical proceedings of the Cambridge philosophical society (Vol. 51, No. 3, pp. 406-413). Cambridge University Press.
- Qin, L., Snoussi, H., & Abdallah, F. (2014, September). Online learning partial least squares regression model for univariate response data. 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 1073-1077). IEEE.
- Ramsay, J. O., & Dalzell, C. J. (1991). Some tools for functional data analysis. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 53(3), 539-561.
- Rosipal, R., & Krämer, N. (2005, February). Overview and recent advances in partial least squares, In International Statistical and Optimization Perspectives Workshop" Subspace, Latent Structure and Feature Selection" (pp. 34-51). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Seasholtz, M. B., Pell, R. J., & Gates, K. E. (1990). Comments on the power method. Journal of chemometrics, 4(4), 331-334.
- Şit, M., & Karadağ, H. (2019). Döviz Kurunu Belirleyen Ekonomik Faktörler: Türkiye Ekonomisi İçin ARDL Sınır Testi Uygulaması, International Journal of Economic & Administrative Studies, (23).

- Terzi, H., & Kurt, S. (2007). Türkiye'de Dolarizasyon Sürecinde Döviz Kuru ve Enflasyon İlişkisi, *Ekonomik Yaklaşım*, 18(64), 1-22.
- Wold, H. (1966). Estimation of principal components and related models by iterative least squares. *Multivariate analysis*, 391-420.
- Wold, S., Ruhe, A., Wold, H., & Dunn, Iii, W. J. (1984). The collinearity problem in linear regression. The partial least squares (PLS) approach to generalized inverses. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 5(3), 735-743.
- Wu, W., & Manne, R. (2000). Fast regression methods in a Lanczos (or PLS-1) basis. Theory and applications. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 51(2), 145-161.
- Yurdakul, F. (2016). Döviz Kuru Modellemesi ve Türkiye Üzerine Bir Uygulama, Ed. (Yurdakul, F.) içinde: Döviz Kurunun Belirleyicileri: Kısmi ve Koşullu Granger Nedensellik, SETAR, LSTAR, TVAR Modelleri, Ss. 1-51. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Zhu, E., & Barnes, R. M. (1995). A simple iteration algorithm for PLS regression. *Journal of chemometrics*, 9(5), 363-372.



# Erzurum Piyasasında Tüketime Sunulan Mahalli ve Endüstriyel Dondurmaların Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Nurullah Zekeriya Akar<sup>1\*</sup>, Salih Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID 0000-0003-2485-2382), [nzakar@gelisim.edu.tr](mailto:nzakar@gelisim.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8576-3327), [ozdemirs@atauni.edu.tr](mailto:ozdemirs@atauni.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 05 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 09 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1068702)

**ATIF/REFERENCE:** Akar, N.Z., Özdemir, S. (2022). Erzurum Piyasasında Tüketime Sunulan Mahalli ve Endüstriyel Dondurmaların Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 352-359.

## Öz

Bu çalışmada, Erzurum ilinde tüketime sunulan 10 adet mahalli ve 10 adet endüstriyel düzeyde üretim yapan firmalardan olmak üzere toplamda 20 sade dondurma örneği alınmış ve bu örneklerde mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Mikrobiyolojik analizler sonucunda ortalama toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (TAMB), maya ve küf sayısı ile koliform grubu bakteri sayıları mahalli dondurma örneklerinde sırasıyla; 5,89 log kob/g, 4,22 log kob/g ve 2,26 log kob/g ; endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örneklerinde ise; 4,72 log kob/g, <2,00 log kob/g ve <1,00 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Ortalama kurumadde, şeker (sakaroz), kül oranı, titrasyon asitliği (°SH), pH, ilk damlama süresi, tam erime süresi, % erime oranı ve viskozite değerleri (20, 50 100 rpm) mahalli dondurma örneklerinde sırasıyla; %35,89, %21,94, %0,74, 5,43, 6,25, 805 s, 2621 s, %67,84 ve 1962, 1330, 930 cP; endüstriyel dondurma örneklerinde ise %35,25, %19,23, %0,81, 4,04, 6,69, 747 s, 4051 s, %62,49 ve 2896, 1540, 999 cP olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak; endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örnekleri incelendiğinde kalite özellikleri bakımından standart bir üretim yapıldığı fakat mahalli örneklerin üretiminde ise standart bir üretimden uzak olduğu ve ayrıca sağlık açısından risk taşıdığı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Sade Dondurma, Mikrobiyolojik Kalite, Hijyen, Kimyasal Bileşim.

## Comparison of Some Physicochemical and Microbiological Properties of Samples of Plain Ice Cream produced as Industrial and at Local

### Abstract

In this research, a total of 20 plain ice-cream samples, including 10 local and 10 industrial plain ice-cream samples presented for consumption in Erzurum province, were collected from the market and microbiological, physical, and chemical analyzes were carried out on these samples. As a result of the microbiological analyzes, the average total aerobic mesophilic bacteria (TAMB), yeast and mould, and coliform bacteria count in local ice cream samples have been calculated as 5.89 log cfu/g, 4.22 log cfu/g, and 2.26 log cfu/g, respectively. Identical analyzes have also been performed for industrial ice-cream samples, and all data mentioned for local samples have been calculated. These values are determined as 4.72 log cfu/g, <2.00 log cfu/g and <1.00 log cfu/g, respectively. Moreover, the average dry matter, sugar (sucrose), ash ratio, titratable acidity (°SH), pH, first dropping time, full melting time, % melting rate, viscosity (20, 50, 100 rpm) values of local ice cream samples have been calculated as 35.89%, 21.94%, 0.74%, 5.43, 6.25, 805 s, 2621 s, 67.84% and 1962, 1330, 930 cP, respectively. These values have also been calculated for industrial ice-cream samples as 35.25%, 19.23%, 0.81%, 4.04, 6.69, 747 s, 4051 s, 62.49% and 2896, 1540, 999 cP, respectively. As a result of these comparisons, industrial ice-cream samples are observed that are generally in accordance with the standards in terms of the specified quality properties, however, local samples do not meet the standards and they have risks to health.

**Keywords:** Plain Ice cream, Microbiological Quality, Hygiene, Chemical Composition.

\* Sorumlu Yazar: [nzakar@gelisim.edu.tr](mailto:nzakar@gelisim.edu.tr)

## 1. Giriş

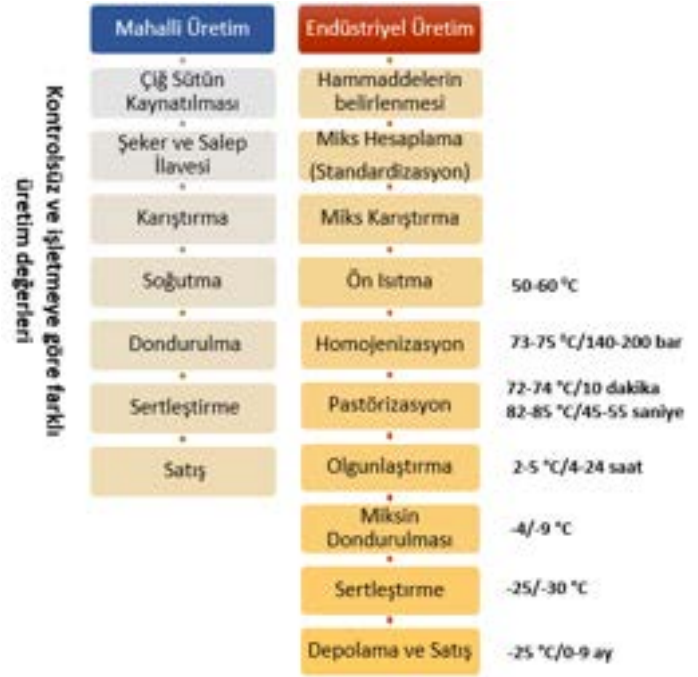
Sağlıklı bir yaşam için insan vücudunun hayvansal kaynaklı proteinlerden dengeli ve yeterli miktarda alması elzemdir. Hayvansal kaynaklı gıdaların başında ise besleyici niteliğe sahip olan süt ve süt ürünleri gelmektedir (Ünal ve Besler, 2008). Süt memeli hayvanların süt bezlerinden salgılanan, içinde tüm gerekli gıda bileşenlerini ihtiva eden tipik bir kokusu ve lezzeti olan, pH değeri nötre yakın ve su oranı yüksek bir sıvı gıdadır. Sütün tüm bu özelliklerine bakıldığında mikroorganizmaların gelişmesi bakımından elverişli bir ortam olması, ayrıca naklinin güç olması ve hacimli bir özelliğe sahip olması, sütün daha dayanıklı ürünlere işlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu ürünler arasında son zamanlarda Türkiye’de ve dünyada önemli gelişmeler kaydeden dondurma, ön plana çıkmaktadır (Türkmen ve Gürsoy 2017; López-Martínez vd., 2021).

Dondurma; süt ve ürünlerinden, emülgatör, stabilizatör, tatlandırıcı ve üretim çeşidine göre renk, aroma ve çeşni maddelerinden oluşan karışımın dondurucu denilen özel ekipmanlarda işlenmesiyle elde edilen bir üründür (Arbuckle, 2013). Yapısal olarak incelendiğinde dondurma; serum içinde dağılmış buz kristalleri, hava kabarcıkları, yağ kürecikleri ve kısmen birleşmiş yağ küresi kümelerinden oluşan karmaşık, çok fazlı bir gıdadır (Yan vd., 2021). Yüksek kaliteli bir dondurma elde etmek için işleme sırasında doğru bir şekilde kontrol edilmesi gereken birçok parametre olduğu gibi ayrıca miks hesaplamalarının ideal formülasyonda olması elzemdir. Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) ile Dünya Sağlık Teşkilatına (WHO) göre dondurmanın içeriğinde %8-15 süt yağı, %9-11 süt yağsız kurumaddesi, %15-17 şeker ve %0,2-1 oranında stabilizatör ve emülgatör olmak üzere toplamda %31-41 oranında kurumadde ihtiva etmesi gerekmektedir (Tekinşen ve Tekinşen, 2008). Çünkü reçeteye giren bileşenlerin oranı ve kimyasal yapıları ve ayrıca işleme koşulları dondurmanın duysal ve fiziksel kalitesini doğrudan etkiler (Clarke, 2015).

Dondurma, üretim aşamalarında ve depolama süresince mikrobiyolojik kontaminasyona ve gelişime oldukça elverişlidir. Avrupa ve Kuzey Amerika’daki bazı ülkelerde ve ülkemizde dondurma tüketimiyle ilişkili zehirlenmeler bildirilmiştir (Buvens vd., 2011; Anonim 2012). Özellikle pastörizasyon sonrası kontamine bileşenlerin eklenmesi, etkili olmayan sanitasyon uygulamaları ve uygun olmayan işletme hijyeni ile mikrobiyolojik tehlikeler meydana gelebilir. Hijyen kurallarının ihlal edildiği ortamda üretilen dondurmalar soğukta muhafaza edilen bir ürün olmasına rağmen nötre yakın pH, besleyici bileşenler ve uygun olmayan depolama şartları sebebiyle çoğu mikroorganizmanın gelişmesi için uygun besiyeri ortamını oluşturmaktadır (Kanbakan ve Çon, 2004).

Ülkemizde her ne kadar genç ve yaşlı nüfusun endüstriyel dondurmalara olan talebi artış gösterse de küçük işletmelerde ve pastanelerde mahalli olarak üretilen dondurmalar da yaygın şekilde tüketilmektedir. Geleneksel yöntemlerle üretim yapan bu işletmelerde, mikrobiyal kalitesi yüksek süt temini, üretilen dondurmaların pazarlanması, ilerleyen sektörel ve teknolojik gelişmelerin izlenmesi ve işletmeye adapte edilmesi gibi konularda birçok sorun olduğu tespit edilmiştir. Gerekli bilgi, tecrübe ve donanımına sahip olmayan işletmelerin gelişmiş sistemlerden yoksun, kalitesiz hammaddeler ile standart bir proses olmadan ürettikleri dondurmalar halk sağlığını tehdit etmekte hem de standart kalitede ürün olma özelliğini

kaybetmektedir. Mahalli ve endüstriyel dondurma üretim akış şeması Şekil 1’de belirtilmiştir (Uludağ, 2010; Goff ve Hartel, 2013a).



Şekil 1. Mahalli ve endüstriyel sade dondurmaların üretim akış şeması (Figure 1. Production flow chart of local and industrial plain ice creams)

Bu doğrultuda gerçekleştirdiğimiz çalışmanın amacı; Erzurum’da mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilip satışı sunulan sade dondurmaların mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini karşılaştırarak, ürünleri standart üretim ve halk sağlığı açısından değerlendirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, Erzurum ilinde tüketime sunulan 10 adedi mahalli ve 10 adedi endüstriyel düzeyde üretim yapan firmalardan olmak üzere, toplam 20 sade dondurma örneği analiz edilmiştir. Örnekler satışı sunulan orijinal ambalajları ile alınmıştır. Her bir çeşit için 500 g dondurma temin edilmiştir. Mahalli düzeyde üretim yapan firmalara ait örnekler A, endüstriyel düzeyde üretim yapan firmalara ait olanlar B harfi ile kodlanmıştır. Soğuk zincir altında laboratuvara getirilen dondurma örneklerinde mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel analizler gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Mikrobiyolojik Analizler

Her bir dondurma örneğinden steril şartlarda cam kavanozun içerisine 10 gr tartılarak üzerine 90 ml steril fizyolojik tuzlu su (%0,85 NaCl) ilave edilmiştir. Her bir cam kavanozdan pipetler yardımı ile 1 ml alınarak 9 ml serum bulunan tüplere aktararak  $10^{-5}$ e kadar seyreltilerek analizlere uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır. Dondurma örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri (TMAB) sayımı için PCA (Plate Count Agar) ‘ya yayma yöntemi ile ekim yapılmış, inkübasyon sonunda oluşan koloniler



sayılmıştır (White vd., 1992). Koliform bakteri sayımı için steril şartlarda hazırlanan  $10^{-1}$ 'lik her bir dilisyonundan çift petri kutularına 1 ml ekim yapılmıştır. Daha sonra ekim yapılan petri kutularının üzerine önceden Violet Red Bile Agar (VRBA) ile hazırlanan ve  $45^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulan besiyerine dökme yöntemine göre aktarılmış ve tamamen donduktan sonra ters çevirilerek 24 saat boyunca  $32\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de inkübe edilmiştir. İnkübe edilen petri kutularında kırmızı ve pembe renkli koloniler sayılmıştır (Halkman, 2005). Maya ve küf sayımı için PDA (Potato Dextrose Agar) üzerine yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Bunun için steril şartlarda hazırlanan  $10^{-2}$  ve  $10^{-3}$ 'lük dilüsyonlardan 1 ml alınarak çift petri kutularına drigalski spatülü ile ekim gerçekleştirilmiştir. Ekim yapılan petri kutuları  $25^{\circ}\text{C}$ 'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında oluşan koloniler sayılarak, yapılan ekim yöntemine göre toplam maya ve küf sayısı hesaplanmıştır (Beuchad vd., 2007).

### 2.2.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Kuru madde analizine başlamadan önce etüvde kurutulan ve darası alınan metal kaplara hassas terazide dondurma örneklerinden yaklaşık 3 g tartılmış ve etüvde koyu sarı renk oluşuncaya kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler desikatörde soğutulmaya bırakıldıktan sonra hassas terazide tartılmıştır. Elde edilen veriler yöntemde belirtilen formül ile %'de olarak hesaplanmıştır (Kurt vd., 2012). Kül analizinde ise, sabit tartıma getirilene kadar  $105^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutularak desikatörde soğutulan porselen krezelere hassas terazide 5 g kadar örnek tartıldıktan sonra etüvde 1 saat kurutulmuştur. Daha sonra krezeler kül fırınına yerleştirilmiş olup  $550^{\circ}\text{C}$ 'de beyaz-gri renk oluşuncaya kadar yakılmıştır. Desikatöre soğuması için yerleştirilen krezeler hassas terazide tartıldıktan sonra % kül

miktarı gravimetrik olarak tespit edilmiştir (Kurt vd., 2012). Miks haline getirilmiş olan dondurma örneklerine pH metre (Mettler Toledo) propları kullanılarak okuma işlemi doğrudan yapılmıştır (Metin ve Öztürk 2012). Şeker tayini Layne-Eynon yöntemi referans alınarak gerçekleştirilmiştir (Cemeroğlu, 1992). İlk damlama süresinin tespitinde ise darası alınmış bir kap ve üzerine geçirilen tel süzgece 10 g dondurma örneği tartılarak  $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de erimeye bırakılmıştır. Dondurmaların kap içerisine düştüğü ilk damla ve erimeye başladığı süre not edilerek aradaki fark ilk damlama süresi olarak belirtilmiştir. Önceden darası alınmış bir beher üzerine geçirilen tel süzgece her bir dondurma örneğinden 10 g tartılmıştır. Tamamen erime sonunda geçen süre not edilmiştir. Ayrıca 30 dak.'da eriyen kısım tartılıp not edilerek erime oranı yöntemde belirtilen formüle göre yüzde olarak hesaplanmıştır (Cotrell vd., 1979). Dondurma örnekleri bir beher içinde 200 g tartılıp  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat bekletildikten sonra eriyen her bir dondurma örneği 3 numaralı prop kullanılarak dijital Brookfield viskozimetre (Model DV-II) cihazında 20, 50 ve 100 rpm'de ölçümler kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler centipoise (cP) olarak belirtilmiştir (Aime vd., 2001).

### 2.2.3. İstatistiksel Analizler

Araştırma 10 adet endüstriyel ve 10 adet mahalli düzeyde olmak üzere toplamda 20 adet sade dondurma örneği 2 tekerrür olmak üzere fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizlere tabi tutulmuştur. Elden edilen veriler IBM SPSS 22 paket programı kullanılarak varyans analizleri yapılmış ve önemli çıkan varyasyon kaynaklarına ait ortalama değerler Duncan çoklu karşılaştırma testi ile analiz edilmiştir. T testi ise endüstriyel ve mahalli düzeydeki dondurmaların grup olarak karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Endüstriyel ve mahalli düzeydeki dondurma örneklerine ait mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Dondurma örneklerine ait mikrobiyolojik analiz sonuçları (log kob/g) (Table 1. Microbiological analysis results of ice cream samples (log cfu/g))

Örnekler	TAMB Sayısı	Maya ve Küf Sayısı	Koliform Grubu Bakteri Sayısı	
Mahalli	A <sub>1</sub>	6,22	3,95	2,48
	A <sub>2</sub>	6,71	2,93	2,27
	A <sub>3</sub>	6,28	4,34	2,63
	A <sub>4</sub>	6,90	3,96	2,58
	A <sub>5</sub>	5,43	5,09	2,53
	A <sub>6</sub>	4,41	5,02	1,92
	A <sub>7</sub>	5,78	3,86	2,09
	A <sub>8</sub>	4,48	3,49	2,04
	A <sub>9</sub>	6,27	4,78	2,19
	A <sub>10</sub>	6,38	4,76	1,90
Ortalama	5,89 <sup>a</sup>	4,22 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	
	B <sub>1</sub>	4,32	<2,00	<1,00
	B <sub>2</sub>	4,30	<2,00	<1,00
	B <sub>3</sub>	5,38	<2,00	<1,00

<b>Endüstriyel</b>	<b>B<sub>4</sub></b>	5,20	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>5</sub></b>	4,95	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>6</sub></b>	4,11	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>7</sub></b>	6,30	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>8</sub></b>	4,78	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>9</sub></b>	4,60	<2,00	<1,00
	<b>B<sub>10</sub></b>	3,30	<2,00	<1,00
<b>Ortalama</b>	<b>4,72<sup>a</sup></b>	<b>&lt;2,00<sup>b</sup></b>	<b>&lt;1,00<sup>b</sup></b>	

\*Farklı harfler ile gösterilen sonuçlar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Her iki grup dondurma örneklerinde TAMB sayısı 3,30 ile 6,90 log kob/g arasında değişiklik göstermiştir. Dondurma örneklerinin TAMB sayıları arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda en düşük TAMB sayısı B<sub>10</sub> örneğinde belirlendiği ve A<sub>4</sub> örneğinin diğerlerinden önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) yüksek TAMB sayısı içerdiği belirlenmiştir. Elde edilen mahalli örnekler için ortalama TAMB sayısı, Badayman (2018), Akarca ve Kuyucuoğlu (2008) ve Atasever (2018) tarafından elde edilen sonuçtan yüksek, Aksoy vd., (2013) göre düşük olduğu, endüstriyel örnekler için ortalama TAMB sayısı ise Badayman (2018), Akarca ve Kuyucuoğlu (2008) ve Aksoy vd., (2013)'a göre düşük, Atasever (2018) tarafından elde edilen sonuca göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. T testi sonucunda ise her iki dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde ( $p>0.05$ ) anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Dondurma standardına (TS 4265/1992) göre TAMB sayısı için uygun görülen sınır değer en fazla  $1,0 \times 10^5$  kob/g (5 log kob/g) olarak belirlenmiştir (Anonim, 1992). Bu standarda göre mahalli örneklerin ortalama TAMB sayısının standarda uygun olmadığı, fakat endüstriyel dondurmaların uygun olduğu tespit edilmiştir. Değişkenlik gösteren bu durumun mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilen dondurmaların farklı nitelikteki hammadde, işleme koşulları ve hijyenik şartlarda üretim yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü dondurma üretim yöntemleri, ekipmanlar ve hammadde kalitesi son ürünün bakteri içeriğinde değişimlere sebebiyet verebilmektedir. Örneğin homojenizatörün etkin temizlenmemiş olması sonucu mikroorganizma sayısında artış meydana gelebilmektedir. Pastörizasyon işleminden sonra kontamine olan bakteriler dondurulma, sertleştirme ve depolama sırasında canlılıklarını koruyabilirler. Ayrıca, miksin tankta uzun süre bekletilmesi, bakteri içeriğini artırmaktadır (Goff ve Hartel, 2013b).

Dondurma örneklerinde koliform grubu bakteri sayısı  $<1,00-2,63$  log kob/g arasında değişmiş olup, yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuştur. Endüstriyel düzeydeki 10 dondurma örneğinin hiçbirinde koliform grubu bakteri tespit edilmezken, mahalli düzeydeki 10 dondurma örneğinin hepsinde tespit edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda dondurma örneklerinde koliform grubu bakteri en yüksek A<sub>3</sub> ve A<sub>4</sub> dondurma örneklerinde ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. Elde edilen mahalli örnekler için ortalama koliform bakteri sayısı, Badayman (2018), Akarca ve Kuyucuoğlu (2008) ve Aksoy vd., (2013) tarafından elde edilen sonuçlardan düşük, İşleyici vd., (2016)

tarafından gerçekleştirilen çalışma ile paralellik gösterdiği, endüstriyel dondurma örneklerinin ortalama koliform sayısı ise belirtilen tüm çalışmalara göre düşük olduğu tespit edilmiştir. T testi sonucunda mahalli ve endüstriyel düzeyde üretim yapan firmalar arasında farklılık  $p<0.01$  düzeyinde önemlidir. Bir önceki dondurma standardına (TS 4265/1992) göre koliform grubu bakteri sayısı için uygun görülen sınır değer en fazla  $1,0 \times 10^2$  kob/g (2 log kob/g) olarak belirlenmiştir. Buna göre mahalli örneklerin ortalama koliform bakteri sayısının standarda uygun olmadığı fakat endüstriyel dondurmaların uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu mikrobiyolojik kalite farkının; mahalli dondurmaların üretiminde çalışan personelin hijyenik kurallara uymadığı, kullanılan alet ve ekipmanların iyi sterilize edilmediği şeklinde yorumlanabilir. Çünkü dondurma numunelerinde koliformların varlığı, yetersiz ısıl işlem, hijyenik olmayan malzemelerden veya kullanılan aletlerden ve kirli sudan kaynaklanabilir (Abo El-Makarem, 2017).

Genel olarak, dondurulmuş ürünlerde mikroorganizmaların hayatta kalma sırası, en yüksekten en düşüğe doğru bakıldığında bakteri sporlarından sonra maya ve küf sporları gelmektedir (Marshall, 2001). Dondurma örneklerinde maya ve küf sayısı  $<2,00-5,09$  log kob/g arasında değişmiş olup, yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. Endüstriyel düzeydeki dondurma örneklerinin tamamında maya ve küf sayısı,  $<2,00$  log kob/g olarak belirlenirken, mahalli düzeydeki örneklerin hepsinde daha yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda ise maya ve küf sayısı en yüksek A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>9</sub> ve A<sub>10</sub> örneklerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların Yücel ve Çıtak (2000) ile Evrensel ve Güneş (1998) tarafından elde edilen bulgulardan düşük olduğu tespit edilmiştir. İşleyici vd., (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada endüstriyel dondurmalarla maya ve küf oluşumu bakımından hiçbir bulguya rastlanmaması, endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örneklerinden elde ettiğimiz sonuçlar ile paralellik göstermektedir. T testi sonucunda mahalli ve endüstriyel düzeydeki örnekler arasındaki farklılık, ( $p<0.01$ ) düzeyinde önemli bulunmuştur. Elde ettiğimiz sonuçlara göre bu farklılığın, dondurma üretimi sırasında temizlik ve hijyenin yeterince yerine getirilememesi, muhafaza koşullarına uygun şekilde hareket edilmemesi ve kontamine girdilerin kullanılması sonucu kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü mayalar ve küfler dondurmaya, yetersiz işlenmiş şeker kamışı ve emülgatörlerin kullanımı ve aynı zamanda tatlandırıcılar, mutfak eşyaları, ekipman, insan eli ve atmosferden kontamine olmaktadır (Gürsel ve Karacabey, 1998).

### 3.2. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Endüstriyel ve mahalli düzeyde üretim yapan firmalara ait dondurma örneklerinin, bazı kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Dondurma örneklerine ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçlar (Table 2. Chemical and physical analysis results of ice cream samples)

Örnekler	Kuru Madde (%)	Şeker Oranı (%)	Kül Oranı (%)	Titrasyon Asitliği (SH)	pH	İlk Damlama Süresi (s)	Tam Erime Süresi (s)	Erime Oranı (30 dk. %)	Erimiş dondurma viskozitesi (cP)			
									20 rpm	50 rpm	100 rpm	
Mahalli	A <sub>1</sub>	33,73	22,13	0,74	8,06	6,28	1215	4074	50,04	1631	1108	706
	A <sub>2</sub>	33,51	22,26	0,78	7,92	6,18	1165	4014	43,14	1650	1104	718
	A <sub>3</sub>	34,16	23,13	0,76	8,44	6,28	850	3140	42,11	2229	1520	1129
	A <sub>4</sub>	33,92	23,48	0,75	8,67	6,21	810	2980	33,73	2262	1542	1124
	A <sub>5</sub>	37,40	26,60	0,72	7,10	6,23	1042	1843	92,30	2458	1689	1175
	A <sub>6</sub>	37,20	27,10	0,79	7,06	6,22	988	1887	89,94	2464	1673	1167
	A <sub>7</sub>	39,45	19,04	0,73	9,76	5,99	410	1928	93,81	745	626	476
	A <sub>8</sub>	38,85	19,21	0,76	8,57	6,09	460	1972	91,30	748	625	472
	A <sub>9</sub>	35,62	18,80	0,70	9,43	6,57	534	2225	76,08	2729	1707	1168
	A <sub>10</sub>	35,14	19,11	0,82	9,15	6,60	576	2154	66,42	2709	1705	1169
<b>Ortalama</b>	<b>35,89<sup>a</sup></b>	<b>22,10<sup>a</sup></b>	<b>0,76<sup>b</sup></b>	<b>8,42<sup>a</sup></b>	<b>6,26<sup>a</sup></b>	<b>805<sup>a</sup></b>	<b>2622<sup>b</sup></b>	<b>67,89<sup>a</sup></b>	<b>1962<sup>b</sup></b>	<b>1330<sup>b</sup></b>	<b>930<sup>b</sup></b>	
Endüstriyel	B <sub>1</sub>	35,85	19,34	0,99	4,55	6,93	487	4547	69,04	2160	1228	815
	B <sub>2</sub>	34,68	19,46	0,92	4,66	6,98	449	4597	67,48	2161	1238	820
	B <sub>3</sub>	36,55	19,70	1,06	6,98	6,40	1083	4047	65,11	1992	1462	1155
	B <sub>4</sub>	36,10	19,88	0,82	6,87	6,39	1185	4111	61,79	1994	1459	1157
	B <sub>5</sub>	36,70	19,14	0,77	6,22	6,50	812	4132	46,18	5451	2150	1105
	B <sub>6</sub>	36,56	19,26	0,89	6,17	6,51	833	4066	45,24	5465	2154	1136
	B <sub>7</sub>	32,58	19,95	0,79	5,44	6,91	529	3105	71,13	2660	1450	929
	B <sub>8</sub>	32,10	20,10	0,84	5,24	6,92	501	3201	66,89	2689	1464	932
	B <sub>9</sub>	35,61	18,03	0,87	5,77	6,71	814	4392	66,95	2186	1398	976
	B <sub>10</sub>	36,33	18,62	1,02	6,15	6,70	786	4318	65,13	2198	1402	975
<b>Ortalama</b>	<b>35,30<sup>a</sup></b>	<b>19,34<sup>b</sup></b>	<b>0,89<sup>a</sup></b>	<b>5,81<sup>a</sup></b>	<b>6,69<sup>a</sup></b>	<b>748<sup>a</sup></b>	<b>4052<sup>a</sup></b>	<b>62,49<sup>b</sup></b>	<b>2896<sup>a</sup></b>	<b>1540<sup>a</sup></b>	<b>999<sup>a</sup></b>	

\*Farklı harfler ile gösterilen sonuçlar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Her iki grup dondurma örneklerinin kuru madde değerleri %32,10 ile %39,45 arasında değişiklik göstermiştir. En düşük kuru madde değerinin B<sub>8</sub> örneğinde belirlendiği ve A<sub>7</sub> ile A<sub>8</sub> örneklerinin diğerlerinden önemli düzeyde (p<0.01) yüksek kuru madde içerdiği belirlenmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlara göre ise mahalli örneklerin ortalama kuru madde oranı, Badayman (2018) ile benzerlik gösterirken, Kırdar (2003) tarafından elde edilen sonuçtan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde endüstriyel dondurma örneklerinin ortalama kuru madde oranı Badayman (2018) ile benzerlik gösterirken, Kırdar (2003) tarafından elde edilen sonuçtan yüksek olduğu tespit edilmiştir. T testi sonucunda ise mahalli dondurma örnekleri ile endüstriyel dondurma örneklerinin kuru madde değerleri arasında önemli düzeyde (p>0.05) bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Mahalli ve endüstriyel düzeydeki dondurma örneklerinin tamamının Türk Gıda Kodeksi Dondurma Tebliğinde (Tebliğ No:2004/45) belirtilen % kuru madde alt limit değerlerine uygun olduğu saptanmıştır. Dondurma örneklerinde kuru madde oranı dikkat

edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Çünkü ideal formülasyona sahip olmayan dondurmalarda; köpüklü erime, zayıf erime direnci, ufalanmış, kitle küçülmesi, ağır yapı, karbenzeri, kumlu tekstür gibi yapı kusur problemleri meydana gelmektedir (Hatipoğlu, 2007).

Dondurma örneklerinin şeker (sakkaroz) oranları arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık (p<0.01) önemli bulunmuştur. Buna göre en düşük şeker oranı B<sub>9</sub> örneğinde, en yüksek ise A<sub>6</sub> örneğinde belirlenmiştir. Her iki grup dondurma örneğinde belirlenen şeker oranları, Özcan ve Kurdal (1997) ile Sağdıç vd., (2002)’a göre düşük bulunmuştur. T testi sonucunda mahalli ve endüstriyel düzeydeki dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde (p<0.01) bir fark olduğu saptanmıştır. Bu durumun mahalli düzeyde üretim yapan firmaların şekeri, endüstriyel düzeyde üretim yapan firmaların tercih ettiği süt tozu ve peynir altı suyu tozu gibi girdilerin yerine, hem ucuz bir kuru madde kaynağı olması hem de laktoza göre yapısal anlamda

olumlu katkı vermesi sebebiyle daha fazla kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak şeker içeriğinin çok fazla kullanılması ağdalı bir yapı, az kullanılması ise yeniden kristalleşme aktivitesine bağlı olarak buzlu tekstüre sebep olacağından kullanılacak miktara dikkat edilmesi gerekir (Özdemir vd., 2008; Li vd., 2021).

Dondurma örneklerinin kül oranları arasında yapılan varyans analizi sonucunda, örnekler arasında farklılık  $p<0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda A<sub>9</sub> ile B<sub>3</sub> kodlu örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. Gürakan (1992) tarafından tespit edilen çalışma bulgularının, mahalli örnekler ile benzerlik gösterirken, endüstriyel örnekler için bulgulardan düşük olduğu belirlenmiştir. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel düzeydeki dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) fark olduğu saptanmıştır. Bu durumun endüstriyel düzeyde üretim yapan firmaların süte göre kül oranı yaklaşık 10 kat daha zengin olan süt tozu ve peynir altı suyu tozunun dondurma üretiminde kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat daha yüksek laktoz konsantrasyonuna sahip peynir altı suyu tozu, dondurmada kumluluk gelişimine neden olacağından formülasyon önem arz etmektedir (Patel vd., 2006).

Dondurma örneklerinin titrasyon asitliği değerleri arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. Buna göre en düşük titrasyon asitliği değeri B<sub>1</sub> kodlu örnekte, en yüksek titrasyon asitliği değerine ise A<sub>7</sub> kodlu örnekte olduğu belirlenmiştir. Bekiroğlu (2014) tarafından tespit edilen bulgular, mahalli örnekler için düşük, endüstriyel örnekler için yüksektir. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örnekleri arasında titrasyon asitliği (°SH) bakımından anlamlı bir fark ( $p>0.05$ ) olmadığı tespit edilmiştir. Ortalama değerlerde ortaya çıkan bu durumun laktik asit oluşturan bakterilerin faaliyetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü oda sıcaklığında, kontrolsüz koşullarda beklenen süt ve ürünleri ile mikserlerde laktik asit oluşturan bakterilerin faaliyetleri gerçekleşebilir. Aynı zamanda Yeşilsu (2006), asitliğe, dondurma girdilerinde bulunabilecek proteinlerin ve sütte ihtiva eden karbondioksitin sebep olacağını belirtmiştir. Asitliğin fazla olması dondurmalarda pıhtılı bir erime sorununa neden olabilir. Çünkü proteinlerin stabilitesini bozan herhangi bir koşul bu kusura neden olabilir (Clarke, 2015).

Dondurma örneklerinin pH değerleri arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda A<sub>2</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>8</sub>, A<sub>9</sub>, A<sub>10</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub> kodlu örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. Buna göre en düşük pH değeri A<sub>7</sub> örneğinde belirlenmiş olup, B<sub>2</sub> örneğinin ise en büyük pH değerine sahip olduğu belirlenmiştir. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde ( $p>0.05$ ) bir fark olmadığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mahalli dondurma örneklerinin pH değerleri, Sağdıç vd., (2002), İşleyici vd., (2016)'a göre yüksek, Badayman (2018), Evrensel ve Güneş (1998), Bekiroğlu (2014) tarafından elde edilen sonuçlardan düşük bulunmuş, endüstriyel dondurma örneklerinin ortalama pH değeri ise belirtilen çalışmalara göre yüksek tespit edilmiştir. Değişkenlik gösteren bu duruma göre dondurma örneklerinde süt yağsız kuru madde oranı (SYKM) arttıkça pH değeri düşer, fakat endüstriyel üretimde SYKM'ce zengin girdilerin kullanılması nedeniyle tersi bir

durum tespit edildiğinden bu duruma mahalli örneklerin üretiminde miksin kötü koşullarda saklanması veya bayat hammaddelerin kullanılması sonucunda asitliğin geliştiğini düşünebiliriz (Gürsel ve Karacabey, 1998).

Dondurma örneklerinin ilk damlama süreleri arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda A<sub>2</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>10</sub> ve B<sub>3</sub> kodlu örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu ( $p<0.01$ ) tespit edilmiştir. Elde edilen her iki grup örnekler için ortalama ilk damlama süresi, Güner vd (2004) tarafından elde edilen sonuca göre yüksek, Bekiroğlu (2014)'na göre ise düşük olduğu tespit edilmiştir. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde ( $p>0.05$ ) bir fark olmadığı ve mahalli düzeyde üretilen dondurma örneklerinin, endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örneklerinden daha yüksek ilk damlama süresine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu durumun endüstriyel düzeyde üretim yapan firmaların mahalli firmalara göre daha az oranda sakkaroz kullandığını ve kurumadde içeriğinin düşük olmasından kaynaklandığını düşünebiliriz. Çünkü düşük sakkaroz ve kuru madde içeriği olan dondurmalarda yeniden kristalleşme aktivitesi yüksek olacağından bu da doğrudan ilk damlama süresini etkiler (Wu vd., 2019; Li vd., 2021).

Dondurma örneklerinin tam erime süreleri ve 30.dakikadaki % erime oranları arasında yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında farklılık ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuştur. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örnekleri arasında önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu durum endüstriyel düzeyde üretim yapan firmaların erime direncini artırma özelliği bulunan süttozu ve peynir altı suyu tozu kullanmalarıyla, bu firmalara ait dondurma örneklerinde süt yağsız kurumadde miktarının mahalli düzeyde üretilen dondurma örneklerinden miktarda daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca aşırı stabilizer veya kurutulmuş nişasta şuruplarından bazılarının kullanımından da kaynaklandığını düşünebiliriz. Çünkü stabilizerlerin miktarı ve çeşitleri erime süresi üzerinde doğrudan etkilidirler (Şimşek vd., 2006). Elde edilen % erime oranları, dondurma örneklerinde tam erime süresi analiz sonuçlarıyla paraleldir.

Varyans analizi sonucunda viskozite değerleri arasındaki farklılık ( $p<0.01$ ) önemli bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda 20, 50 ve 100 rpm kayma hızında dondurma örneklerinde en düşük viskozite değerine sahip A<sub>7</sub> ile A<sub>8</sub> örnekleri olduğu tespit edilmiştir. 20 ve 50 rpm kayma hızında B<sub>5</sub> ile B<sub>6</sub> dondurma örnekleri, 100 rpm kayma hızında ise A<sub>5</sub> kodlu dondurma örneği diğer örnekler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) yüksek viskozite değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. T testi sonucunda ise mahalli ve endüstriyel düzeyde üretilen dondurma örnekleri arasında 20, 50 ve 100 rpm kayma hızında viskozite değerleri bakımından önemli düzeyde ( $p<0.01$ ) fark olduğu tespit edilmiştir. Değişkenlik gösteren bu durumun mahalli örneklerde standart olmayan formülasyondan, endüstriyel örneklerde ise farklı stabilizatör kaynaklarının kullanımından kaynaklandığını ifade edebiliriz. Yapılan bir çalışmada, endüstriyel dondurma üretiminde stabilizatör kaynağı olarak pektin ilaveli dondurmalarda en düşük viskozite, ksantam gum ilaveli dondurmalarda ise en yüksek viskozite değeri tespit edilmiştir (Bilgin, 2006).

## 4. Sonuç

Mikrobiyolojik analizler sonucu elde edilen bulgular, Erzurum piyasasında mahalli olarak pastahanelerde tüketime sunulan dondurmaların bakteriyolojik kalitelerinin halk sağlığı açısından risk oluşturduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durumun önlenmesi için, üretim hatlarının modern tesislerde toplanması, çalışan personelin sağlık kontrollerinin düzenli olarak yapılması, gıda laboratuvarlarının özellikle yaz aylarında üretim yerindeki kontrollerini sıklaştırması önerilmektedir. Bu önlemler alınmadığı sürece, dondurmanın insan sağlığı için potansiyel bir tehlike oluşturmasının kaçınılmaz olacağı düşünülmektedir. Ayrıca mahalli düzeyde üretim yapılan dondurmaların kimyasal ve fiziksel sonuçlarına bakıldığında üretimde standardizasyonun sağlanması ve Türk Gıda Kodeksi Dondurma tebliğinde belirtilen değerlere uygunluk göstermesi gerektiği açıktır. Böylece mahalli düzeyde üretilen dondurmaların fiziksel ve duyuşsal özelliklerinde arzu edilen ürünlerin üretilmesine, bunun da gerek üretici ve gerekse tüketici açısından önemli yararlar sağlanacağı düşünülmektedir. Bu tip çalışmaların yaygınlaşması, standart kalitede bir dondurma üretiminin sağlanması ile birlikte kalite bir dondurmanın fiziksel ve kimyasal özellikleri noktasında alt ve üst limit değerleri hakkında bilgi sahibi olunmasına imkân sağlanmış olur.

## Kaynakça

Abo El-Makarem, H.S. (2017). Microbial quality of street-vended ice cream. *Journal of veterinary medical research*, 24(1), 147-155.

Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J., Ryland, D. (2001). Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food research international*, 34(2-3), 237-246.

Akarca, G., Kuyucuoglu, Y. (2008). Afyonkarahisar'da satılan dondurmaların mikrobiyolojik kalitesi üzerine çalışmalar. *Kocatepe Veterinary Journal*, 1(1), 11-18.

Aksoy, A., Sezer, Ç., Vatanser, L. (2013). Kars Piyasasında Tükeme Sunulan Sade Dondurmaların Mikrobiyolojik Kalitelerinin Belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2(1), 1-5.

Atasever M. A., Çubukçı S. (2018). Erzurum piyasasında tüketime sunulan dondurmaların mikrobiyolojik kalitesi. *Atatürk Üniversitesi Vet Bil Derg*, 13, 54-62.

Anonim. (1992). TS 4265 Dondurma-süt esaslı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.

Anonim. (2012). <https://www.sabah.com.tr/yasam/onlarca-kisidondurmadan-zehirlendi-2213917> (Erişim: 25.10.2021)

Arbuckle, W. S. (2013). *Ice cream*. Springer.

Badayman, M. (2018). Aydın İlinde Açıkta Satışa Sunulan Sade Roma Dondurmalarında Hijyen Ve Kimyasal Kalitenin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye.

Bekiroğlu, H. (2014). Manda sütünden üretilen dondurma örneklerinin kalitesi. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.

Beuchad L.R., Mann D.A., Gurtler J.B. (2007). Comparison of dry sheet media and conventional agar media methods for enumerating yeasts and molds in food. *JFP*, 70, 2661-2664.

Bilgin, O. Ş. İ. T. B. (2006). Endüstriyel dondurma üretiminde farklı stabilizatör kullanımının dondurma kalitesine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 55-63.

Buvens, G., Possé, B., De Schrijver, K., De Zutter, L., Lauwers, S., Piérard, D. (2011). Virulence profiling and quantification of verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O145: H28 and O26: H11 isolated during an ice cream-related hemolytic uremic syndrome outbreak. *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(3), 421-426.

Cemeroğlu, B. (1992). Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metotları. *Biltav Yayınları*, Ankara, 380.

Clarke, C. (2015). The science of ice cream. *Royal Society of Chemistry*.

Cotrell J.F.L., Pass G., Phillips G.D. (1979). Assesment of polysaccharides as Ice Cream stabilizers, *J Sci Food Agric*, 30, 1085-1089.

Evrensel, S.S., Güneş, E. (1998). Bursa'da tüketilen dondurmaların kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi, *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 23(4), 261-265.

Goff H. D., Hartel R. W. (2013a). Cleaning and sanitizing for microbiological quality and safety. *Ice Cream*, 379-401.

Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013b). Ice cream. *Springer Science & Business Media*.

Güner, A., Doğruer, Y., Ardiç, M., Yörük, H.D. (2004). Konya'da Pastahanelerde Tüketime Sunulan Dondurmaların Kimyasal Bileşimi ve Erime Özellikleri, *Veteriner Bilimleri Dergisi*, 20(2), 65-71.

Gürakan, İ.B. (1992). Samsun il merkezinde tüketime sunulan sade dondurmaların duyuşsal, fiziksel ve mikrobiyolojik nitelikleri üzerinde bir araştırma. (Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye

Gürsel A., Karacebey A. (1998). Dondurma teknolojisine ilişkin hesaplamalar, reçeteler ve kalite kontrol testleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları No:1498, 172, Erzurum, Türkiye.

Halkman A.K. (2005). Gıda mikrobiyolojisi uygulamaları, Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd Şti, 358, Ankara.

Hatipoğlu, A. (2007). Bazı yağ ikame maddeleri kullanılarak yapılan yağ oranı düşürülmüş dondurmaların kalite özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.

İşleyici, Ö., Sancak, H., Tuncay, R. M. (2016). Van ilinde satışa sunulan ambalajlı ve ambalajsız dondurmaların mikrobiyolojik kalitesi. *Van Veterinary Journal*, 27(2), 57-67.

Kanbakan, U., Çon, A. H., Ayar, A. (2004). Determination of microbiological contamination sources during ice cream production in Denizli, Turkey. *Food Control*, 15(6), 463-470.

Kırdar, S. (2003). Burdur ilinde satılan dondurmaların bazı nitelikleri üzerine araştırmalar. *Gıda*, 28(2).

Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A. (2012). Süt ve mamülleri muayene ve analiz metotları rehberi, Atatürk Üniv Ziraat Fak Ofset Basım, 254, Erzurum.

Li, M., Dia, V. P., Wu, T. (2021). Ice recrystallization inhibition effect of cellulose nanocrystals: Influence of sucrose concentration. *Food Hydrocolloids*, 121, 107011.

López-Martínez, M. I., Moreno-Fernández, S., Miguel, M. (2021). Development of functional ice cream with egg white hydrolysates. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100334.

Marshall, R. T. (2001). Frozen desserts. *In Applied Dairy Microbiology* (pp. 113-146). CRC Press.

- Metin M., Öztürk G.F. (2012). Süt ve Mamülleri Analiz Yöntemleri, Ege Üniversitesi Yayınları Rektörlük Yayınları No:9, 439, İzmir.
- Özdemir, C., Dagdemir, E., Özdemir, S., Sagdic, O. (2008). The effects of using alternative sweeteners to sucrose on ice cream quality. *Journal of food quality*, 31(4), 415-428.
- Özcan, T., Kurdal, E. (1997). Bursa ili merkezinde satılan meyveli dondurmaların kimyasal ve mikrobiyolojik nitelikleri üzerine araştırma. *Gıda*, 22(3).
- Patel, M. R., Baer, R. J., Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of dairy science*, 89(5), 1400-1406.
- Sağdıç, O., Tülüoğlu, D. D., Özçelik, S., Şimşek, B. (2002). Isparta Piyasasında Tüketime Sunulan Dondurmaların Kimyasal ve Mikrobiyolojik Kalitesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(4).
- Şimşek O., Bilgin B., Tuncay İ. (2006). Endüstriyel dondurma üretiminde farklı stabilizatör kullanımının dondurma kalitesine etkisi. *JOTAF*, 3, 55-63.
- Tekinşen, O. C., Tekinşen, K. K. (2008). Dondurma. *Selçuk Üniversitesi. Basımevi. Konya*. 396s
- Türkmen, N., Gürsoy, A. (2017). Fonksiyonel Dondurma. *Akademik Gıda*, 15(4), 386-395.
- Uludağ P. (2010). Türkiye'de dondurma sektörü, tüketici eğilimleri ve firmalar arası rekabet. (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye.
- Ünal, R. N., Besler, H. T. (2008). Beslenmede sütün önemi. *Sağlık Bakanlığı Yayın*, 727.
- White C.H., Bishop J.R., Morgan D.M. (1992). Microbiological methods for dairy products. In Standard methods for the examination of dairy products. *APHA*, 16, 287-308, Washington D.C.
- Wu, B., Freire, D. O., Hartel, R. W. (2019). The effect of overrun, fat destabilization, and ice cream mix viscosity on entire meltdown behavior. *Journal of food science*, 84(9), 2562-2571.
- Yan, L., Yu, D., Liu, R., Jia, Y., Zhang, M., Wu, T., Sui, W. (2021). Microstructure and meltdown properties of low-fat ice cream: Effects of microparticulated soy protein hydrolysate/xanthan gum (MSPH/XG) ratio and freezing time. *Journal of Food Engineering*, 291, 110291.
- Yeşilsu A. F. (2006). Dondurmanın fiziksel kimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine bazı pekmez çeşitlerinin etkisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Yücel, N., Çıtak, S. (2000). Dondurma Örneklerinde Bazı Mikroorganizmaların Varlığı Üzerine Bir Araştırma, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 57(3), 165- 170.



# Navigation Under GNSS Denied Environments: Zero Velocity and Zero Turning Update

Oğuzhan Çıfdalöz\*

\* Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0523-946X), [oguzhanc@cankaya.edu.tr](mailto:oguzhanc@cankaya.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 22 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1090813)

**ATIF/REFERENCE:** Çıfdalöz, O. (2022). Navigation Under GNSS Denied Environments: Zero Velocity and Zero Turning Update. *European Journal of Science and Technology*, (38), 360-369.

## Abstract

The objective of this paper is to present a method which bounds the error of an inertial navigation system (INS) when Global Navigation Satellite System (GNSS) is not available. Inertial navigation systems utilize gyroscopes and accelerometers, and calculate velocity, position and attitude, essentially by integrating the measurements obtained from these sensors. Due to the nature of integration, INS are notoriously prone to sensor biases and drifts. Typically, GNSS is used to correct the navigation system errors caused by the inertial sensor measurements. However, in GNSS degraded or denied environments, alternative solutions are required. If the platform on which an INS is mounted is known or estimated to be stationary, zero-velocity update (ZUPT) and/or zero turning update (ZTUPT) algorithms can be applied in order to bound the navigation system errors. Under certain assumptions, ZUPT based algorithms can be applied when the platform is not stationary. If a vehicle's motion is constrained by the design of its kinematics, i.e. if it can be assumed that the vehicle cannot move or rotate along one or more of its body axes, ZUPT assisted Kalman estimators can be used to correct the errors along those axes. Potentially, ZUPT based estimation algorithms can also be utilized when a sufficiently high fidelity vehicle model is available. In this paper, the implementation of zero-velocity update (ZUPT) and zero turning update (ZTUPT) algorithms are analyzed for the purpose of estimating and bounding inertial navigation errors. The basic principle in navigation is based on combining the data obtained from the sensors onboard and the inertial navigation system through an Extended Kalman filter. Although this process requires additional software components, it potentially offers increased system accuracy and reliability. Incorporating the kinematics of the vehicle, along with a ZUPT and/or ZTUPT algorithm, provides additional data to feed into the Kalman filter and increases the efficiency of error estimation. Estimated error is then fed back into the INS algorithm in order to counteract the sources of error.

**Keywords:** Inertial Navigation Systems, Zero Velocity Update, Zero Turn Update, Extended Kalman Filters.

## Küresel Konumlama Sisteminin Olmadığı Ortamlarda Navigasyon: Sıfır Hız ve Sıfır Dönü Güncelleme

### Öz

Bu makalenin amacı, Küresel Konumlama Sisteminin (KKS) mevcut olmadığı durumlarda, bir ataletsel navigasyon sisteminin hata sinyallerini sınırlandırmayı amaçlayan bir yöntem sunmaktır. Ataletsel navigasyon sistemleri (ANS) dönüölçer ve ivmeölçerleri kullanır ve -özde- bu algılayıcılardan elde edilen sinyallerinin integralini alınarak hız, konum ve yönelimi hesaplar. Integral alma işleminin doğası gereği ANS, algılayıcıların kaymalarına ve sapmalarına karşı son derece hassastır. Tipik olarak, KKS, ataletsel algılayıcı ölçümlerinin neden olduğu navigasyon sistemi hatalarını düzeltmek için kullanılır. Ancak, KKS'nin kalitesinin bozulduğu veya KKS verisinin erişilir olmadığı ortamlarda alternatif çözümler gereklidir. Eğer bir ANS'nin monte edildiği platformun hareketsiz olduğu biliniyor veya tahmin ediliyor ise, navigasyon sistemi hatalarını sınırlandırmak amacıyla, sıfır hız güncellemesi (ZUPT) ve sıfır dönü güncellemesi (ZTUPT) algoritmaları uygulanabilir. Belirli varsayımlar altında, platformun durağan olmadığı durumlarda da ZUPT tabanlı algoritmalar uygulanabilir. Eğer bir aracın hareketi, kinematığının tasarımı ile sınırlıysa, yani aracın hareket edemeyeceği veya dönemeyeceği bir veya daha fazla eksen varsa, ZUPT destekli Kalman filtre algoritmaları bu eksenler doğrultusundaki hataları düzeltmek için kullanılabilir. Potansiyel olarak, ZUPT tabanlı tahmin algoritmaları, yeterince yüksek sadakatli bir araç modeli mevcutsa da kullanılabilir. Bu makalede, sıfır hız güncellemesi (ZUPT) ve/veya sıfır dönü güncellemesinin uygulanması yoluyla ataletsel navigasyon sistemi hatalarının tahmin edilmesi ve sınırlandırılması konusu incelenmektedir. Navigasyondaki temel prensip, platform üzerindeki algılayıcılardan elde edilen verilerin bir Genişletilmiş Kalman filtresi aracılığıyla ataletsel navigasyon sistemine entegre edilmesine dayanır. Bu işlem ek yazılım bileşenleri gerektirse de, potansiyel olarak artan bir doğruluk ve güvenilirlik sunar. Sıfır hız ve sıfır dönü algoritmalarına araç kinematiklerinin de eklenmesi, Kalman filtreye ek veri sağlar ve hata tahmininin doğruluğunu artırır. Tahmin edilen hata ANS algoritmasına geri beslenerek hata kaynaklarının etkisinin azaltılması sağlanır.

**Anahtar Kelimeler:** Ataletsel Navigasyon Sistemleri, Sıfır Hız Güncelleme, Sıfır Dönü Güncelleme, Genişletilmiş Kalman Filtre.

\* Sorumlu Yazar: [oguzhanc@cankaya.edu.tr](mailto:oguzhanc@cankaya.edu.tr)

## 1. Introduction

An inertial navigation system (INS) is comprised of an inertial measurement unit (IMU), aiding sensors and a sensor/data fusion algorithm. In the case where the aiding system is a global navigation satellite system (GNSS), an integrated INS/GNSS provides absolute position and attitude information (Titterton and Weston, 2004). When GNSS is unavailable, denied or degraded due to jamming, disturbances, or physical conditions, external aiding sensors and systems are required in order to bound the position, velocity and attitude errors of an INS (Schmidt, 2015). Accelerometers and gyroscopes in an IMU are subject to numerous error sources such as bias, scale factor, nonlinearities, dead zone, quantization, and bandwidth limitations. Since computing position, velocity and attitude is performed essentially by integrating the measurements obtained from these sensors, the navigation solution will diverge from the true solution.

The objective of this study is to provide an extended Kalman filter based algorithm that can be utilized in order to bound navigation errors. Specifically, zero velocity update (ZUPT) and zero turning update (ZTUPT) methods are investigated (Akcayir and Ozkazanc, 2003). Hence, in this study, the vehicle is assumed to be stationary in a GNSS denied environment. Various methods are proposed for zero velocity detection (Wagstaff and Kelly, 2018), (Wahlström et al., 2019), (Xiaofang et al., 2014), and it is outside the scope of this study.

Determining position and attitude when a vehicle is at rest is crucial in military applications. US Army's Bradley Fighting Vehicle and Turkish Firtına (Figures 1 and 2) are some of the leading examples of such vehicles.



Figure 1. Bradley Fighting Vehicle



Figure 2. T-155 Firtına Howitzer

For high precision target engagement, these vehicles require high fidelity position and attitude (angular orientation) information under conditions where GNSS is not available.

Navigation equations are highly nonlinear. They need to be linearized in order to implement an extended Kalman filter for state estimation. This is performed by approximating the nonlinear state equations, implemented either in Euler angles or quaternions, by a piece-wise constant system (PWCS) at each iteration. Approximating the nonlinear system at the current iteration's state-input combination helps capture the characteristic behavior of the system with little loss of accuracy (Goshen-Meskin and Bar-Itzhack, 1992a,b).

Through this implementation, expected outputs (zero velocity and/or zero turning) of a stationary vehicle and the outputs of the navigation equations are contrasted to obtain estimates of the navigation error states. In this sense, the control system is an output feedback controller. Error states are fed back to the navigation equations for the purposes of bounding INS errors, and simultaneously, estimating sensor drifts and biases.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 states the problem to be addressed and describes the navigation system model, Section 3 describes the proposed solution and includes two scenarios, and finally Section 4 summarizes the paper and presents future directions.

## 2. Problem Statement and Model

The problem that needs to be addressed is the determination of position and attitude (Euler angles) of a vehicle, when it is not moving linearly. When GNSS is available, latitude ( $L$ ), longitude ( $\lambda$ ), altitude ( $h$ ), north velocity ( $v_N$ ), east velocity ( $v_E$ ), down velocity ( $v_D$ ), roll angle ( $\phi$ ) and pitch angle ( $\theta$ ) can be obtained with very high accuracy. When GNSS is jammed or becomes unavailable for any reason, inertial sensors and other sensors such as barometers and magnetometers can be used. Although these sensors require no other external information source, their measurements are prone to measurement noise, biases, and drifts.

Inertial navigation systems utilize a variety of sensors such as gyroscopes, accelerometers, magnetometers and barometers in order to compute velocity, position and attitude, essentially by integrating the measurements obtained from these sensors. Integration results in the problem of drifts in the solution, due to the biases and noise characteristics of these sensors. Typically, sensors which provide accurate position information are used in order to correct the navigation solution. A very common sensor is the GNSS. However, in environments where GNSS data are not available or degraded, alternative solutions are required.

A side note should be given here for the heading angle: Determining the heading angle ( $\psi$ ) is more complicated because it is closely associated with the North Finding Problem (Titterton and Weston, 2004). Magnetometers may be helpful, however, it should be noted that magnetometers will yield the magnetic north, which is different than the geodetic (true) north. True north can be determined by very high accuracy and low noise gyroscopes (expensive), or by using lower accuracy sensors. Lower accuracy sensor outputs may need to be collected for long periods of time for averaging (Titterton and Weston, 2004). North finding is left outside scope of this study and the effect of this exclusion will be apparent in the simulations results given in the following sections.



In order to describe the method devised to bound inertial navigation errors, navigation equations need to be described.

### 2.1. Navigation Equations

Navigation equations are nonlinear differential equations which define the position, velocity, and the attitude of the navigation system. They consist of three highly coupled components: (i) a set of equations to compute latitude, longitude, and altitude ( $L, \lambda, h$ ), (ii) another set of equations to compute the north, east and down velocities in the navigation frame ( $v_N, v_E, v_D$ ), and (iii) another set of equations to compute attitude, i.e. the roll, pitch and yaw Euler angles ( $\phi, \theta, \psi$ ). Notation and terminology used throughout the document is due to (Titterton and Weston, 2004).

Throughout the document references are made to the reference coordinate frames (Groves, 2013). *Inertial frame* is a non-rotating frame with respect to the fixed stars with origin at the center of the Earth and z-axis along the Earth's polar axis. *Navigation frame* is local geographic frame. Its origin is located on the navigating platform and the axes are aligned with north, east, and down. Navigation frame is tangent to the surface of the Earth. *Body frame* also has its origin on the navigating platform (usually at its center of gravity), and the axes are aligned with the Euler angles of the platform.

Gyroscopes measure the angular rate of the body frame with respect to the inertial frame as resolved in the body frame and are given by

$$\omega_{ib}^b = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

where  $\omega_x, \omega_y,$  and  $\omega_z$  denote the measurements obtained from a gyroscope's  $x, y, z$  axes, respectively.

In order to compute the Euler angles, one needs the angular rate of the body frame with respect to the navigation frame as resolved in the body frame given as

$$\omega_{nb}^b = \omega_{ib}^b - C_n^b (\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \tag{1}$$

where

$$\omega_{ie}^n = \begin{bmatrix} \Omega \cos L \\ 0 \\ -\Omega \sin L \end{bmatrix} \tag{2}$$

denotes the turn rate of the earth, and

$$\omega_{en}^n = \begin{bmatrix} \frac{v_E}{R+h} \\ \frac{v_N}{R+h} \\ \frac{v_E \tan L}{R+h} \end{bmatrix} \tag{3}$$

denotes the turn rate of the navigation frame, *the transport rate*, due to its  $v_N$ , north velocity,  $v_E$ , east velocity, and  $v_D$ , down   
 e-ISSN: 2148-2683

velocity on Earth. In Equations 1, 2, and 3,  $R$  denotes the mean radius of the earth,  $L$  the latitude,  $h$  the height above ground,  $\Omega$  the turn rate of the Earth, and  $C_n^b$  denotes the transformation matrix from the navigation frame to the body frame.

The transformation matrix from the body frame to the navigation frame  $C_b^n = (C_n^b)^T$  is given (for Euler angle implementation) by (Titterton and Weston, 2004)

$$C_b^n = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix}$$

where  $C_x \triangleq \cos x$  and  $S_x \triangleq \sin x$ .

The first set of equations, so-called *the kinematic equation*, is used to compute the Euler angles from the body angular rates measured by the gyroscope, and is given by

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \omega_{nb}^b \tag{4}$$

The second set of navigation equations are associated with the north, east, down velocities of the navigation system (frame), given by

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_N \\ \dot{v}_E \\ \dot{v}_D \end{bmatrix} = C_b^n \mathbf{f}^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g(h) \end{bmatrix} \tag{5}$$

where, assuming a perfectly spherical earth,

$$g(h) = \frac{g_0}{\left(1 + \frac{h}{R}\right)^2}$$

In Equation 5,  $g_0$  denotes the gravitational acceleration of the Earth and  $\mathbf{f}^b$  denotes the accelerometer measurements, i.e.

$$\mathbf{f}^b = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}$$

where  $f_x, f_y,$  and  $f_z$  denote the measurements obtained from an accelerometer's  $x, y, z$  axes, respectively.

The third set of navigation equations are associated with the geographic coordinates and altitude. It is given by

$$\begin{bmatrix} \dot{L} \\ \dot{\lambda} \\ \dot{h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R+h} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sec L}{R+h} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} \tag{6}$$

Equations 4, 5, and 6 can be combined to form a first order nonlinear differential equation to represent the navigation equation such that

$$\dot{x}^* = f^*(x^*, u^*) \quad (7)$$

where

$$x^* \triangleq [L \ \lambda \ h \ v_N \ v_E \ v_D \ \phi \ \theta \ \psi]^T$$

denotes the navigation state vector, and

$$u^* \triangleq [f_x \ f_y \ f_z \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$$

denotes input vector, i.e. the vector of inertial measurement unit (IMU) measurements.

A more complete and comprehensive model can be formed by augmenting Equation 7 by 6 decoupled differential equations in order to include the inertial sensor errors, specifically accelerometer drifts and the gyroscope biases. Hence, the state vector is augmented to be

$$x \triangleq [L \ \lambda \ h \ v_N \ v_E \ v_D \ \phi \ \theta \ \psi \ d_x \ d_y \ d_z \ b_x \ b_y \ b_z]^T$$

where  $d_*$  are the accelerometer drifts and  $b_*$  are the gyroscope biases for each axis. The added differential equations are

$$\begin{aligned} \dot{d}_x &= 0, & d_x(0) &= \bar{d}_x \\ \dot{d}_y &= 0, & d_y(0) &= \bar{d}_y \\ \dot{d}_z &= 0, & d_z(0) &= \bar{d}_z \\ \dot{b}_x &= 0, & b_x(0) &= \bar{b}_x \\ \dot{b}_y &= 0, & b_y(0) &= \bar{b}_y \\ \dot{b}_z &= 0, & b_z(0) &= \bar{b}_z \end{aligned}$$

in which the initial conditions denote the constant residual drift error of the accelerometer and gyroscope. The IMU readings are then modified to include these errors, i.e.

$$u \triangleq [f_x + d_x \ f_y + d_y \ f_z + d_z \ \omega_x + b_x \ \omega_y + b_y \ \omega_z + b_z]^T$$

Finally, we arrive at the 15-dimensional nonlinear navigation equations in the form of Equation 8.

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (8)$$

## 2.2. Navigation Errors

Inertial navigation dynamics (Equation 8) are unstable (Groves, 2013), i.e. its solution diverges in time when no aiding (correcting) sensor output is available.

In the simulations below, the vehicle is assumed to be equipped with a tactical grade inertial measurement unit (IMU). The accelerometer bias is assumed to be  $1 \text{ mg}$  ( $1\sigma$ ) and gyroscope bias is assumed to be  $1 \text{ deg/hr}$  ( $1\sigma$ ). These values are typical for a tactical grade IMU. Bias instability is ignored.

Consider that this vehicle loses access to the GNSS, at which time its geodetic coordinates, altitude and attitude (i.e. Euler angles) are

$$\begin{bmatrix} L \\ \lambda \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40^\circ \\ 33^\circ \\ 200 \text{ m} \end{bmatrix} \text{ and } \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5^\circ \\ 10^\circ \\ 15^\circ \end{bmatrix} \quad (9)$$

and its velocity vector is

$$\begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Given the above, using Equations 1, 5 and 9, ideal (no bias, no noise) accelerometer measurements can be computed as

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -g \sin \theta \\ g \cos \theta \sin \phi \\ g \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.855 \\ -1.697 \\ -9.6242 \end{bmatrix} \text{ m/s}^2 \quad (10)$$

and the ideal gyroscope measurements can be computed as

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = C_n^b \begin{bmatrix} \Omega \cos L \\ 0 \\ -\Omega \sin L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00033048 \\ -0.0012302 \\ -0.0022195 \end{bmatrix} \text{ deg/s} \quad (11)$$

The *ideal* measurements given in Equations 10 and 11 are dubbed as such because these sensor outputs (when there is no noise or bias) results in

$$f(x, u) = 0,$$

i.e. the navigation solution is exact. However, in the simulations below, the ideal measurements given in Equations 10 and 11 are corrupted by bias and noise (with variances of 1/10 of the bias variances) in order to compute the navigation errors when noise and bias exists in the system. So, the following results demonstrate a typical navigation solution without GNSS or any other aiding sensor, such as a barometer or a magnetometer.

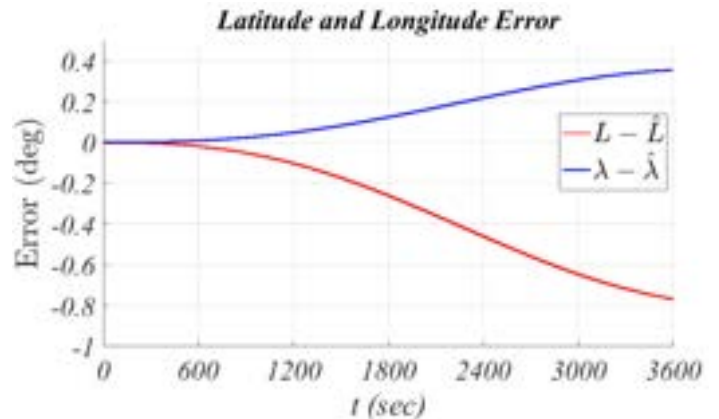


Figure 3. Latitude and Longitude Error

Figure 3 shows the latitude and longitude errors. About  $-0.8^\circ$  of drift for the latitude and about  $0.35^\circ$  of drift of longitude correspond to approximately 90 kilometers of position error in one hour. This performance is typical of a tactical grade IMU. The relative boundedness of these errors are due to the well-known Schuler Pump mechanism.

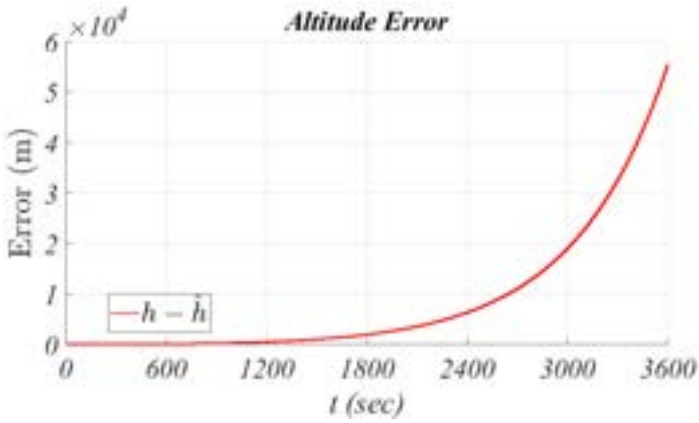


Figure 4. Altitude Error

Figure 4 indicates that a much severe error accumulates for the altitude. Altitude channel is particularly sensitive to drifts and biases of the IMU (Groves, 2013, pp.231).

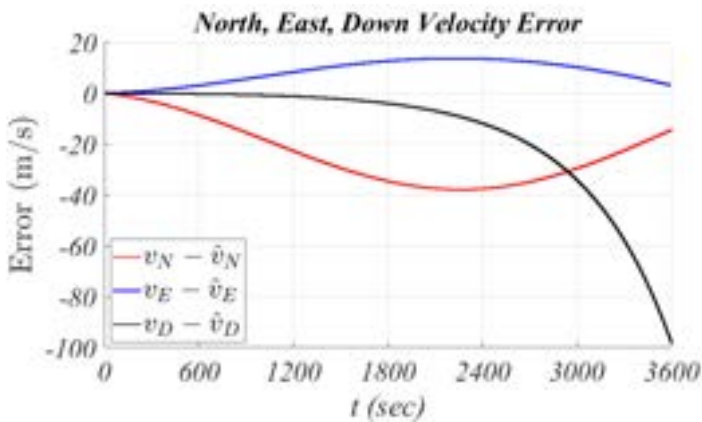


Figure 5. North, East, Down Velocity Error

Figure 5 indicates that the error for north, east, and down velocities are considerably large. Down velocity is more sensitive to IMU errors. This sensitivity is exaggerated by the altitude channel. Note that by Equation 6, altitude is the negative integral of down velocity.

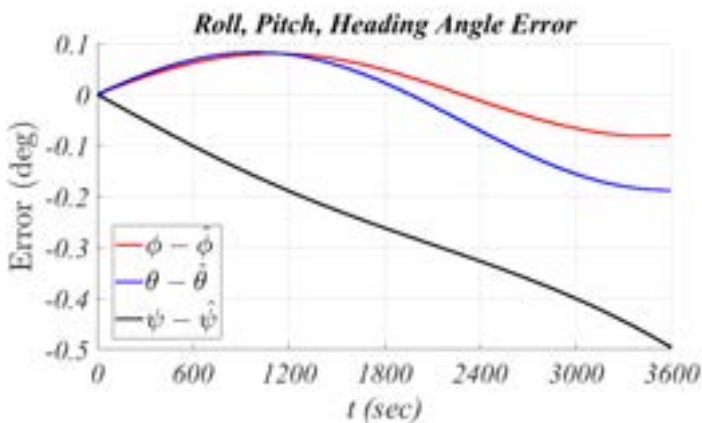


Figure 6. Roll, Pitch, Heading Angle Error

Figure 6 shows that the attitude solution of the navigation equations are not as large after one hour compared to the other navigation states. This is due to the fact that angular rates obtained from a gyroscope is integrated once to obtain Euler angles (Equation 4), while accelerometer outputs are integrated twice in order to obtain position (Equations 5 and 6). Nevertheless, since the navigation equations are highly coupled, even small errors in

the Euler Angles will have a large impact on the remaining states. It is also apparent that the heading channel is more sensitive to measurement errors.

The above results show that the error of the navigation solution of a tactical grade IMU is intolerably large, if the solution is not corrected by an aiding sensor or an algorithm. 90 kilometers of positional error and 10s of kilometers of altitude error give a clear sign that the absence of GNSS drives the error to unacceptable levels and that alternative strategies are needed.

### 3. Proposed Solution and Results

In this paper, INS errors are aimed to be bounded by utilizing an Extended Kalman Filter (EKF) along with the information that the vehicle in consideration is stationary. Figure 7 describes the EKF process. EKF is considered as a standard in the theory of nonlinear state estimation and navigation systems (Julier and Uhlmann, 2004), (Musoff and Zarchan, 2009), (Wan, 2006).

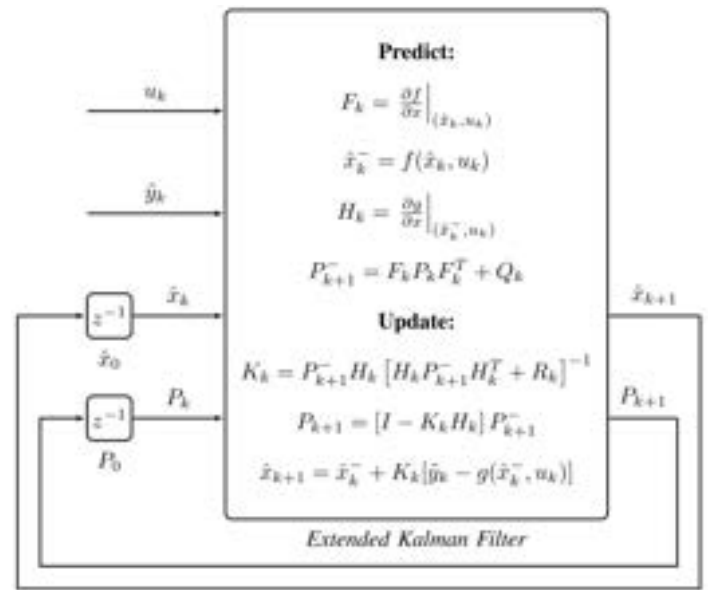


Figure 7. Extended Kalman Filter Structure

In Figure 7,

- $u_k = [f_x \ f_y \ f_z \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T_k$  denotes the IMU measurements,
- $\hat{x}_k = [L \ \lambda \ h \ v_N \ v_E \ v_D \ \phi \ \theta \ \psi \ d_x \ d_y \ d_z \ b_x \ b_y \ b_z]^T_k$  denotes the current estimate (computed) of the navigation states,
- $\hat{x}_{k+1}$  denotes the next estimate of the navigation states,
- $f(x, u)$  denotes the navigation equations described in Equations 1 - 8,
- $g(x, u)$  denotes the output function, which usually is simply a state selector,
- $\tilde{y}_k$  denotes the auxiliary inputs, such as outputs of an assisting sensor, or derived information,
- $Q_k$  and  $R_k$  denote the extended Kalman filter design parameters (covariance matrices),
- $F_k$  and  $H_k$  denote the discrete state space matrices of the linearized navigation dynamics (explained below),
- $P_k$  and  $P_{k+1}$  denote the current and next covariance matrices of the Kalman solution, respectively, and
- $K_k$  denotes the extended Kalman filter gain.

In order to employ the Extended Kalman Filter (EKF), state equations need to be linearized at each time instant when a new measurement becomes available. Given

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x(0) = x_0 \quad (12)$$

$$y = g(x, u) \quad (13)$$

Such that  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $x_0 \in \mathbb{R}^n$ ,  $u \in \mathbb{R}^m$ ,  $y \in \mathbb{R}^p$ ,  $f(x, u) \in \mathbb{R}^n$ ,  $g(x, u) \in \mathbb{R}^p$ , where  $n$  is the number of states,  $m$  is the number of inputs, and  $p$  is the number of outputs. Described below is the process by which a linear state space representation of a nonlinear system is derived.

Linearization of Equations 12 and 13 about a fixed point  $(x_*, u_*)$  is obtained as follows. Defining small perturbations

$$\delta x(t) \triangleq x(t) - x_* \quad \text{and} \quad \delta u(t) \triangleq u(t) - u_*$$

a small signal linear state-space representation is obtained as:

$$\delta \dot{x}(t) = \mathbf{A} \delta x(t) + \mathbf{B} \delta u(t) \quad (14)$$

$$y(t) = \mathbf{C} \delta x(t) + \mathbf{D} \delta u(t) \quad (15)$$

where

$$\mathbf{A} = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(x_*, u_*)} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{(x_*, u_*)}$$

$$\mathbf{B} = \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{(x_*, u_*)} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial u_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial u_m} \end{bmatrix}_{(x_*, u_*)}$$

$$\mathbf{C} = \left. \frac{\partial g}{\partial x} \right|_{(x_*, u_*)} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_p}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial g_p}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{(x_*, u_*)}$$

$$\mathbf{D} = \left. \frac{\partial g}{\partial u} \right|_{(x_*, u_*)} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial u_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_p}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial g_p}{\partial u_m} \end{bmatrix}_{(x_*, u_*)}$$

**A**, **B**, **C**, **D** matrices are essentially the Jacobians of the input and output functions with respect to the states and inputs. The Extended Kalman filter is implemented in discrete time. ZOH discretization of the equations given in 14 and 15 at a sampling period of  $T_s$  are ( $\delta$ 's are dropped for brevity)

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \mathbf{F}_k x_k + \mathbf{G}_k u_k \\ y_k &= \mathbf{H}_k x_k + \mathbf{N}_k u_k \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \exp \left\{ \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} T_s \right\} &= \begin{bmatrix} \mathbf{F}_k & \mathbf{G}_k \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix}, \\ \mathbf{H}_k &= \mathbf{C}, \quad \text{and} \quad \mathbf{N}_k = \mathbf{D}. \end{aligned}$$

Discrete state space representation of the 15-state augmented navigation system, after linearization about a fixed  $(x_k, u_k)$  is given by

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_{k+1} \\ z_{k+1} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{F}_k & \mathbf{G}_k \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ z_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{G}_k \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} u_k \\ y_k &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_k & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ b_k \end{bmatrix} + \mathbf{N}_k u_k \end{aligned}$$

where  $z_k \triangleq [d_x \ d_y \ d_z \ b_x \ b_y \ b_z]^T_k$  denotes the inertial sensor errors.

Finally, an extended Kalman filter can be implemented (Ma et al., 2020). At each step, a Kalman gain,  $K_k$ , is computed and correction in state estimation is achieved (see Figure 7) by

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k^- + K_k [\tilde{y}_k - g(\hat{x}_k^-, u_k)]$$

In the following subsections, ZUPT and ZTUPT algorithms are demonstrated on selected scenarios.

### 3.1. Zero Velocity Update (ZUPT)

Zero velocity update (ZUPT) refers to the condition that north, east, down velocities of a vehicle is known or estimated to be zero. An EKF is devised that will utilize this information in order to bound the navigation errors.

Consider the scenario described in Section 2.2. The initial navigation states given in Equation 9 constitute the initial state vector, and the initial estimate of the EKF is assumed 0. The ideal sensor outputs are given in Equations 10 and 11, and the vehicle is assumed to be equipped with a tactical grade IMU as in Section 2.2. At the initialization of the simulations, bias values are determined and are kept constant throughout the simulations.

ZUPT algorithm assumes no knowledge of the position and attitude (Euler angles) of the vehicle. The only information that is available and fed to the algorithm is

$$\tilde{y}_k = \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Note that  $\tilde{y}_k = 0$  is not a sensor measurement, but can be considered as a constraint. Hence, the associated covariance matrix is zero, i.e.  $R_k = \mathbf{0}_{3 \times 3}$ .

Latitude and longitude errors are given in Figures 8 and 9. Although position and Euler angles are known to be not varying under the described scenario, estimation for these quantities is still required because the sensor measurements are biased.

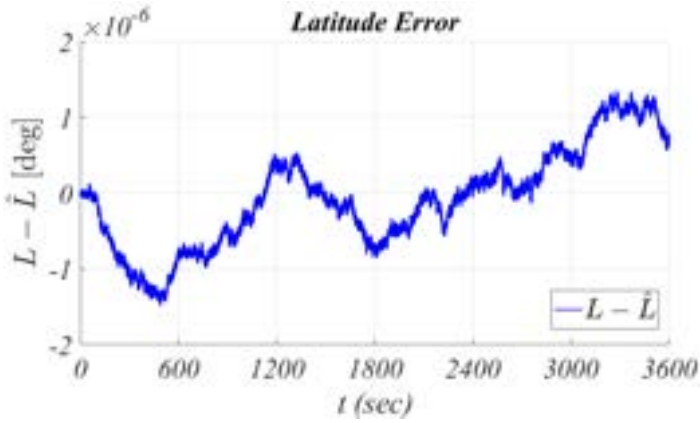


Figure 8. Latitude Error (ZUPT case)

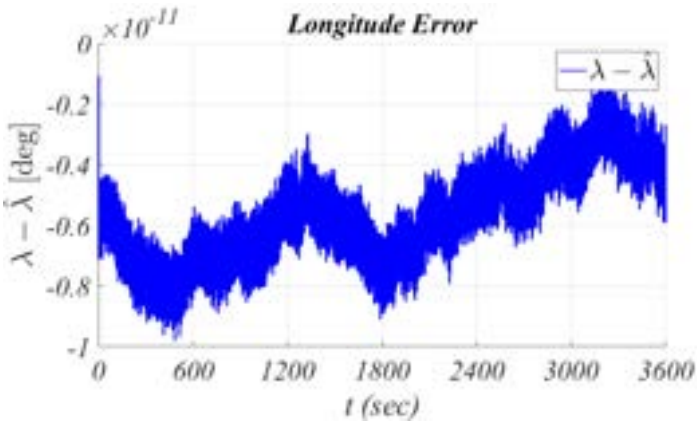


Figure 9. Longitude Error (ZUPT case)

Figures 3 in Section 2.2 showed that, when the ZUPT algorithm is not active, latitude and longitude errors were large and resulted in a position error of approximately 90 km. However, as Figures 9 and 10 indicate, when the ZUPT algorithm is active, almost no position error is made. According to the above results, position error is less than 1 m after one hour of operation without access to GNSS.

Note that no aiding sensor is used to achieve this result. Just the information that the vehicle is at rest results in significantly smaller navigation errors.

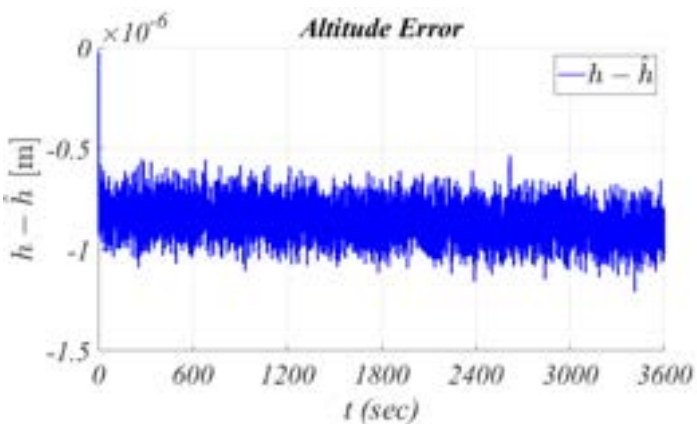


Figure 10. Altitude Error (ZUPT case)

It was shown previously in Figure 4 in Section 2.2 that altitude diverges when the EKF with ZUPT is not running. However, the altitude error is virtually nonexistent when the EKF with ZUPT is active (Figure 10).

Figures 11, 12, and 13 display north, east, and down velocities respectively.

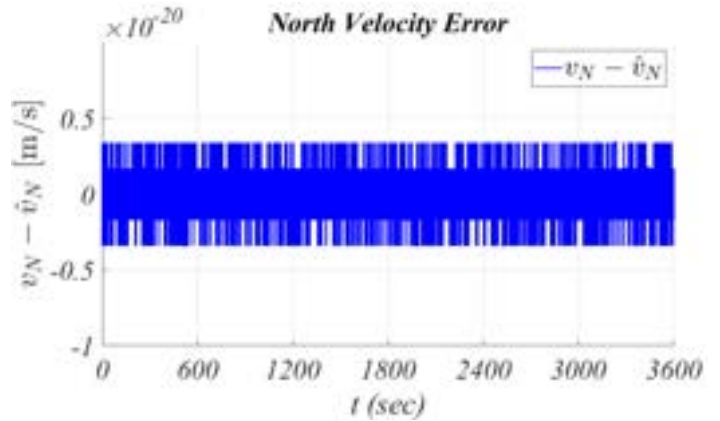


Figure 11. North Velocity Error (ZUPT case)

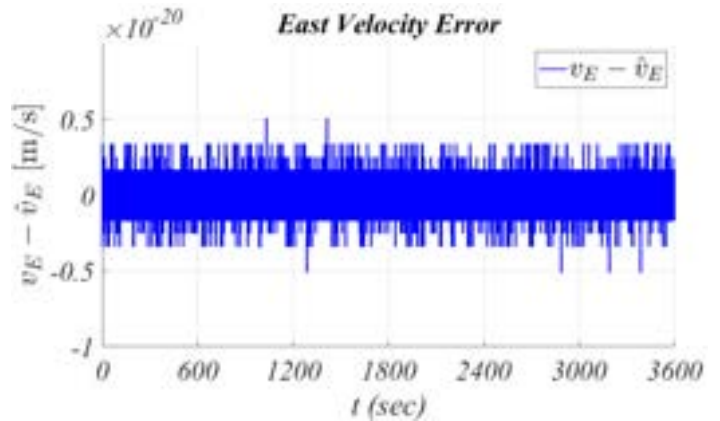


Figure 12. East Velocity Error (ZUPT case)

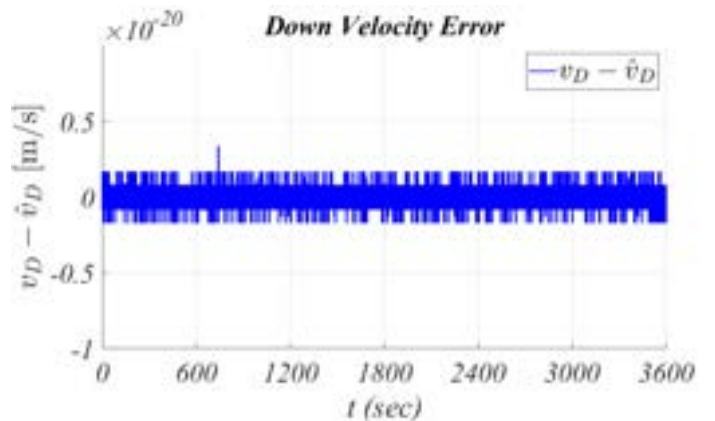


Figure 13. Down Velocity Error (ZUPT case)

Figures 11 – 13 show that the EKF with ZUPT is performing as expected for the north, east, and down velocities. That this result is expected is due to the fact that (zero) velocities are made available to the EKF and north, east, and down velocities are enforced to remain at zero. The case where the EKF with ZUPT is not active exhibit large velocity errors (see Figure 5 in Section 2.2).

Figure 14 show the roll and pitch angle errors when the EKF with ZUPT is active.

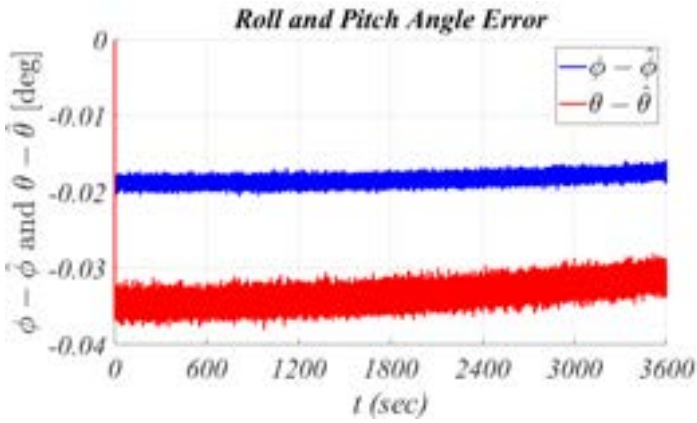


Figure 14. Roll and Pitch Angle Errors (ZUPT case)

Figure 14 demonstrates that the EKF with ZUPT algorithm also bounds roll and pitch angle errors, although it cannot drive them to zero. This is because the EKF is not given any information on Euler angles. Roll and pitch angles are initially computed with some error; about  $-0.02^\circ$  for the roll angle and about  $-0.035^\circ$  for the pitch angle. This error is due to roll and pitch rate biases of the gyroscope and the time required for the convergence of the extended Kalman filter. The smaller the bias, the smaller the error. (Note that there is no discontinuity in the computed roll and pitch angles. The seemingly discontinuous behavior is due to the time scale of the plots.) By comparison, this result is better than the scenario without the EKF as shown in Figure 6.

89

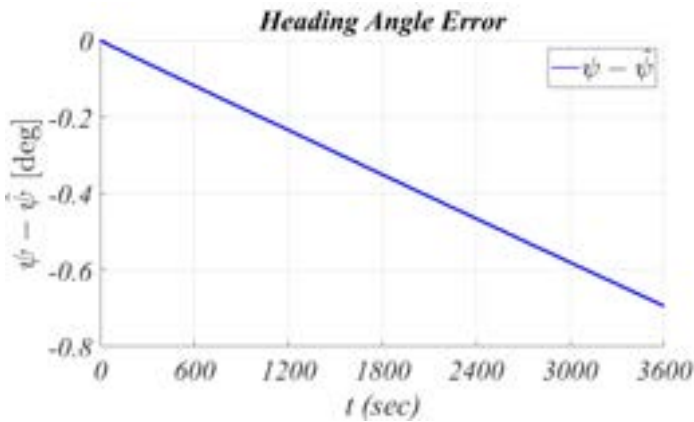


Figure 15. Heading Angle Error (ZUPT case)

Figure 15 shows that the EKF with ZUPT algorithm is completely ineffective on the heading angle. The main reason behind this result is the fact that the heading angle is an unobservable state (Titterton and Weston, 2004). It performed even worse than the nonfunctional filter scenario (see Figure 6 in Section 2.2). However, this is completely due to the random sensor noise generated in the simulation. In other simulation runs, EKF with ZUPT could be better, although that would still not negate the fact that ZUPT has no effect on the heading angle. As stated before, dedicated North Finding algorithms are devised for heading angle estimation (Titterton and Weston, 2004).

In short, ZUPT is a very successful algorithm in bounding position ( $L, \lambda, h$ ) and velocity ( $v_N, v_E, v_D$ ) errors. Roll and pitch angle ( $\phi, \theta$ ) errors may be considered more than acceptable, however, it is completely unreliable for the heading angle ( $\psi$ ). This motivates the next improvement on the ZUPT method.

### 3.2. Zero Turn Update (ZTUPT)

The main invention of ZTUPT is to feed into the extended Kalman filter the additional information that a vehicle at rest is also non-rotating, i.e. its Euler angle rates are zero. As given in Equation 4, Euler rates evolve in time in accordance with

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = T\omega_{nb}^b = T(\omega_{ib}^b - C_n^b(\omega_{ic}^n + \omega_{en}^n)) \quad (15)$$

where

$$T = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix}$$

ZTUPT utilizes the additional information that

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = 0 \quad (16)$$

when a vehicle is stationary.

For Equation 15 to be equal to zero, either  $T$  must be a zero matrix, which it clearly is not, or it must have a non-empty null space. For a land vehicle, it is safe to assume that  $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ . Then,

$$\det(T) = \frac{1}{\cos \theta} \neq 0$$

for all  $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$ , which in turn means that the null space of  $T$  is empty, i.e.

$$\mathcal{N}(T) = \emptyset.$$

Therefore, for Equation 15 to be true, it must be that

$$\omega_{nb}^b = \omega_{ib}^b - C_n^b(\omega_{ic}^n + \omega_{en}^n) = 0.$$

However, since a vehicle at rest has zero linear velocities as well, by Equation 3,  $\omega_{en}^n = 0$ . This further simplifies the zero turning condition to

$$\omega_{ib}^b - C_n^b\omega_{ic}^n = 0 \quad (17)$$

which describes what the gyroscopes should measure under such zero velocity and zero turning conditions.

In order to implement the ZTUPT algorithm, an output function,

$$g(x, u) \triangleq \omega_{ib}^b - C_n^b\omega_{ic}^n$$

is devised to incorporate Equation 17 as an additional output of the navigation equations. Hence,

$$g(x, u) = \begin{bmatrix} b_x + \omega_x - \Omega S_L S_\theta - \Omega C_L C_\phi C_\theta \\ b_y + \omega_y + \Omega C_L (C_\phi S_\phi - S_\phi S_\theta C_\phi) + \Omega S_L S_\phi C_\theta \\ b_z + \omega_z - \Omega C_L (S_\phi S_\phi + C_\phi S_\theta C_\phi) + \Omega S_L C_\phi C_\theta \end{bmatrix} \quad (18)$$

where where  $C_x \triangleq \cos x$  and  $S_x \triangleq \sin x$ . Equation 18 is clearly a function of the system states. The Jacobian of Equation 18 is also computed numerically in order to obtain the  $H_k$  matrix to be used in the EKF routine.

As in the ZUPT case, consider the scenario described in Section 2.2. The initial navigation states given in Equation 9 constitute the initial estimate of the EKF. The ideal sensor outputs are given in Equations 10 and 11, and the vehicle is assumed to be equipped with a tactical grade IMU as in Section 2.2. At the initialization of the simulations, bias values are determined and are kept constant throughout the simulations.

ZTUPT algorithm assumes no knowledge of the position and attitude of the vehicle. The information available to the algorithm are

$$\begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Therefore, the auxiliary sensor output provided to the EKF with ZTUPT is

$$\tilde{y}_k = [v_N \ v_E \ v_D \ \dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T = \mathbf{0}$$

Similar to the ZUPT case, please note that  $\tilde{y}_k = \mathbf{0}$  is not a sensor measurement, but acts as a constraint. Hence, the associated covariance matrix is zero, i.e.  $R_k = \mathbf{0}_{6 \times 6}$ .

Latitude and longitude errors are given in Figures 15 and 16.

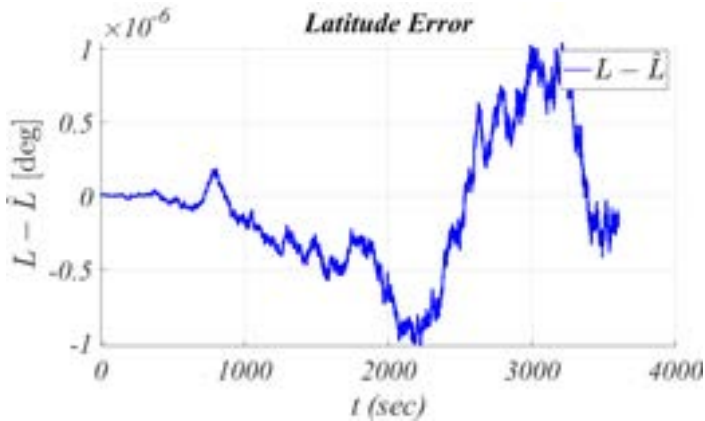


Figure 16. Latitude Error (ZTUPT case)

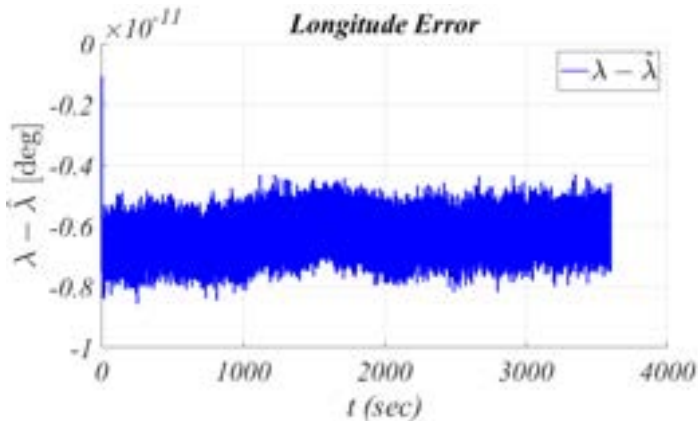


Figure 17. Longitude Error (ZTUPT case)

Figures 16 and 17 indicate, when the EKF with ZTUPT is active, almost no position error is made. According to the above

results, position error is less than 1 m. It is also apparent that the order of magnitude of errors are very similar for both scenarios.

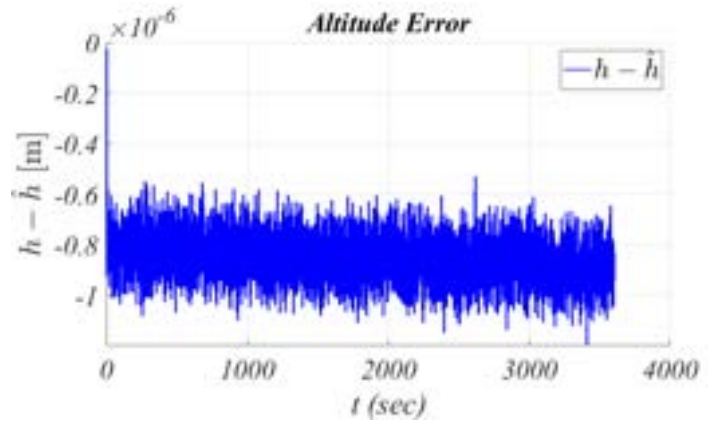


Figure 18. Altitude Error (ZTUPT case)

As shown previously in Figure 4 in Section 2.2, altitude diverges when the EKF with ZTUPT is not running. However, the altitude error is virtually nonexistent when the EKF with ZTUPT is active (Figure 18).

Figures for north, east, and down velocities when EKF with ZTUPT is active is not shown here to save space. However, it is stated that the results are as expected and very similar to the results obtained for EKF with ZUPT. The north, east, and down velocities are enforced to remain at zero and the magnitude of error for all three velocities is of order  $10^{-21}$ .

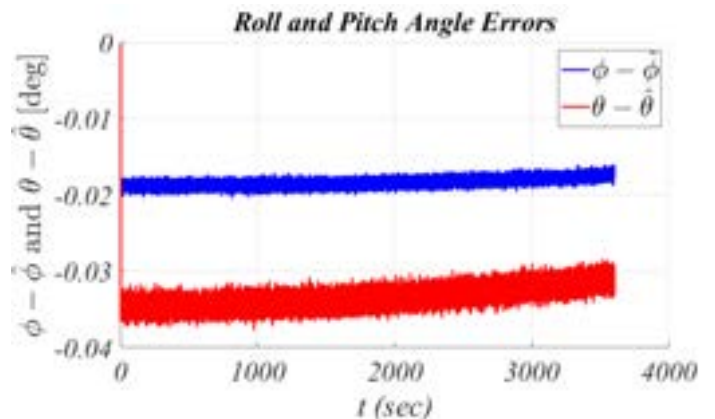


Figure 19. Roll and Pitch Angle Errors (ZTUPT case)

Figure 19 shows that the EKF with ZTUPT algorithm bounds roll and pitch angle errors, although –as for the ZUPT case– it cannot drive them to zero. This is because the EKF is not given any information on Euler angles, but just the rates of Euler angles. Roll and pitch angles are initially computed with some error; about  $-0.02^\circ$  for the roll angle and about  $-0.035^\circ$  for the pitch angle. This error is due to roll and pitch rate bias of the gyroscope and the time required for the convergence of the extended Kalman filter. The smaller the bias, the smaller the error. (As in Figure 14, please note that there is no discontinuity in the computed roll and pitch angles. The seemingly discontinuous behavior is due to the time scale of the plots.) By comparison, this result is better than the scenario without the EKF as shown in Figure 6, however very similar to the result obtained from EKF with ZUPT as shown in Figure 14.

All the results presented so far to demonstrate that the performance of the ZTUPT algorithm are very similar to the

ZUPT algorithm. However, Figure 19 shows one of the expected benefits of the ZTUPT scenario.



Figure 19. Heading Angle Error (ZTUPT case)

Empowered by the information that turn rates are also zero, heading angle errors are successfully bounded by the ZTUPT algorithm. This is an expected result because ZTUPT specifically “tells” the extended Kalman filter that the system is not rotating. Please note that, this result is not the same as North finding. ZTUPT simply prevents the initial heading angle from diverging.

#### 4. Summary and Future Work

Two methods that aim to bound navigation errors under GNSS denied environments are discussed in this paper: Zero Velocity Update (ZUPT) and Zero Turning Update (ZTUPT). Both methods show potential in bounding position and velocity errors. However, they are less successful at bounding attitude (Euler angle) errors, although roll and pitch angle error bounds may be deemed acceptable. While the ZUPT method is completely ineffective at bounding heading angle errors, ZTUPT performs much better. Although, estimation of the IMU bias is not the objective of this paper, these methods can be utilized for such a purpose. The main advantage of these methods is the fact that they do not require any additional sensor to be implemented in order to bound the errors. However, they are restrictive in the sense that they only work when the vehicle is not moving, or moving in kinematically constrained manner. Although this is a hard constraint, there are military applications where the position and attitude of a stationary vehicle is of great importance.

This study can be considered as a first step towards utilizing vehicle dynamics as an aiding algorithm to an inertial navigation system. Although, in this paper, a dynamic model is not introduced, properties of a non-moving vehicle are utilized. Reducing navigation errors while at rest is challenging because of the observability issues associated with the linearized dynamics of the system. Additionally, at rest, some of the sensors do measure zero, which makes estimation even harder. In this study, two methods, ZUPT and ZTUPT, are discussed and simulation results are presented. ZUPT manages to bound the navigation errors except for the heading angle. As a matter of fact, ZUPT has no effect on the heading angle. ZTUPT performed better than ZUPT overall, and also managed to bound heading angle errors. Both methods, as expected, failed to drive the attitude states to zero. Future work is going to try to incorporate a vehicle dynamical model and kinematic constraints into the extended Kalman filter structure and investigate the possibility of bounding navigation errors via an implementable framework even when the vehicles in consideration are moving. In addition, future work will

incorporate more realistic IMU errors such as scale factor and nonlinearity.

#### References

- Akcayir, Y. and Ozkazanc, Y. (2003). Gyroscope drift estimation analysis in land navigation systems. In IEEE Conference on Control Applications, volume 2, pages 1488–1491. doi: 10.1109/cca.2003.1223234.
- Goshen-Meskin, D. and Bar-Itzhack, I. Y. (1992a). Observability analysis of piece-wise constant systems. i. theory. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28(4):1056–1067. doi: 10.1109/7.165367.
- Goshen-Meskin, D. and Bar-Itzhack, I. Y. (1992b). Observability analysis of piece-wise constant systems. ii. application to inertial navigation in-flight alignment (military applications). IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28(4):1068–1075. doi: 10.1109/7.165368.
- Groves, Paul D. (2013). Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems. Artech House, second edition.
- Julier, S. J. and Uhlmann, J. K. (2004). Unscented filtering and nonlinear estimation. Proceedings of the IEEE, 92(3):401–422. doi: 10.1109/jproc.2003.823141.
- Ma, H., Yan, L., Xia, Y., and Fu, M. (2020). Kalman filtering and information fusion. Science Press.
- Musoff, H. and Zarchan, P. (2009). Fundamentals of kalman filtering: a practical approach. The American Institute of Aeronautics and Astronautics, 3rd edition.
- Schmidt, G. T. (2015). Navigation sensors and systems in GNSS degraded and denied environments. Chinese Journal of Aeronautics, 28:1–10. doi: 10.23919/icins.2018.8405890.
- Titterton, D. and Weston, J. (2004). Strapdown inertial navigation technology. The American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2nd edition.
- Wagstaff, B. and Kelly, J. (2018). LSTM-Based zero-velocity detection for robust inertial navigation. In International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pages 1–8. doi: 10.1109/ipin.2018.8533770.
- Wahlström, J., Skog, I., Gustafsson, F., Markham, A., and Trigoni, N. (2019). Zero-velocity detection - a bayesian approach to adaptive thresholding. IEEE Sensors Letters, 3(6):1–4. doi: 10.1109/lens.2019.2917055.
- Wan, E. (2006). Sigma-point filters: an overview with applications to integrated navigation and vision assisted control. In IEEE Nonlinear Statistical Signal Processing Workshop, pages 201–202. doi: 10.1109/nssp.2006.4378854.
- Xiaofang, L., Yuliang, M., Ling, X., Jiabin, C., and Chunlei, S. (2014). Applications of zero-velocity detector and Kalman filter in zero velocity update for inertial navigation system. In IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, pages 1760–1763. doi: 10.1109/cgncc.2014.7007449.





# Öğretmen Adaylarının Öğretim Kalitesi Yeterlik Algılarının Cinsiyet ve Fakülte Açısından İncelenmesi\*

Cüneyt Arı<sup>1</sup>, Faruk Kardaş<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Öğrencisi ERZİNCAN/ TÜRKİYE ORCID No: : 0000-0002-8805-899X, Cunevtari9@gmail.com

<sup>2</sup>Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı ERZİNCAN/ TÜRKİYE, ORCID No: 0000-0002-0900-7503, fkardas@erzincan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1133356)

**ATIF/REFERENCE:** Arı, C. & Kardaş, F. (2022). Öğretmen Adaylarının Öğretim Kalitesi Yeterlik Algılarının Cinsiyet ve Fakülte Açısından İncelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (38), 370-375.

## Öz

Bu çalışmanın amacı öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algılarını cinsiyet ve fakülte açısından incelemektir. Bilgi ve teknoloji çağı olarak adlandırılan bu dönem de özellikle bilim ve teknolojideki gelişmelere uyum sağlayan bir toplum yetiştirmek önemlidir. Bunu gerçekleştirmenin en başında ise eğitim kurumlarında verilen öğretim kalitesi gelmektedir. Çalışmaya 2019-2020 öğretim yılında eğitim fakültesi ve pedagojik formasyon eğitimi alan 346 öğretmen adayı katılmıştır. Veri toplama aşamasında Taşçı ve Atar tarafından geliştirilen 22 maddelik 5'li likert tipi olan "Öğretim Kalitesi Yeterlik Algısı" ölçeği kullanılmıştır. Veriler analiz edildiğinde öğretmenlik mesleğinin doğuştan mı yoksa sonradan mı kazanıldığı hususunda eğitim fakültelerinin rolü ortaya konulmuştur. Bu inanış çerçevesinde ve öğretmenlik eğitimi döneminde, öğretmenlik mesleğine yönelik davranışları edinme ve değişim değişkenlerinin öğretim kalitesi yeterlilik algılarında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Formasyon eğitimi alan öğretmen adaylarının eğitim fakültesindeki öğretmen adaylarından daha iyi öğretim kalitesi yeterlik algısı tespit edilmiştir. Cinsiyet açısından öğretim kalitesi yeterlik algısı üzerinden herhangi bir anlamlı farklılık bulunmamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Öğretmenlik, Öğretim Kalitesi, Yeterlilik Algısı, Pedagojik Formasyon

## Examination of Candidate Teachers' Perceptions of Teaching Quality Competence in Terms of Gender and Faculty Type

### Abstract

This study aims to examine the candidate teachers' perceptions of teaching quality competence in terms of gender and faculty type. It is important to raise society which adapts to developments in science and technology in this information and technology age. The quality of education provided in educational institutions is at the forefront of achieving this goal. 346 candidate teachers from an education faculty and pedagogical formation training program in 2019-2020 academic year, participated in the study. "Perceptions of Competency in Teaching Quality Scale" which is a five-point Likert scale with 22 items and developed by Atar and Taşçı was used as data collection instrument. When the data were analyzed, it was found that the role of education faculties in terms of whether the teaching profession was innate or acquired later was revealed. It was also determined that there are significant differences in the perceptions of teaching quality competence of the variables of acquiring and changing behaviors towards the teaching profession between the groups. The teacher candidates who received pedagogical formation training had a higher perception of teaching quality competence than the teacher candidates in the education faculty. There was no significant difference between the groups in terms of gender variable regarding teaching quality competence perception.

**Keywords:** Teaching, Teaching Quality, Perception of Competence, Pedagogical Formation.

\* Bu çalışma 1. Yazara ait Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 02/10/2020 tarih ve 38/29sayılı kararı ile onaylanan Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

† Corresponding Author: [fkardas@erzincan.edu.tr](mailto:fkardas@erzincan.edu.tr)

## 1. Giriş

İnsanlar, doğumundan, ölümüne kadar çevresiyle etkileşim içerisinde. Bu etkileşim neticesinde bilgiler edinmiş, edindiği bilgilere yeni bilgiler ekleyerek, keşifler yapmışlardır. Bu bilgiler ile evreni anlamaya çalışmak ve evrenin bilinmeyen yönlerini keşfetmek için çaba gösterilmektedir. Bu süreçte bireylerden beklenen şey sahip oldukları niteliklerin, giderek farklılaşmasıdır. Bu niteliklerin kazandırılmasında en önemli rol eğitimidir. Dünya sürekli değişmektedir ve bu değişim hayatın bütün boyutlarında gerçekleşmektedir. Bu değişim nitelikli bireylere olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Bu ihtiyaç edinilen bilginin işlenmesi için önemli bir olgu haline getirmiştir (Dutoğlu ve Tuncel, 2008,s.1). Nitelikli bireylerin kişisel gelişimi olmadan, toplumun gelişiminde mümkün değildir.

Bilgi toplumunun varlığı, edinilen bilgiyi iyi bir şekilde kavrayıp ve başkasına veya bir sonraki kuşağa aktaracak bireylerin yetişmesi ile mümkün olur. Bunun farkında olan devletler eğitim sistemlerini çağın gereksinimlerine ve şartlarına göre inşa ederler (Akkaya, 2009,s.25). Eğitim, bireylerin edindikleri bilgileri hayatlarında kullanmalarını sağlayan bir süreçtir (Çevik, 2008). Farklı bir ifade ile, insanoğlunun varlığından vefatına kadar sürekli devam eden bir olgudur (Yıldırım, 2011). Eğitimi, mevcut kurallara sahip ve bu kurallara uyulması gereken bir doğa yasası olarak tanımlamıştır. Her insan eğitilmeye muhtaçtır. Çünkü insanlık tarihi boyunca toplumsal değerlerin gelecek kuşaklara aktarılması ve bilgiye talepte bulunanlar arasında bir köprü olduğu için öğrenme ihtiyacı vardır.

Geçmişten günümüze kadar kendini ön plana çıkarmış olan ülkelerin temelinde iyi bir eğitim yatmaktadır. İyi bir eğitim bir ülkenin gelişmişliğini gösteren bir etkidir (Yıldırım, 2011). Bütün ülkeler kendi eğitim sistemlerini içerisinde ki toplumun yapısına, kültürüne ve değerleri gibi kriterlere bakarak kendine özgü eğitim sistemlerini oluştururlar (Azar, 2011,s.1). Günümüz yenilikleri, gelişmeler, değişimler mevcut devlet kurumlarının da değişmesine neden olmaktadır. Bu kurumlar verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için bu değişimlere ayak uydurmak zorundadırlar. Bu kurumlardan biri de eğitim kurumlarıdır. Eğitim kurumlarının personelleri bu bağlamda kendilerini sürekli yenilemelidirler. Bu personellerden en önemlisi öğretmendir (Yanpar-Yelken,T; Çelikkaleli, Ö. ve Çapri,B. 2007, s.2).

Meslek olarak öğretmenlik, en köklü mesleklerden birisidir. Öğrenme ve öğretme olgusu insanlığın varlığından beri olan bir süreçtir. Bu süreç bitmeyeceğinden dolayı öğretmenlik mesleği önemini korumakta ve kesintisiz devam etmektedir (Ertuğrul, 2005). Öğretmen, verilen eğitimin amaçlarına ulaşmasında en önemli parçadır (Polat ve Kılıç, 2013,s.1). Modern toplumlarda öğretmenlerin eğitim ve öğretim işini gerçekleştiren teknik elemanlar değil, öğrencilere ve topluma rol model olacak insanlardır ( MEB, 2012,s.1). Çalışma sahasının merkezini çocuklar, okul ve okul çevresi oluşturmaktadır. Bu durumda öğretmenlerin mesleki sorumluluğunu genel olarak öğrenci, veli, okul ve çevresi, meslek arkadaşları oluşturur (Akman, 2009). İyi bir öğretmenin sahip olması gereken birkaç özellik vardır. Sıcak kanlı davranış, mizah sahibi, karşısındaki bireye değer gösterme, çalışkanlık, öğrenme ve öğretme aşkı gibi özellikler yeterli gibi gözüktüğü düşünülse de bunlar yeterli değildir (Wayne ve Youngs, 2003,s.1).

Bu özelliklerin yanı sıra, alan bilgilerini ve öğretmesi gereken diğer bilgilerinin nasıl öğretilmesi gerektiğini iyi

bilmelidir. Yani eğitim bilimleri derslerine vâkıf olması iyi bir öğretmenin temelini oluşturmaktadır(Cornelius- White, 2007.s,1). Problem çözme odaklı, toplumsal çatışmaların hem bireyin kendisi hem de başkalarını tatmin edici bir çözüm için stratejilerin kullanılmasını ifade eder. Sorun çözme odaklı noktalar; problemi anlama, çözüm planı yapma, uygulanan planın sonuçları değerlendirmek. Yapmış olduğumuz anket çalışmasında, mevcut eğitim sisteminde, formasyon grubunun eğitim grubuna göre, daha başarılı olduğu tesbit edilmiş. Eğitim programdaki kazanımların sürdürülebilir olduğu görülmüştür. (Şeker ve Aydın, 2021).

YÖK (1999) öğretmen eğitiminde kalitenin artmasında bir standart oluşması gerektiğini düşünmüştür. Ve bu çerçevede bir proje oluşturmuştur. Projenin amacı, öğretmen yeterliklerinin teorik ve uygulamalı bir şekilde kazandırılması ve standardın oluşturulmasıdır. Proje sonucunda öğretmenler için öğretmen yeterlik listesi oluşturulmuştur ve bu liste tablo 1 de ki gibi belirtilmiştir.

Tablo 1 YÖK 1999 öğretmen Yeterlik Tablosu  
Table 1 YÖK 1999 Teacher Competence Table

Temel Alan yeterlikleri	Öğretmen yeterlikleri
1. Konu alanı ve bu alan eğitimine ilişkin yeterlikleri	1. Konu alan bilgisi
2. Öğretmen Öğrenme sürecine ilişkin yeterlikler bilgisi	2. Alan eğitimi
3.Öğrencilerin öğrenmelerini izleme, değerlendirme ve kayıt tutma	3. Planlama
4. Tamamlayıcı mesleki yeterlikler	4. Öğretmen süreci
	5. Sınıf yönetimi
	6. İletişim

Bir meslek alanına özgü görevlerin yapılabilmesi için gerekli olan mesleki bilgi, beceri ve tutumlara sahip olma durumu yeterlidir. Öğretmenlik mesleği nesnel yeterlikleri ise Öğretmenlik mesleğini etkili ve verimli biçimde yerine getirebilmek için sahip olunması gereken genel bilgi, beceri ve tutumlardır (MEB, 2006, s. 12). Ülkemizde eğitim sistemi ve öğretmen yeterlikleri üzerine birçok araştırma yapılmış ve halen yapılmaya devam etmektedir (Etmer, 2005, s. 4). Öğretmenin vermiş olduğu eğitim sırasında “ne” ve “nasıl” bilgi aktarmasını iyi bilmelidir. Pedagogik olarak “nasıl”, alan eğitimi olarak “ne” öğretimi önemlidir. (Gürbüz vd, 2013). (Hollins, 2011, s. 4) öğretimi, doğru olan ve değişen bilgiyi sentezleyen ve bu bilgileri bireylere sunulan karmaşık ve çok yönlü bir süreç olarak tanımlamıştır. Öğretim kalitesi, bireylerin hayatları boyunca başarıya ulaşması, ihtiyaç ve beklentilerine yönelik sürekli devam eden eğitim hizmetlerinin iyileştirilmesi ve gelişmesi için yapılan çalışma süreçleridir (Özdayı, 2000, s. 12). Öğretmen yetiştiren kurumlarda verilen eğitimler önemlidir. Öğretmen adaylarının eğitimleri sırasında mesleki hayatlarına başlamadan önce mesleki hazırbulunuşluk öğretim kaliteleri üzerinde etkilidir. Eğitim sonunda öğretmen adaylarının kaliteli bir öğretim yapması beklenir. Öğretmen adaylarının öğretim kalitesini belirleyen bir unsur onların hazırbulunuşluk düzeyleridir. Bir öğretmenin hazırbulunuşluğu hem kendi öğretim kalitesini hem de bağlı olduğu kurumun kalitesini arttıracaktır(Yanpar- Yelken; Çapri ve Çelikkaleli 2007 ,s. 2).

Alanyazın taraması ve problem ifadesi ile şekillenen araştırmanın amacı “araştırmanın niyetini ortaya koyan,

araştırma konusunun kapsamına odaklanan problemin yeniden ifade edilmiş biçimidir. İlgili alanyazın taraması; araştırma probleminin anlamlı olabilmesi için, kavramsal değerler özümlemelidir.

Konunun hangi bağlamda ele alındığı, daha önce hangi araştırmaların yapıldığı, alanda nasıl eksikliğin bulunduğu ve yapılan çalışmanın hangi yönüyle önemli olduğu bilgilerinin bulunduğu bölüm olarak karşımıza çıkmaktadır. (Muşlu Kaygısız, Benzer ve Dilek Eren, 2020). Alanyazın incelendiğinde, (Çapri ve Çelikkaleli, 2008)'de öğretmen adayları üzerinde yaptığı araştırmada öğretmenlik mesleğine yönelik tutum ve mesleki yeterlik inançlarını farklı değişkenler açısından incelemiştir. Araştırmaya 250 öğretmen adayı katılmıştır. Çalışma sonucunda öğretmen adaylarının cinsiyet değişkeninde kızlar lehine, fakülte değişkeninde eğitim fakültesi lehine mesleki yeterlik inançlarını yüksek bulmuştur. (Kösterlioğlu ve Kösterlioğlu, 2008, s. 357)'de yaptığı araştırmaya 43 stajyer öğretmen katılmış ve stajyer öğretmenlerin mesleki yeterliklerini kazanma düzeyini belirlemiştir. Çalışma sonucunda stajyer öğretmenlerin öğretmenlik mesleğine yönelik kendilerini büyük ölçüde yeterli gördüklerini tespit etmiştir.

Bu çalışmada, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi formasyon programında eğitim gören farklı alanlardaki ve eğitim fakültesi öğretmen adaylarının cinsiyet açısından öğretim kalitesi yeterlilik algıları arasında anlamlı bir fark bulunup bulunmadığını tesbitetmektedir. Bu amaca yönelik aşağıdaki sorulara cevap bulmaya çalışılmıştır.

Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi formasyon programında eğitim gören farklı alanlardaki öğretmen adaylarının Eğitim fakültesi öğretmen adaylarına yönelik öğretim kalitesi yeterlilik algıları, cinsiyet değişkenine göre anlamlı bir farklılık göstermekte midir?

Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi formasyon programında eğitim gören farklı alanlardaki öğretmen adaylarının Eğitim fakültesi öğretmen adaylarına yönelik öğretim kalitesi yeterlilik algıları, fakülte değişkenine göre anlamlı bir farklılık göstermekte midir?

Tablo 2 Örneklem Grubunun Demografik Bilgiler Tablosu,

Table 2 Demographic Information Table of the Sample Group

Değişkenler		N	F(%)
Fakülte	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	%46
	Eğitim	187	%54
<b>Toplam</b>		<b>346</b>	<b>%100</b>
Cinsiyet	Erkek	115	%33.2
	Kadın	231	%68.8
<b>Toplam</b>		<b>346</b>	<b>%100</b>

## 2. Material and Method

Yapılan çalışmada, nicel araştırma yöntemlerinden olan betimsel tarama modeli kullanılmıştır. Tarama modeli var olan durumu ortaya koymak ve tanımlaması esasına dayanmaktadır (Böyüköztürk, vd., 2008, s. 1). Araştırmada öğretmen adaylarının eğitim aldıkları fakültede, formasyon ve eğitim fakültesi adaylarının, cinsiyet değişkenleri açısından öğretim

kalitesi yeterlilik algılarının İncelenmesi konusu ele alınmıştır alınmıştır.

## 2.1. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmada nicel araştırma yöntemlerinden betimsel tarama modeli örneklemini, 2019-2020 yılında, Doğu Anadolu' da bulunan bir devlet üniversitesini pedagojik formasyon eğitimi alan ve eğitim fakültesinde eğitim gören 346 öğretmen adayı oluşturmuştur. Öğretmen adayları seçilirken eğitim fakültesinin 4. Sınıf öğrencileri ve pedagojik eğitiminin sonuna doğru seçilmesine dikkat edilmiştir. Bunun nedeni öğretmenlik mesleğine en yakın zamanları ve öğretmenlik eğitimlerinin sonuna yaklaşmış olmalarıdır.

Tablo 2 incelendiğinde öğretmen adaylarının bağımsız değişkenlere göre demografik özellikleri bulunmaktadır. 346 öğretmen adayı ile yürütülen çalışmanın örneklemini %46 Fen edebiyat fakültesi (F.E.F) pedagojik formasyon eğitimi gören, %54 ünü Eğitim fakültesi öğretmen adayı oluşturmaktadır. Örneklemi %33,2 erkekler, %68,8'lik kısmını ise kız öğretmen adayları oluşturmaktadır.

### 2.1.1. Araştırmanın Amacı

Yapmış olduğumuz bu çalışmanın amacı "Öğretmen Adaylarının Öğretim Kalitesi Yeterlik Algılarını" farklı değişkenler açısından incelemektir. Bu amacı gerçekleştirmek için çalışmanın özünde nicel araştırma yöntemlerinden tarama deseni modeli kapsamında tanzim edilmiştir. Bunun yanında öğretmen adaylarının değerlendirmeleri, betimsel çözümlenmeler ile de örneklendirilmiştir.

### 2.1.2. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada veri toplama aracı olarak (Taşçı ve Atar,2016) nın geliştirdiği "Öğretim Kalitesi Yeterlik Algısı(ÖKYA)" ölçeği uygulanmıştır. Ölçek 22 maddeden oluşmakta olup 5'li likert tipi ölçektir. Ölçek geliştirilirken 283 öğretmen adayına uygulanmıştır. Ölçeğin nihai sonucunda 5 alt boyuttan oluşturulmuştur. Bunlar "Alan Bilgisi(AB)", "Destekleyici Sınıf Atmosferi(DSA)", "Öğretim Sürecini Yapılandırma(ÖSY)", "Biliş aktivasyonu ve tekrar(BAT)", "Sınıf Yönetimi(SY)" olarak isimlendirilmiştir. Ölçeğin cronbach alpha güvenilirlik tekrardan yapılmış ve tablo 3 te bu değerler verilmiştir.

Tablo 3 Öğretim Kalitesi Yeterlik Algısı Ölçeği Güvenirlik Katsayısı

Table 3 Reliability Coefficient of Teaching Quality Efficiency Perception Scale

Ölçek Alt Boyutları	Cronbach alpha güvenirlik
Alan Bilgisi	0.801
Destekleyici Sınıf Atmosferi	0.697
Öğretim Sürecini Yapılandırma	0.780
Biliş Aktivasyonu ve Tekrar	0.722
Sınıf Yönetimi	0.609
Genel Toplam	0.900

## 3. Bulgular

Bu bölümde araştırmanın amacına yönelik öğretim kalitesi yeterlilik algısı ölçeğinden elde edilen veriler ışığında; araştırmaya katılan öğretmen adaylarının öğretim kalitesi

yeterlik algılarının formasyon ve fakülte açısından incelenmesine yönelik bulgulara yer verilmiştir.

Tablo 4. Öğretmen adaylarının fakülte değişkenine göre öğretim kalitesi yeterlilik algıları bağımsız T-testi sonuçları

Table 4. The independent t-test results of teacher candidates' perceptions of teaching quality proficiency according to the faculty variable

Ölçek Alt Boyutları	Fakülte	N	$\bar{X}$	SS	t	p
Alan Bilgisi	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	16.88	2.364	2.971	.003
	Eğitim	187	16.03	2.895		
Destekleyici Sınıf Atmosferi	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	22.67	2.127	1.445	.145
	Eğitim	187	22.32	2.426		
Öğretim Sürecini Yapılandırma	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	22.40	2.543	2.740	.006
	Eğitim	187	21.59	2.886		
Biliş Aktivasyonu ve Tekrar	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	17.58	2.042	3.074	.002
	Eğitim	187	16.86	2.263		
Sınıf Yönetimi	F.E.F (Formasyon Grubu)	159	17.34	2.071	1.958	.51
	Eğitim	187	16.86	2.419		
<b>Genel Toplam</b>	<b>F.E.F (Formasyon Grubu)</b>	<b>159</b>	<b>96.87</b>	<b>8.758</b>	<b>3.164</b>	<b>.002</b>
	<b>Eğitim</b>	<b>187</b>	<b>93.65</b>	<b>10.145</b>		

Tablo 4. incelendiğinde, öğretmen adaylarının ÖKYA ölçeğini 2 alt boyutlarında DSA ve SY alt boyutlarında anlamlı farklılık bulunmazken diğer 3 alt boyutlar olan AB, ÖSY, BAT alt boyutlarında ayrıca genel toplam da okudukları fakülteye göre öğretim kalitesi yeterlik algıları üzerinde anlamlı farklılık olduğu bulunmuştur. Bu anlamlı farklılık Fen edebiyat fakültesi pedagojik formasyon eğitimi gören öğretmen adayları ile eğitim fakültesi öğretmen adayları arasında olup anlamlı farklılık fen edebiyat fakültesi pedagojik formasyon eğitimi gören öğretmen adayları lehine olduğu tespit edilmiştir(p<.05).

Tablo 5. Öğretmen adaylarının cinsiyete ve değişkenine göre öğretim kalitesi yeterlilik algıları bağımsız T-testi sonuçları

Table 5. The independent t-test results of teacher candidates' perceptions of teaching quality proficiency by gender and variable

Ölçek Alt Boyutları	Cinsiyet	N	$\bar{X}$	SS	t	p
Alan Bilgisi	Erkek	159	16.29	2.427	-.676	.500
	Kız	187	16.48	2.820		
Destekleyici Sınıf Atmosferi	Erkek	159	22.31	2.462	-.952	.342
	Kız	187	22.56	2.211		
Öğretim Sürecini Yapılandırma	Erkek	159	21.70	2.985	-1.214	.225

Biliş Aktivasyonu ve Tekrar	Kız	187	22.09	2.638	.576	.565
	Erkek	159	17.29	2.122		
Sınıf Yönetimi	Kız	187	17.14	2.227	-.065	.948
	Erkek	159	17.07	2.547		
<b>Genel Toplam</b>	<b>Erkek</b>	<b>159</b>	<b>17.07</b>	<b>2.547</b>	<b>-.065</b>	<b>.948</b>
	<b>Kız</b>	<b>187</b>	<b>17.09</b>	<b>2.133</b>		

Tablo 5 incelendiğinde, öğretmen adaylarının ÖKYA ölçeğinin bütün alt boyutlarında ve genel toplamda cinsiyet açısından öğretim kalitesi yeterlik algıları üzerinde anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir(p<.05).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bilimsel araştırmalarda doğru bilgiye ulaşmanın ilk olumlu adımlarını atmaları için, cinsiyet açısından, formasyon ve eğitim fakültesi öğretmen adaylarının bu yolda kendilerinin attıkları adımları tespit etmek için yapılan bu çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen bulgulara göre cinsiyet açısından öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algılarında bir anlamlı farklılık olmadığı görülmektedir. Fakülte açısından ise öğretmen adaylarının 2 alt boyutta anlamlı farklılık görülmezken 3 alt boyutta anlamlı farklılık olduğu görülmektedir. Bu anlamlı farklılık fen edebiyat fakültesinde öğrenim gören öğretmen adayları lehine olduğu görülmektedir. Anlamlı farklılıkların tespit edildiği alt boyutlar alan bilgisi, öğretim sürecini yapılandırma ve biliş aktivasyonu ve tekrardır.

(Büyükkaragöz ve Çivi, 1999, s. 10)' ye göre, öğretmenlerin nitelikli bireyler yetiştirme sürecinde en ön safhada bulunan kişilerin olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle nitelikli bireylerin yetiştirilmesi için öğretmenin gerekli yeterlikleri barındırması gerekmektedir. Bunun sonucunda öğretmenin bulunduğu kurumda eğitim kalitesinin yükseltilmesi için önem arz etmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algıları cinsiyet ve bağlı olduğu fakülte bazında incelenmiştir. Pedagojik formasyon eğitimi gören öğretmen adaylarının eğitim fakültesinden eğitim görmekte olan öğretmen adaylarından daha iyi bir öğretim kalitesi yeterlikleri olduğu tespit edilmiştir (Kıraz ve Dursun, 2015, s. 3) yaptığı nitel çalışmada pedagojik formasyon eğitimi öğrencilerinin çoğunun formasyon derslerinden çok şey öğrendiklerini fakat bazı derslerde öğretim elemanlarının derslerde kendilerine herhangi bir katkısı olmadığını söylemişlerdir. Ve bu durumun onların verimini düşürdüğünü belirttiklerini tespit etmiştir. Yapılmış olan çalışmalarda, bizim çalışmamızla ortak yönleri öğretim kalitesini etkileyen faktörler incelenmemiştir. Farklı yönü ise çalışmanın formasyon eğitimi alan öğretmen adayları ile sınırlı kalmasıdır. Yaptığımız çalışmada formasyon eğitimi alan öğretmen adayları ile eğitim fakültesi öğretmen adayları birlikte incelenmiştir. Başka bir çalışmada (Temiz, 2016, s. 3) pedagojik formasyon eğitimi gören müzik öğretmen adayları ile eğitim fakültesi müzik öğretmen adayları üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda eğitim fakültesi bünyesindeki müzik öğretmen adaylarının formasyon eğitimi alan müzik öğretmenlerinden daha yeterli düzeyde bulunduğunu tespit etmiştir. Çalışma grubunun sadece eğitim fakültesi müzik eğitimi öğretmen adayları üzerinden yapılmış olması eğitim fakültesine genelleme yapılması için uygun değildir. Yukarıda ki sonuçlar incelendiğinde çalışmamızdan elde edile sonuçlar örtüşmediği

görülmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada ise farklı bölümlerden öğretmen adayları örneklemimizi oluşturduğundan dolayı genelleme yapılabilir.

(Hang ve Feng, 2015, s. 18) yapmış olduğu çalışmada, üniversitede ki beden eğitimi derslerinde öğrencilerin öğretim kalitesi değerlendirmesi için TOPSIS ve AHP metotlarından oluşan RHAPTOSIS yöntemini kullanmayı önermişlerdir. Bu metot ile 4 üniversitenin beden eğitimi derslerinin öğretim kalitesini değerlendirerek sıralama yapmışlardır. Çalışmada elde ettiğimiz verilerde, bölümler arası bir sıralama yapılmamıştır. Varolan bir durumu otaya koyulmak için nicel bir çalışma ile sınırlı kalmıştır. Avcı ve Kalelioğlu (2019) da yapmış olduğu çalışmada 74 öğrencinin eğitim programındaki eğitim ve öğretim kalitesi algılarını içerik analizi ile analiz etmiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerin cinsiyet değişkeni açısından eğitim ve öğretim kalitesine ilişkin algılarında bir anlamlılık farklılık göstermemiştir.

Bir başka çalışmada, (Süral ve Sarıtaş, 2015, s. 1)'ın yapmış olduğu çalışmada pedagojik eğitim alan 210 öğretmen adayının cinsiyet yönünden öğretmenlik mesleki yeterliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda kız öğretmen adayların erkek öğretmen adaylardan daha yüksek bir öğretmenlik mesleki yeterliliğe sahip olduklarını tespit etmiştir. (İzci, 1999) çalışmasında erkek öğretmenlerin mesleki bilgi düzeylerini kız öğretmenlerden daha düşük bulmuştur. Bu durum bizim çalışmamıza paralel olmayan bir durumdur. Buna ek olarak (Karakaya, vd., 2016, s. 2) çalışmalarında kız öğrencilerin erkek öğrencilere göre öğretim kalitesi lehine anlamlı farklılık olduğunu tespit etmiştir. Yılmaz (2010) çalışmasında Türkçe öğretmen adaylarının öz yeterliklerini cinsiyet ve öğretim şekli açısından incelemiş ve anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Ayrıca Üstünlüoğlu (2016) çalışmasında cinsiyetin yükseköğretimde öğretim kalitesinde önemli bir farklılığı olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algılarının cinsiyet değişkenine göre çok fazla araştırma olmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların geneli öğretmenlik mesleği yeterlik algıları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu durum yapılan çalışmamızın farklı bir bakış açısına ışık tutacağı öngörülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın bulguları ışığında bakıldığında, öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algılarının belirlenmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Çalışmada öğretim kalitesi yeterlik algılarının önce alt boyutları ele alındıktan sonra bütün olarak değerlendirilmesinin daha ayrıntılı bir çalışma olacağı yönünde öngörülmüştür. Böylelikle öğretmen adaylarının öğretim kalitesi yeterlik algılarında hangi alt boyutlarda sorun yaşadığı tespit edildiği düşünülmektedir.

Öğretmen adaylarının öğretim kalitesi algıları hakkındaki düşünceleri nitel bir çalışma ile tespit edilebilir.

Öğretimin kalitesini belirleyen unsurların neler olduğuna dair çalışmalar yapılarak literatüre ışık tutulabilir.

#### Kaynakça

- [1] Akkaya, N. (2009). Öğretmen Adaylarının Öğretmenlik Mesleğine Yönelik Tutumlarının Bazı Değişkenlere Göre Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, s (25), 35 – 42.
- [2] Akman, T. (2019). *Öğretmenlerin Mesleki Tükenmişlik Düzeyleri ve Mesleki Doyumlarının İncelenmesi*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul : Marmara Üniversitesi.

- [3] Ata, O.A. & Arslan, Ö. H. ( 2021). Fen Bilimleri Öğretmenlerinin STEM Eğitimi Yaklaşımına Yönelik Hazırbulunuşluk Durumlarının İncelenmesi *YYÜ Eğitim Fakültesi Dergisi (YYU Journal of Education Faculty)*, 18(2), 405-436 <https://doi.org/10.33711/yyuefd.1029055>
- [4] Avcı, Ü. & Kalelioğlu, F. (2019). Bir Öğretmen Eğitim Programında Öğrencilerin Eğitim ve Öğretim Kalitesi Hakkındaki Algıları, *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, (9)1, 52-64
- [5] Azar, A. (2011). Türkiye'deki Öğretmen Eğitimi Üzerine Bir Söylem: Nitelik mi, Nicelik mi? *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*. 1(1), 36-38. <https://doi.org/10.5961/jhes.2011.004>
- [6] Büyükkaragöz, S. S. & Çivi, C. (1999). *Genel Öğretim Metotları, Öğretimde Planlama Uygulama*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- [7] Büyükoztürk, Ş., Kılıç, Çakmak. E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2008), "*Bilimsel araştırma yöntemleri*"Ankara:Pegem Akademi. <https://doi.org/10.14527/9789944919289>
- [8] Celep, C. (2001). *Meslek Olarak Öğretmenlik*. Ankara : Anı Yayıncılık.
- [9] Cornelius-White, J. (2007). Learner-Centered Teacher-Student Relations are Effective: A Meta-Analysis. *Review of educational research*, 77(1), 113-143. [doi.org/10.3102/003465430298563](https://doi.org/10.3102/003465430298563)
- [10]Çapri, B. & Çelikkaleli, Ö. (2008). Öğretmen Adaylarının Öğretmenliğe İlişkin Tutum ve Mesleki Yeterlik İnançlarının Cinsiyet, Program ve Fakültelerine Göre İncelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9(15), 33-53.
- [11]Çevik, M. (2008). *Öğretmenlik Mesleği Dışında Kamu Kurumlarında Görev Yapan Eğitim Fakültesi Fen Alanı Mezunlarının Bölüm Bilgilerinin İş Hayatlarına ve Günlük Yaşantılarına Etkisi*. [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi].Ankara: Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- [21]Dağlı, H., & Dağlıoğlu, H.E. (2021). Okul öncesi dönem çocuklarının duyu düzenleme becerileri ile problem çözme becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi, *Cumhuriyet International Journal of Education*, 10(3),1020-1046. <http://dx.doi.org/10.30703/cije.799698>
- [13]Dutoğlu, G. & Tuncel, M. (2008). Aday Öğretmenlerin Eleştirel Düşünme Eğilimleri ile İlgili Duygusal Zeka Düzeyleri Arasındaki İlişki. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*,8(1), 11-31.
- [14]Ertuğrul, H. (2005). *Öğretmenin başarı kılavuzu*. İstanbul : Nesil Yayınları.
- [15]Ertmer, P. (2005). Teacher Pedagogical Beliefs: The Final Frontier In Our Quest For Technology Integration?. *Educational Technology Research And Development*, 53(4), 25-39.
- [16]Gürbüz, R., Erdem, E. & Gülburnu, M. (2013). Sınıf Öğretmenlerinin Matematik Yeterliklerini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(2), 255-272.
- [17]Hollins, E. R. (2011). Teacher preparation for quality teaching. *Journal of Teacher Education*, 62(4), 395-407. <https://doi.org/10.1177/0022487111409415>
- [18]Huang, X. & Feng, S. (2015). Research on the Teaching Quality Evaluation for the Physical Education in Colleges Based on the AHPTOPSIS. *Chemical Engineering Transactions*, 11(18),46-62.
- [19]İzci, E. (1999). *Ortaöğretim Kurumlarında Görev Yapan Öğretmenlerin Öğretmenlik Meslek Bilgisi (Pedagojik Formasyon) Yeterliklerinin Bazı Değişkenlere Göre*

- İncelenmesi.Yayınlanmamış* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]., Malatya:İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [2]Karakaya, A., Kılıç, İ. & Uçar, M. (2016). Üniversite Öğrencilerinin Öğretim Kalitesi Algısı Üzerine Bir Çalışma. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s2, 40-55. <https://doi.org/10.14230/joiss217>
- [21]Kiraz, Z. & Dursun, F. (2015). Pedagojik Formasyon Eğitimi Alan Öğretmen Adaylarının Aldıkları Eğitime İlişkin Algıları. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(3), 1008-1028. <https://doi.org/10.17860/efd.37544>
- [22]Kösterelioğlu, İ. & Kösterelioğlu M. A. (2008). Stajyer Öğretmenlerin Mesleki Yeterliklerini Kazanma Düzeylerine İlişkin Algıları. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi*, 10(2),257-275. <https://doi.org/10.24315/tred.526533>
- [23]MEB (2020). <https://oygm.meb.gov.tr/www/ogretmenlik-meslegi-genel-yeterlikleri/icerik/39> ANKARA
- [24]MEB (2006). Millî Eğitim Bakanlığı Öğretmen yetiştirme ve eğitimi genel müdürlüğü ANKARA
- [25]Muşlu Kaygısız, Benzer. & Dilek Eren. (2020). Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Bilimsel Araştırma Yöntemlerini Kullanma Durumlarının Değerlendirilmesi “*Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2020; 16(3): 706-729” DOI: 10.17860/mersinefd.715668
- [26]Özdayı, N. (2000). Eğitim Fakültesinde Okuyan Öğrencilerin Mesleki Kaygılarının Toplam Kalite Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 12(12), 233-248.
- [27]Polat, İ. & Kılıç, E. (2013). Türkiye’de Çok kültürlü Eğitim ve Çok kültürlü Eğitimde Öğretmen Yeterlilikleri. *Yüzüncü yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*,10(1), 352-372.
- [28]Süral, S. & Sarıtaş, E. (2015). Pedagojik Formasyon Programına Katılan Öğrencilerin Öğretmenlik Mesleğine Yönelik Yeterliliklerinin İncelenmesi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(1), 62-75. <https://doi.org/10.17860-efd.56668-161076>
- [29]Şeker, F. & Aydın, B. (2021). Fen bilgisi öğretmenlerinin perspektifinden sürdürülebilir kalkınma için eğitim ve yeterlilikleri. *e- Kafkas Eğitim Araştırmaları Dergisi*, s.8, 460-479. <https://doi.org/10.30900/kafkasegt.964116>
- [30]Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2012). Using Multivariate Statistics (6. bs.). New Jersey: Pearson. ISBN-13: 978-0-13-479054-1
- [31]Temiz, E. (2016). Pedagojik Formasyon Eğitimi Alan Müzik Öğretmeni Adaylarının Mesleki Yeterlilikleri. *Turkish Studies*, 11 (3), 2165-2174.
- [32]Üstünlüoğlu, E. (2016). Percetions versus Realities: Teaching Quality in Higher Education. *Türk Eğitim Dergisi*, 41(184), 235-250
- [33]Wayne, A. J. & Youngs, P. (2003) Teacher Characteristics and Student Achievement Gains: A Review.*Review of Educational Research*,73(1), 89-122. <https://doi.org/10.3102/00346543073001089>
- [34]Yanpar-Yelken,T; Çelikkaleli, Ö. & Çapri,B. (2007). Eğitim Fakültesi Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Öğretmen Adayı Görüşleri (Mersin Üniversitesi Örneği). *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(2), 191-215.
- [35]Yıldırım S. (2011). *Kosova’da öğretmen yetiştirme politikası(1990-2010) ile kosova’da ve türkiye’de sınıf öğretmenliği öğretmenlik uygulamasının değerlendirilmesi*, [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi].Balıkesir: Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [36]Yılmaz, İ. (2010). Türkçe Öğretmeni Adaylarının Özel Alan ve Öz Yeterlik Algıları. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, [1]Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [37]YÖK. (2007). Öğretmen Yetiştirme ve eğitim fakülteleri (1987-2007). Ankara.



# Augmented Reality Aided Pre-Diagnosis Environment For Telemedicine: Superficial Vein Surveillance System

Huseyin A. Erdem<sup>1\*</sup>, Semih Utku<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5720-0017), [huseyinaerdem@gmail.com](mailto:huseyinaerdem@gmail.com)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8786-560X), [semih@cs.deu.edu.tr](mailto:semih@cs.deu.edu.tr)

(First received 22 April 2022 and in final form 2 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1107531)

**ATIF/REFERENCE:** Erdem, H. A. & Utku, S. (2022). Augmented Reality Aided Pre-Diagnosis Environment for Telemedicine: Superficial Vein Surveillance System, *European Journal of Science and Technology*, (38), 376-385.

## Abstract

The proposed system creates a virtual pre-diagnosis environment that can detect narrowings in superficial veins by using the near-infrared video images. In the study, the near-infrared video recordings of the tissue to be followed are taken by the user in the home environment via the smart device. The images obtained by improving the discontinuous structures in the vein images undergone the image pre-processing phase are classified by using a hybrid decision-making algorithm that evaluates two separate convolutional neural network models together. According to the results of the hybrid decision-making algorithm, the imaged regions could be classified with Model-1 (Accuracy Rate (0.872), Misclassification Rate (0.128), Precision (0.372), Prevalence (0.500) and F-Score (0.496)) and Model-2 (Accuracy Rate (0.816), Misclassification Rate (0.184), Precision (0.407), Prevalence (0.500) ve F-Score (0.543)) without the need for large amounts of training dataset. In the study, the detected vein narrowings in the vein images are marked on the relevant location. The marked images are superimposed on the real images and the narrowing progress process is presented to the user and his/her physician as a telemedicine application in the form of a video-based indirect augmented reality environment representing a long time interval (week, month, year).

**Keywords:** Near-Infrared Light, Vein Narrowing Detection, Convolutional Neural Network, Yolov3, Augmented Reality, Telemedicine.

## Teletıp İçin Artırılmış Gerçeklik Destekli Ön-Teşhis Ortamı: Yüzeysel Damar Takip Sistemi

### Öz

Önerilen sistem, yakın-kızılötesi video görüntülerini kullanarak yüzeysel damarlardaki daralmaları tespit edebilen sanal bir ön-teşhis ortamı oluşturmaktadır. Çalışmada, takip edilecek dokunun yakın kızıl-ötesi video kayıtları akıllı cihaz aracılığıyla kullanıcı tarafından ev ortamında alınmaktadır. Görüntü ön-işleme aşamasından geçirilen damar görüntülerindeki kesikli yapılar giderilerek elde edilen görüntüler, iki ayrı evrişimsel sinir ağı modelini birlikte değerlendiren hibrit karar verme algoritması kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Hibrit karar verme algoritması sonuçlarına göre, görüntülenen bölgeler, Model-1 (Doğruluk Oranı (0.872), Yanlış Sınıflandırma Oranı (0.128), Kesinlik (0.372), Yaygınlık (0.500) ve F-Skoru (0.496)) ve Model-2 ile (Doğruluk Oranı (0.816), Yanlış Sınıflandırma Oranı (0.184), Kesinlik (0.407), Yaygınlık (0.500) ve F- Skoru (0.543)) büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyulmadan sınıflandırılmıştır. Çalışmada, damar görüntülerinde tespit edilen damar daralmaları, ilgili konum üzerine işaretlenmektedir. İşaretli görüntüler, gerçek görüntüler üzerine bindirilmekte ve daralma gelişim süreci, uzun bir zaman aralığı (hafta, ay, yıl) temsil eden video-tabanlı dolaylı artırılmış gerçeklik ortamı şeklindeki bir uzaktıp uygulaması olarak kullanıcıya ve hekimine sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yakın Kızıl-Ötesi Işık, Damar Daralma Tespiti, Evrişimli Sinir Ağı, Yolov3, Artırılmış Gerçeklik, Uzaktıp.

\* Sorumlu Yazar: [huseyinaerdem@gmail.com](mailto:huseyinaerdem@gmail.com)

## 1. Introduction

Image-based applications currently used for smart devices (smart phones, personal digital assistants, tablet computers etc.) address areas such as gaming, health, banking and social media. The Near-Infrared Radiation (NIR, the part of the infrared region in the wavelength range of 700 to 900 nm (Ferrari et al., 2004; Rao et al., 2017; Şayli et al., 2004)) light region of the electromagnetic spectrum is used as an imaging technique in image processing studies carried out in the healthcare field. NIR light has been currently used in hospitals as a method of illuminating the tissue to be imaged in various applications. These applications include vein visualization in order to facilitate vascular access, determining the amount of oxygen in the blood, or patient registration with palm vein recognition.

Cholesterol accumulated on the walls of the veins results in narrowing in the vein over time and prevents the passage for blood flow, and may cause occlusion in the veins in the following periods (weeks, months, years). Sometimes, blood clots can block blood flow by blocking blood veins. In this study, a virtual pre-diagnosis environment that can detect vascular narrowings within the context of telemedicine is presented.

Telemedicine can be defined as a communication system that enables patients in remote locations to exchange health care information (Craig & Petterson, 2005) with specialists (physician, physiotherapist) in order to receive health services through information systems. In particular, it seems that the need for patient follow-up with telemedicine has increased even more during the Coronavirus Disease 2019 (Covid-19) pandemic (Chunara et al., 2020). In the study which is carried within the scope of the ongoing doctoral thesis, in the frame of telemedicine, it will be possible to prevent potential delays in treatment by providing early diagnosis of vascular narrowings with the help of the proposed Augmented Reality (AR) based virtual environment. Digital image processing, classification or object detection required to create such an environment are processes which necessitate high performance and long training periods. For this reason, it is not possible to perform these operations on smart devices that appeal to general use. Performing these operations on a server with high computing and hardware capabilities will enable the system to work more effectively. In the system, the user is only responsible for taking the NIR video recordings with the NIR camera connected to his/her smart device (preferably via USB connection) and for uploading them to the server. After the video recordings are uploaded to the server, first the vascular structures are obtained on the server, the images are combined in order to increase the vein integrity, then it is determined whether the veins in the images belong to the same tissue region or not, and finally, narrowing is detected. As the last step, a video-based indirect AR environment is created by superimposing virtual veins on real tissue (right or left forearm in the study) images in such a way that corresponds to their real positions. Additionally in the study, in cases where the image quality is insufficient and the number

of images is low, the contribution of both the proposed video-based image acquisition system and the hybrid decision-making algorithm to the classification accuracy has been evaluated.

## 2. Material and Method

The proposed system shown in Figure 1 is discussed in six stages as hardware, image pre-processing, image post-processing, classification, object detection and AR.

### 2.1. Hardware Phase

The spectroscopy technique examines the interaction of matter and light. In this technique, matter (in other words, molecules in matter) is illuminated by photons of light in a specific region of the electromagnetic spectrum. By measuring and interpreting the interaction of illuminated molecules with photons, information about the structure of the material is obtained. In non-invasive superficial vein imaging studies, NIR spectroscopy technique (Alwazzan, 2020; Elnasir & Shamsuddin, 2014; Huda et al., 2021; Shrotri et al., 2010; Yılmaz, 2014) was used in terms of hardware. Hemoglobin molecules are sensitive to NIR photons. In the first NIR optical window (wavelength range of 700-900 nanometers) of the electromagnetic spectrum, the absorption coefficient of NIR photons is higher for Hemoglobin molecules in the 700-800 nm range in the veins (which has transferred its oxygen to the surrounding tissues, Hb), in the 800-900 nm range in the arteries (oxygen carrying, HbO<sub>2</sub>), respectively (Sordillo et al., 2014; Wadhvani et al., 2015; Wang & Leedham, 2006). NIR light in the range of 740 to 940 nm can penetrate the skin up to 3-5 mm (Meng et al., 2015; Wadhvani et al., 2015). In the studies, NIR light with a wavelength of 750 nm (Crisan et al., 2007), 850 nm (Rao et al., 2017; Mangold et al., 2013; Meng et al., 2015; Tien et al., 2015; Wang & Leedham, 2006) or 960 nm (Francisco et al., 2021) was used for vein imaging. Among them, 850 nm wavelength was preferred more in terms of providing better NIR images. In terms of the physical placement of the NIR Light Emitting Diodes (LEDs), the best light distribution in vein imaging applications was stated to be provided when the camera is in the center and the LEDs are arranged circularly around it (Shrotri et al., 2010; Şeker & Engin, 2017; Wadhvani et al., 2015). There are also studies where disc-shaped placements (Şeker & Engin, 2017) or sequential LED placement (Meng et al., 2015) on head-mounted display glasses (within the scope of wearable vein visualization system offering AR) are used.

In the hardware phase of this study, a USB-supported external NIR camera with a resolution of 2 megapixels, in which 5 NIR LEDs with a wavelength of 850 nanometers are arranged circularly around the camera lens, was used to illuminate the veins. Smart device cameras are equipped with NIR-blocking (IR-cut off) filter to capture clearer images. There is a high probability of damaging of the camera lens during removal of these filters within the scope of NIR imaging. Therefore, in this study, it is preferred to use an external NIR camera that can be easily integrated with the user's smart device via USB connection.





Figure 1. Flow chart of the proposed system phases.

Although processing only one image (taken directly as photo frame) per week reduces the processing load during the image processing phase, it makes it difficult to detect the entire vein from this one image in low camera resolution. Furthermore, it will not meet the needs of hundreds of images to be required during classification phase. On the other hand, the need for asking the user to take more than one photo frame for fixing the tissue region to be visioned hinders the ease of use of the application. For this reason, during the image taking part of the study, it was evaluated that instead of photography video shooting was performed to eliminate these problems.

### 2.2. Image Pre-Processing Phase

The 25-second videos recorded with the NIR camera are 30 fps (30 frames per second), each video consisting of 750 frames in total. Every video with 1920x1080 resolution was firstly converted into 1920x1080x3 uint8 type in the feature of RGB NIR raw-image files with bitmap extension. NIR raw-images were image pre-processed (In this section, the image processing steps used in Francis et.al.'s (2017) study are utilized. Unlike their study, extraction of Region of Interest (ROI) part, which expresses the part of the image where only the veins of interest are located, was applied before the image processing steps in order to reduce the processing load. This phase of the system, which was developed within the scope of the ongoing doctoral study, was introduced in (Erdem et al., 2020). Different from these two studies, in this study, the veins were obtained in black with a white background in the final images.) by using the MATLAB® R2017a (MathWorks, 1996) program and the resulting images are given in Figure 2.

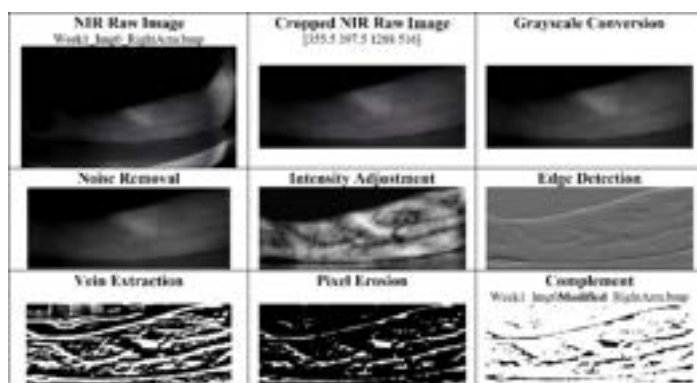


Figure 2. Image pre-processing steps (applied to image with code Week1\_Img0\_RightArm.bmp)

In order to extract the vein patterns with the image pre-processing phase, first of all, the ROI where the vein narrowing will be detected was determined in the three dimensional (with Red Green Blue-RGB values) NIR raw-image. Images were reduced to two dimensions (hue and saturation information in the image are deleted, luminance information is preserved

(MathWorks, 1996)) by grayscale conversion in order to apply image processing filters on the ROI (truecolor RGB image of 445x947x3 uint8 type) clipped from the parts that will not be used within the scope of narrowing detection. Then a median filter was applied to remove noise. For intensity adjustment in the images, adaptive histogram equalization was conducted consecutively and then the median filter was used again. Edge detection of veins was performed with the gabor filter which can be applied to two dimensional images. At a level of bitwise, vein extraction was applied to highlight vein patterns. By removing the small-sized structures that do not represent the veins through the morphological pixel erosion process, the veins in the images were further smoothed in shape. As the final step, the black and white colors in the images were inverted by complement and NIR modified-images in which the vein structures were represented in black were obtained.

### 2.3. Image Post-Processing Phase

When photographing the tissue area illuminated by NIR light, it was observed that some vascular structures which should be continuous were displayed intermittently and a complete integrity could not be obtained for the vascular structure. Among the main factors leading to this circumstance are the angle of illumination, camera position and resolution, vibration that may occur on the camera during shooting and so on. The aim of the image post-processing phase is to create an imaging system that will be affected as little as possible by such losses that may occur in the image due to external factors. In order to include such feature in the system, the fast working (Mistry & Banerjee, 2017) Speeded-Up Robust Features (SURF) local feature detector function (MathWorks, 1996) was used in this study. By using the SURF local feature detector function, matching points that provide similarity between two images are detected. With the help of these similarity points, the rotation angle or scale value (convergence/divergence) of these two images relative to each other can be determined. The detected rotation angle and scale value are used to bring the angle and/or scale of the second image to the previous one's. For this, matching points for the first and second images were determined as shown in Figure 3, and rotation and/or scaling corrections were made on the second image taking into account the calculated rotation and/or scaling values regarding these points (first image is taken as reference). According to the results calculated with the SURF local feature detector function, when the change in the second pre-processed image does not exceed  $\pm 0.07$  angularly and 0 to +0.1 in scale (values were determined by trial and error), correction was applied to the second image. After combining the first image and the corrected second image, all remaining NIR modified-images of the week were also combined in pairs to obtain NIR fused-modified images of the relevant week. In the study, this process was repeated for a period of three weeks (including the Week-1) trying to achieve an integrity in the vascular structure images.

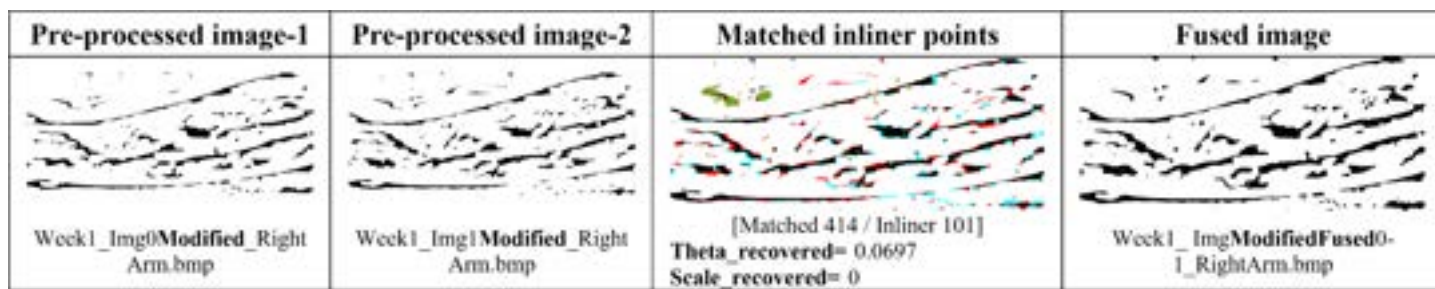


Figure 3. NIR fused-image obtained from two pre-processed images.

In this way, from 750 NIR modified-images generated by the pre-processing phase for Week-1 right forearm, 375 NIR fused-modified images were able to be obtained by the image post-processing phase. NIR fused-modified images created by combining the images of the relevant week were used both in the You Only Look Once version-3 (YOLOv3) (Farhadi & Redmon, 2018) algorithm which performs the narrowing detection process, and in the AR images to be presented to the user and the physician.

### 2.4. Classification Phase

The NIR fused-modified images obtained for the first week by the image post-processing phase were used in the classification process in order to detect if the same tissue (vascular network) region was displayed in the following weeks.

Since vascular structures are unique to the individual, biometric identification systems (Park, 2011; Wang & Leedham, 2006; Wu et al., 2019) can be developed with vascular imaging applications. In these systems, determination of whether the veins obtained from the imaged tissue region belong to the same person and/or tissue region, is conducted by classification process. In this phase, two models based on the Modified National Institute of Standards and Technology (MNIST) model (MatConvNet Team, 2017), which is a Convolutional Neural Network (CNN) model using the MNIST database (LeCun et al., n.d.), were proposed in order to establish the basic classification technique to determine whether the same tissue (vascular) region is imaged or not. MNIST model which accepts the MNIST database containing handwritten black and white digit images between 0 and 9 as input, can classify among 10 label values corresponding to 10 digits (28x28 sized gray image) (Wu et al., 2021). In the first model used in the study, instead of the digit dataset, the NIR fused-modified image dataset was applied to the input layer of the MNIST model, and the output layer deciding among 10 classes (numbers from 0 to 9) was changed in order to correspond to 2 classes (right forearm and left forearm). As indicated in the MATLAB® R2017a layer table given in Figure 4, in the input layer of the first CNN model, NIR fused-modified image dataset consisting of 28x28 images was used.

Layer:	input	conv	maxpool	conv	maxpool	conv	relu	conv	softmax
Input Data Size (Weights):	28	24	12	8	4	1	1	1	1
Filter Size (Support):	N/A	5	2	5	2	4	1	1	1
Padding:	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0
Stride:	N/A	1	2	1	2	1	1	1	1

Figure 4. MNIST CNN Model-1 layers.

In Model-2, the MNIST CNN model has been modified to take 64x64 sized NIR fused-modified vein images as the dataset. In the second model, of which network layers are specified in Figure 5, the input layer data of the MNIST model was changed to correspond to NIR fused-modified image dataset instead of

digit dataset, and the output layer deciding among 10 classes (numbers from 0 to 9) was changed in order to correspond to 2 classes (right forearm and left forearm). Since one of the main objectives of the study is to perform the correct classification with a small number of training data, instead of adding new images to the dataset, a dropout layer (dropout rate: 0.5) was added to Model-2 just before the last convolution layer in order to increase the performance a little more (since, in the post-test trials, it was seen that the number of misclassifications was higher in Model-2). Also, the filter sizes and numbers of the convolution layers were changed to support the new input size. These values were used in order to determine the input data sizes of the next layers by using the formula (1) (Albawi et al., 2017) for 64x64 dataset sizes (NLIDS: Next Layer Input Data Size, PLIDS: Previous Layer Input Data Size, FS: Filter Size, P: Padding, S: Stride).

$$NLIDS = \frac{PLIDS - FS + (2 * P)}{S} + 1 \quad (1)$$

Layer:	input	conv	maxpool	conv	maxpool	conv	relu	dropout	conv	softmax
Input Data Size (Weights):	64	56	28	22	11	4	4	4	1	1
Filter Size (Support):	N/A	7	2	8	2	8	1	1	4	1
Padding:	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stride:	N/A	1	2	1	2	1	1	1	1	1

Figure 5. CNN Model-2 layers.

### 2.5. Object Detection Phase

Classical CNN models only detect which class the input images belong to but cannot visualize the position of the object in the image. Object detection algorithms (R-CNN (Girshick et al., 2014), Faster R-CNN (Ren et al., 2016), YOLO (Redmon et al., 2016), SSD (Anzueto-Rios et al., 2016)) are used for both detecting the object or objects in the image and for marking their positions on the image. In object-based detection studies, it has been stated that YOLOv3 algorithm is better than any other object detection algorithm (Faster R-CNN (Ren et al., 2016)) in terms of providing faster accurate classification performance (Abdulghani & Menekşe Dalveren, 2022; Dikbayır & Bülbül, 2020). YOLO algorithms are very popular nowadays, especially in real-time object detection (Tan et al., 2021).

As there is currently no public access dataset for superficial vein narrowing, the narrowing patterns were artificially generated on NIR fused-modified images in this study. Artificial narrowing patterns were created by examining narrowing patterns (Demir, 2019) found in the literature. As indicated in the orange boxes in Figure 6, 7 of the artificial narrowing patterns were manually placed on each NIR fused-modified image of the Week-1 right forearm (at random locations with different angles) and the training data were obtained artificially.

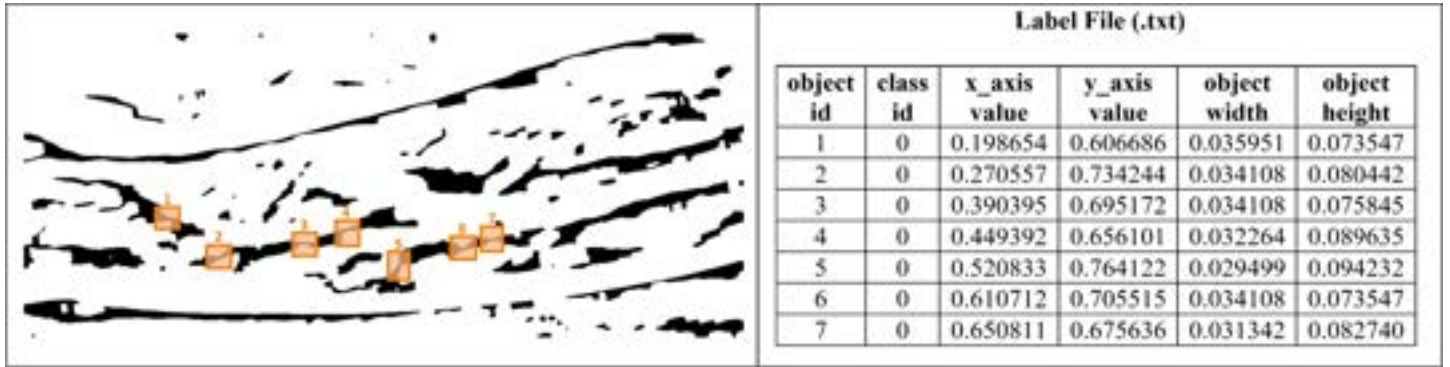


Figure 6. Marking of artificial narrowing locations on NIR fused-modified image.

The training dataset was prepared by using the coordinates and label files of the narrowing patterns created on each NIR fused-modified image to be used as training data for the YOLOv3 algorithm. Areas with created artificial narrowing in this context, were marked on NIR fused-modified images by using makesense.ai ([www.makesense.ai](http://www.makesense.ai)) free (under GPLv3 License) web-based photo labelling application, and text-based label files containing the values specified in the Figure 6 were created for each image. A single class label named *stenosis\_vein* was defined in the position marking process and the narrowing regions detected in the post-test operation of the algorithm were labelled only with this class.

## 2.6. Augmented Reality Phase

AR is a virtual environment that is used to create a more developed and detailed perception of reality by superimposing materials (images, information, shapes and so on) created on a computer on top of real images. In general, virtual veins are superimposed on real images within the scope of AR researches, similarly in this study, a virtual-real image combination was created as in (Ai et al., 2016; Francis et al., 2017; Meng et al., 2015). In AR applications, the user can also see the real world at the same time (Doğan et al., 2021). Within this framework, pre-processed virtual images containing only two dimensional vein images were combined with real raw images as in (Francis et al., 2017) and veins were visualized at their real locations. In general, real-time AR applications are designed with AR glasses. However, a real-time AR application cannot be presented because the processes used in this study are performed through the server. For this reason, the visualization of vein tracking was based on the use of a video in which virtual veins are placed on real images. In this way, the user and the physician can see the veins in a video-based indirect AR environment with the results of the narrowing added on the relevant tissue region. Indirect AR, which has been introduced in the literature for outdoor spaces, is effective when a tight match between real images and virtual materials is required (Wither et al., 2011). From this point of view, it has been evaluated that one-to-one matching of veins and tissues can be achieved with indirect AR. In the study, virtual (vein) - real (tissue) videos prepared for the following weeks were added to the videos of the previous week sequentially, and pre-diagnosis data were able to be created to follow the narrowing progress. Another reason why the system was designed as a video-based indirect AR application rather than a real-time AR application is the need to support a

visualization that will span weeks, months, or even years rather than moment-based. Thus, narrowing results were able to be visualized more clearly over time. The obtained AR images are given in the Results section.

## 3. Results and Discussion

Experimental results were interpreted for classification, object detection and AR phases.

### 3.1. Classification Phase Results

Experiments on CNN models were carried out using the matConvNet library (The MatConvNet Team, 2017) in the MATLAB® R2017a program. MatConvNet is a MATLAB® R2017a toolbox (Vedaldi & Lenc, 2015) that enables CNN operations to be performed.

The tissue region imaged and recorded in the first week represents the zero point for the recognition process. In order to create a surveillance system, the user is expected to record the same tissue area as the first week in the following weeks. For this reason, only Week-1 (right and left forearm) images were used in the training and pre-test processes, and the images for the following week were evaluated only within the scope of the post-test.

In the study, an application in which the number of training data cannot be increased much in order to ensure ease of use was developed for personal usage. Therefore, only three datasets were used in which only Week-1 right and left forearm NIR fused-modified images were used in different numbers to ensure correct classification with a smaller number of data. Whereas Dataset-1 (200 train/50 pre-test (validation)) and Dataset-2 (400 train/100 pre-test) were only created from Week-1 original NIR fused-modified images, Dataset-3 (augmented data: 600 train/200 pre-test) was built with the help of data augmentation techniques. The training was carried out in two classes, where the right forearm images represent the first class of the first week and the left forearm images represent the second class. In determining the epoch numbers and learning rate, the dropping condition of the objective function below 0.001 value was taken into account. In this context, while the learning rate was 0.0001, 8000 epochs were sufficient for the training of the Model-1 and 3200 epochs for the Model-2. The pre-testing process is performed during the training.

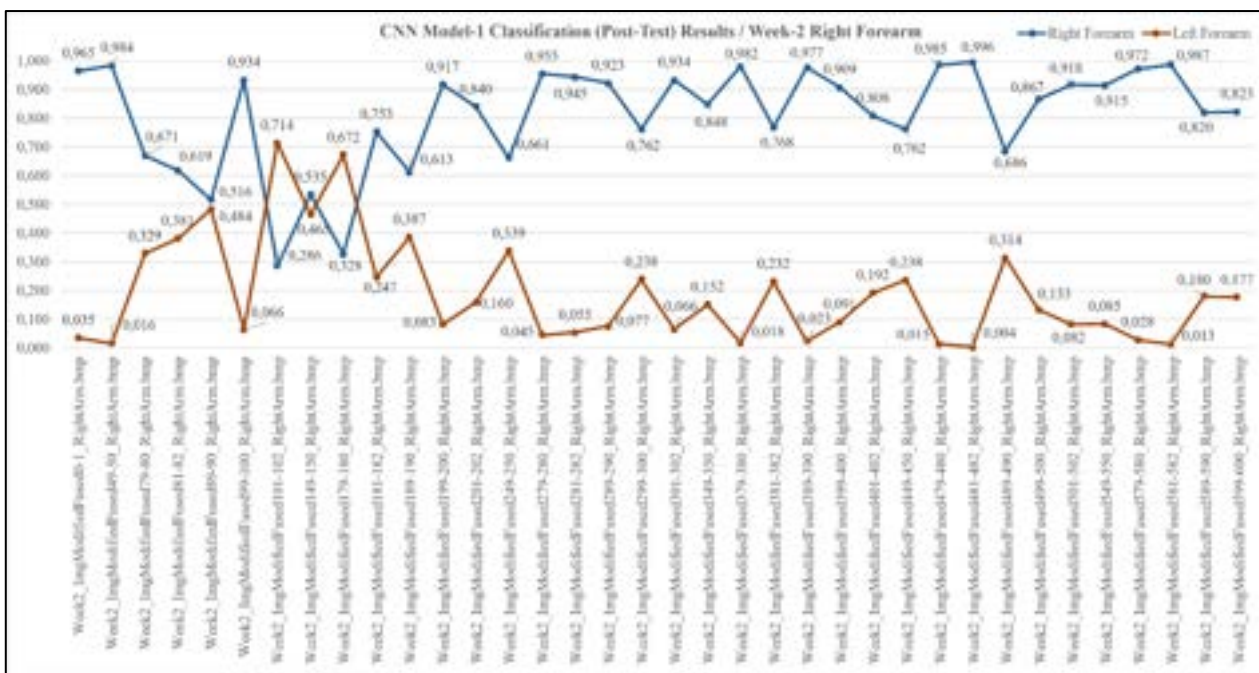


Figure 7. Classification (post-test) results obtained for CNN Model-1 (trained with Dataset-2) of 36 randomly selected right forearm images of Week-2.

After the training of the CNN models was completed, the models were post-tested. In the study, the predicted classes of the tissue images (right and left forearm) of the new weeks recorded as video by the user are determined by the post-test process. The post-test results indicate to which specified class in trainings (two classes were used as right and left forearm in the study) the tested image belongs to with a probabilistic result value between 0 and 1. For this purpose, 36 post-test images were randomly selected from the NIR fused-modified images of Week-2 and Week-3 in the study). The NIR fused-modified images of Week-2 and Week-3 were only used in the post-test process and were not included in the training and pre-test processes. In addition, 36 images of the right forearm and 36 images of the left forearm belonging to Week-1, which were not used during training, were included in the post-test trials. The results of randomly selected 36 right forearm images related with Week-2 were post-tested with Model-1 (trained with Dataset-2) as shown in Figure 7. According to the results, 34 of the 36 images (for those with a right forearm probability greater than 0.500 according to the post-test result, blue dots in Figure 7) of the right forearm were calculated more likely to be the right forearm, while the probability of 2 of them (for those with a right forearm probability less than 0.500 according to the post-test result, blue dots representing fused-images 101-102 and 179-180 in Figure 7) were calculated more likely to be the left forearm. When the misclassified fused-images 101-102 and 179-180 are examined (especially when attention is paid to fused-image 149-150, which is classified correctly with a low probability), it can be seen that the NIR illumination of the arm is not sufficient for correct classification during the video recording interval (approximately 2.67 seconds) corresponding to these three images. The 36 probabilistic results obtained in this way (representing right or left arm belonging and outnumbering) represent the predicted first-class of tissue displayed in the new week, as shown in Figure 8.

When all the results investigated, as can be seen in Figure 8, especially since Model-1 for Week-3 right forearm performed

misclassification in forecasting the first-class with both Dataset-1 and Dataset-2, a third dataset was prepared using data augmentation techniques. While creating Dataset-3, data augmentation techniques such as rotation (5 and 10 degrees), scaling (2 units zoom) and noise addition (salt and pepper type, 0.5 density) were used. Although misclassifications shown in Figure 8 were encountered according to the post-test class results obtained with the new dataset, the predicted first-class results were obtained correctly for all weeks.

The aim of the study, which is conducted for the use of a single person at home, is to make an accurate class estimation with less data. When looking at Dataset-1 and Dataset-2 in general, although the first-class results predicted in Model-2 were correct for all weeks, the rate of misclassification of post-test images of Model-2 (65 misclassifications in 432 post-test trials) compared to Model-1 (55 misclassifications in 432 post-test trials) is 2.315% higher, as shown in Figure 8. When looking at the misclassification cases in the model post-test class results obtained by using all three datasets, it is seen that the use of only one model or one dataset may not be sufficient alone to determine the predicted first-class for applications with low number of data. In addition, Week-3 right forearm images were classified incorrectly by Model-1 when using Dataset-1 and Dataset-2 for training, and classified correctly when using Dataset-3. When the models were trained with Dataset-3, although the predicted first-class results for all weeks were correct, the total number of incorrect post-test class results is higher than that of other datasets (for a total of 432 post-test trials, 61 misclassifications were made with Dataset-1, 59 misclassifications with Dataset-2, and 82 misclassifications with Dataset-3, respectively). In this context, the use of a hybrid decision-making algorithm that evaluates all the results of different dataset image numbers and different image sizes together in order to prevent an incorrect classification result in terms of the estimated ultimate-class has been put on the agenda. From this point of view, when Figure 8 is examined, when the model results for each week are evaluated together by using the hybrid decision-making algorithm, the predicted ultimate-classes

of the images for all weeks are correct. Confusion matrices and associated calculation values of the ultimate-class classification performances of Model-1 and Model-2 are given in Figure 9. Whereas Model-1 was found to be more successful in terms of Accuracy Rate and Specificity (True Negative Rate) calculated by using the values forming the confusion matrices, Model-2 is found to be more successful in terms of Precision and Sensitivity (True Positive Rate).

Week No.	Class Name	Dataset-1 200 train/50 pre-test		Dataset-2 400 train/100 pre-test		Dataset-3 "Augmented Data" 600 train/200 pre-test		Hybrid Decision Making Algorithm Predicted Ultimate Class
		Model-1	Model-2	Model-1	Model-2	Model-1	Model-2	
Week-1 (Right Forearm)	Right Forearm	36	28	36	36	32	31	RIGHT FOREARM
	Left Forearm	0	0	0	0	2	1	
	Predicted Final Class	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	
Week-1 (Left Forearm)	Right Forearm	0	0	0	0	0	0	LEFT FOREARM
	Left Forearm	34	34	34	34	34	34	
	Predicted Final Class	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	
Week-2 (Right Forearm)	Right Forearm	22	21	34	29	31	31	RIGHT FOREARM
	Left Forearm	2	14	2	7	15	15	
	Predicted Final Class	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	
Week-2 (Left Forearm)	Right Forearm	0	0	0	11	0	11	LEFT FOREARM
	Left Forearm	26	26	26	25	26	25	
	Predicted Final Class	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	
Week-3 (Right Forearm)	Right Forearm	21	20	31	30	30	28	RIGHT FOREARM
	Left Forearm	0	0	0	0	0	0	
	Predicted Final Class	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	Right Forearm	
Week-3 (Left Forearm)	Right Forearm	0	2	0	0	0	14	LEFT FOREARM
	Left Forearm	36	31	36	35	36	31	
	Predicted Final Class	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	Left Forearm	

Figure 8. Post-test results of classification phase.

Actual Class	Positive (Right Forearm)	Predicted Ultimate Class		Actual Class	Positive (Right Forearm)	Predicted Ultimate Class	
		Positive (Right Forearm)	Negative (Left Forearm)			Positive (Right Forearm)	Negative (Left Forearm)
Positive (Right Forearm)	TP=241	FN=41	n=283	Positive (Right Forearm)	TP=264	FN=40	
Negative (Left Forearm)	FP=0	TN=324		Negative (Left Forearm)	FP=0	TN=265	

(a) (b)

Performance Values Formulation			Model-1	Model-2
Accuracy Rate: (TP + TN) / (TP + FN + FP + TN)			0.872	0.816
Missclassification Rate: (FP + FN) / (TP + FN + FP + TN)			0.128	0.184
True Positive Rate: TP / (TP + FN)			0.746	0.815
True Negative Rate: TN / (TN + FP)			0.880	0.815
False Positive Rate: FP / (TN + FP)			0.000	0.185
False Negative Rate: FN / (TP + FN)			0.154	0.185
Precision: TP / (TP + FP)			0.712	0.697
Recall: TP / (TP + FN)			0.880	0.880
F Score: (2 * Precision * True Positive Rate) / (Precision + True Positive Rate)			0.800	0.843

(c)

Figure 9. Post-test trials' confusion matrix values. (a) Model-1 (28x28), (b) Model-2 (64x64), (c) Comparison of Model-1 and Model-2 performance values.

### 3.2. Object Detection Phase Results

There is currently no publicly available dataset of NIR images for training the YOLOv3 algorithm used for the object detection phase. Therefore, artificial narrowing patterns were added onto the Week-1 (right forearm) NIR fused-modified images having 512x512 resolution in order for the algorithm to be trained (at the same time by performing pre-testing, average errors are calculated as avgLoss). There are 100 train and 50 pre-test images in the artificial dataset consisting of NIR fused-modified images. By creating 7 narrowing patterns on each image, a total of 1050 artificial narrowing patterns are introduced to the system. The YOLOv3 training, which was carried out using the NIR fused-modified image dataset with artificial narrowing patterns for the object detection phase, was

completed in approximately eight and a half hours by utilizing the Google Colaboratory (colab.research.google.com) (which allows remote allocation of Google's GPU hardware) over the web browser. The training was continued until the average loss value obtained was less than 1. Different NIR fused-modified images (conforming to the narrowing figural format in the trainings, but with new artificial narrowing patterns added at different angles in random positions) that were not used in the trainings were used as YOLOv3 post-test data. In the trials, the locations and rates of possible narrowings that may occur on the vascular structure on these images was tried to be determined. For this, the YOLOv3 algorithm's feature of marking the location of the sought feature (narrowing detection in our study) on the image was used.

After completing the training and pre-testing parts with 150 NIR fused-modified images, which include artificial narrowings given in Figure 6, the algorithm was post-tested with different NIR fused-modified images having new artificial narrowing patterns similar to those in training. When looking at Figure 10, YOLOv3 narrowing result of 0.41 was found for the post-test process for the NIR fused-modified image created from the 76<sup>th</sup> and 77<sup>th</sup> images of Week-1, and 0.39 for the 78<sup>th</sup> and 79<sup>th</sup> NIR fused-modified images. For Week-3, narrowing was determined at the same location as in Week-1 with detection rates of 0.42 for the 110<sup>th</sup> and 111<sup>th</sup> NIR fused-modified image, and 0.45 for the 192<sup>nd</sup> and 193<sup>rd</sup> NIR fused-modified image. According to the YOLOv3 result for the Week-2 NIR fused-modified image, a narrowing detection at the same location as in the other weeks could not be obtained due to the flashing resulting from NIR illumination taking place on some parts of the image. This loss of detection experienced in Week-2 can be overcome by presenting the narrowing detections to be made in the same region of the new images to be taken in Week-3 and the following weeks, in the form of a video stream at the AR phase.

### 3.3. Augmented Reality Phase Results

Images containing narrowing detection rates are superimposed on NIR raw-images obtained from video and virtual (vein) - real (tissue) images are created. For this process, the image containing the YOLOv3 result of the NIR fused-modified image, as shown in Figure 10, is superimposed on the first NIR raw-image and the image to be used for the AR video infrastructure is obtained. For the second image frame of the video, the YOLOv3 result of the third and fourth NIR fused-modified images and the raw version of the third image are used. Similarly, both other images for the same week and images from other weeks are overlaid on the corresponding raw images, including the YOLOv3 results. A video file is created by adding images containing virtual vein structures and real tissue images as sequential image frames. In this way, video images in which narrowing detection rates are marked on the relevant vascular regions are presented to the user and the physician on the basis of a video-based indirect AR application. Veins are highlighted in white for better visibility in video images. The images obtained are indicated in Figure 10.

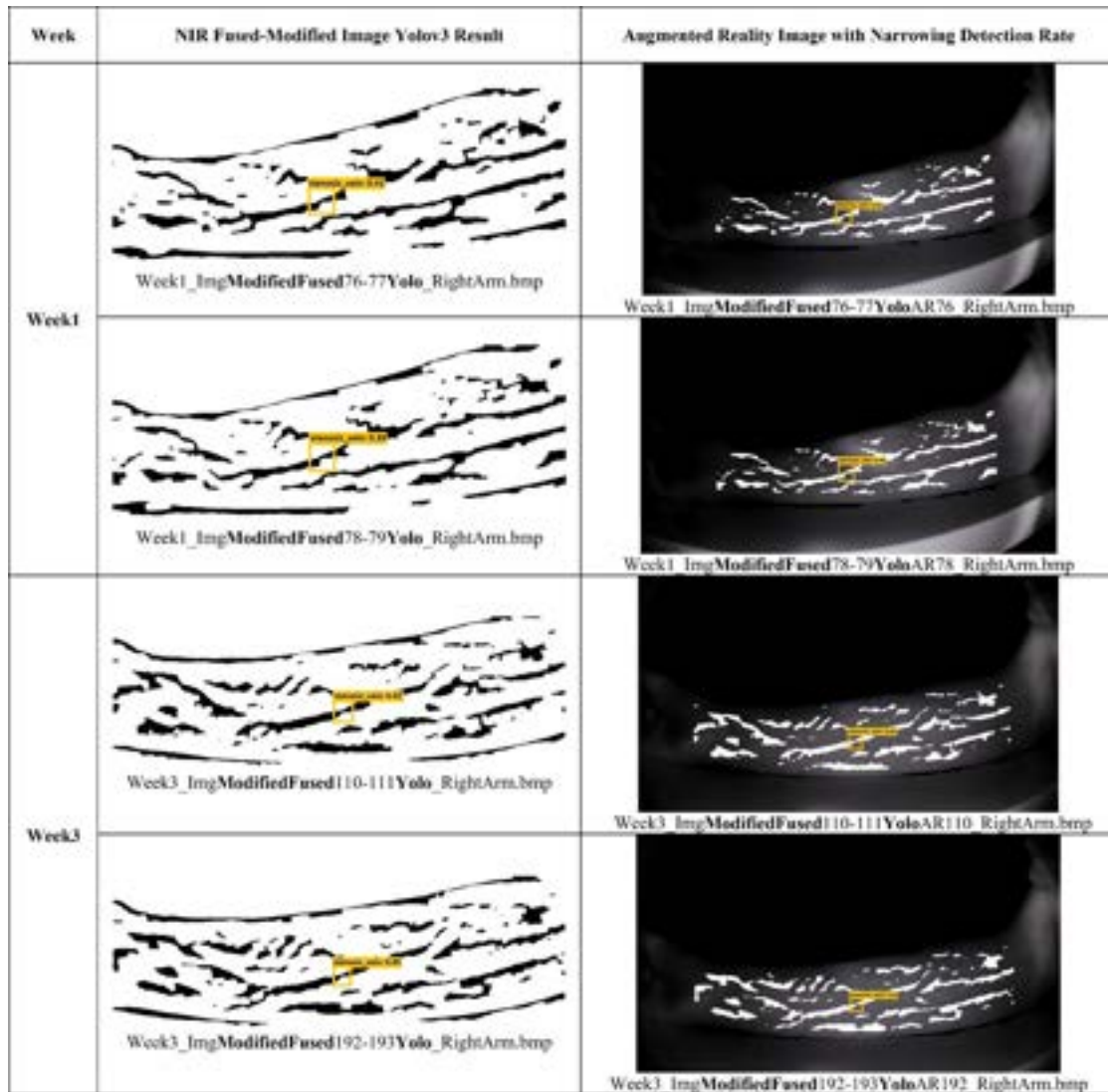


Figure 10. YOLOv3 results and AR video frames.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The system designed for personal use at home enables to perform superficial vein surveillance (by recording at weekly intervals, optionally) that can span a long period of time by using the NIR-based video images. In the study, the image post-processing phase was used to improve the discontinuous structures (caused by the insufficient NIR illumination) on the vein images. It has been determined that the interpretation of the results with hybrid decision-making algorithm used in the classification phase of the six phased system, can increase the ultimate classification accuracy (instead of individually evaluating the CNN models used) for a long-term personal follow-up system aimed at home use.

In the AR phase, the images containing the narrowing detection results obtained by the object detection phase were superimposed on the user's NIR raw-video images of the relevant week, and these images containing the virtual (vein) - real (tissue) structures were used to create a video-based indirect AR environment. By using these images, the user and his/her physician can see both the locations of possible narrowings and their detection rates as a follow-up system that can spread over a long period of time, thus delays in treatment will be prevented. By adding the virtual-real images obtained by superimposing the

narrowing results, especially week by week sequentially on the NIR raw-images, the locations where the narrowing is detected were able to be visualized much more clearly in the form of stream images. Thus, the possibility of pre-diagnosis can be provided regarding the rate at which the changes in a certain location progress in terms of time.

Within the scope of future studies, it is planned to structure the proposed system on different tissue regions, especially to include vascular enlargement patterns (progress surveillance of varicose veins in legs). In addition, the system will be developed in such a way that it will be possible to zoom in virtual-real video images to the veins or to examine information such as narrowing development statistics, via an interactive viewing application, preferably designed for smart devices, and will be detailed within the scope of home surveillance system on the basis of telemedicine.

#### 5. Acknowledge

The authors would like to thank PhD Bora UZUN (Dokuz Eylül University, Department of Biomechanics, School of Medicine, İzmir, Turkey) for his contributions during the hardware phase of the study and to Işıl ERDEM (Civil Engineer, MSc) for making the final edits of the paper.

## References

- Abdulghani, A. M. A., & Menekşe Dalveren, G. G. (2022). Moving object detection in video under different weather conditions using YOLO and faster R-CNN algorithms. *European Journal of Science and Technology*. (33): 40-54.
- Ai, D., Yang, J., Fan, J., Zhao, Y., Song, X., Shen, J., Shao, L., & Wang, Y. (2016). Augmented reality based real-time subcutaneous vein imaging system. *Biomedical Optics Express*. 7(7): 2565-2585.
- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a convolutional neural network. In *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, (pp. 1-6). IEEE.
- Alwazzan, M. J. (2020). Low cost blood vein detection system based on near-infrared LEDs and image-processing techniques. *Polish Journal of Medical Physics and Engineering*. 26(2): 61-67.
- Anzueto-Rios, A., Hernandez-Gomez, L. E., & Hernandez-Santiago, K. A. (2016). Forearm and hand vein detection system for an infrared image database. *Res. Comput. Sci*. 127(1): 137-147.
- Chunara, R., Zhao, Y., Chen, J., Lawrence, K., Testa, P. A., Nov, O., & Mann, D. M. (2020). Telemedicine and healthcare disparities: A cohort study in a large healthcare system in New York City during COVID-19. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 28(1): 33-41.
- Craig, J., & Petterson, V. (2005). Introduction to the practice of telemedicine. *Journal of Telemedicine and Telecare*. 11(1): 3-9.
- Crisan, S., Tarnovan, J. G., & Crisan, T.E. (2007). A low cost vein detection system using near infrared radiation. In *2007 IEEE Sensors Applications Symposium*, (pp. 1-6). IEEE.
- Demir, A. G. (2019). *Determination of vascular stenosis on angiography images using convolutional neural network method*. [Master's thesis, Başkent University, Ankara, Turkey]. "(Thesis in Turkish with an abstract in English)"
- Dikbayır, H. S., & Bülbül, H. İ. (2020). Real-time vehicle detection by using deep learning methods. *Tünav Bilim Dergisi*. 13(3): 1-14. "(Article in Turkish with an abstract in English)"
- Doğan, D., Erol, T., & Mendi, A. F. (2021). Sağlık alanında karma gerçeklik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (29): 11-18. "(Article in Turkish with an abstract in English)"
- Elnasir, S., & Shamsuddin, S. M. (2014). Palm vein recognition based on 2D-discrete wavelet transform and linear discrimination analysis. *Int. J. Advance Soft Compu. Appl*. 6(3): 43-59.
- Erdem, H. A., Erdem, I., & Utku, S. (2020). Near-infrared mobile imaging systems for e-health: Lighting the veins, *The Twelfth International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine (eTELEMED)*, (pp. 80-84). IARIA.
- Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 29(4): 463-487.
- Francis, M., Jose, A., Devadhas, G. G., & Avinash, K. K. (2017). A novel technique for forearm blood vein detection and enhancement. *Biomedical Research*. 28(7): 2913-2919.
- Francisco, M. D., Chen, W. F., Pan, C. T., Lin, M. C., Wen, Z. H., Liao, C. F., & Shiue, Y. L. (2021). Competitive real-time near infrared (NIR) vein finder imaging device to improve peripheral subcutaneous vein selection in venipuncture for clinical laboratory testing. *Micromachines*. 12(4): 373.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (pp. 580-587). IEEE.
- Huda, A. N., Goh, C. M., Lim, C. H., Aluwee, S. S., Bajuri, M. N., & Wahab, N. H. A. (2021). Development of a near-infrared (NIR) forearm subcutaneous vein extraction using deep residual U-Net. *International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*.
- LeCun, Y., Cortes, C., & Burges, C. J. C. (n.d.). *The MNIST Database of handwritten digits*. Retrieved July 02, 2022, from <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>
- Mangold, K., Shaw, J. A., & Vollmer, M. (2013). The physics of near-infrared photography. *European Journal of Physics*. 34(6): 51-57.
- MatConvNet Team (2017). *MatConvNet: CNNs for MATLAB*. Retrieved July 02, 2022, from <https://www.vlfeat.org/matconvnet/>
- MathWorks, Inc. (1996). MATLAB (R2017a): The language of technical computing, computation, visualization, programming, installation guide for UNIX version 5. Natick, Massachusetts.
- Meng, G. C., Shahzad, A., Saad, N. M., Malik, A. S., & Meriaudeau, F. (2015). Prototype design for wearable veins localization system using near infrared imaging technique. In *2015 IEEE 11th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications (CSPA)*, (pp. 112-115). IEEE.
- Mistry, D., & Banerjee, A. (2017). Comparison of feature detection and matching approaches: SIFT and SURF. *GRD Journals Global Research and Development Journal for Engineering*. 2(4): 7-13.
- Park, K. R. (2011). Finger vein recognition by combining global and local features based on SVM. *Computing and Informatics*. 30(2): 295-309.
- Rao, H., Zhang, P., & Sun C. (2017). Contrast enhancement for the infrared vein image of leg based on the optical angular spectrum theory. *Signal, Image and Video Processing*. 11(3): 423-429.
- 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). IEEE.
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. Arxiv preprint.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2016). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 39(6): 1137-1149.
- Shrotri, A., Rethrekar, S. C., Patil, M. H., & Kore, S. N. (2010). IR-webcam imaging and vascular pattern analysis towards hand vein authentication. In *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, (Vol. 5, pp. 876-880). IEEE.
- Sordillo, L. A., Pu, Y., Pratavieira, S., Budansky, Y., & Alfano, R. R. (2014). Deep optical imaging of tissue using the second and third near-infrared spectral windows. *Journal of Biomedical Optics*. 19(5): 056004.

- Şayli, Ö., Akdemir, A., Ataklı, Y., Emir, U. E., Çıtlak, P. Ö., Cengiz, L. S., & Akın, A. (2004). Kaslardaki oksidatif metabolizma farkının işlevsel yakın-kızılötesi spektroskopisi ile incelenmesi. *BIYOMUT*. İstanbul. “(Article in Turkish with an abstract in English)”
- Şeker, K., & Engin, M. (2017). Deep tissue near-infrared imaging for vascular network analysis. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 10(3): 1650051.1-12.
- Tan, F. G., Yüksel, A. S., Aydemir, E., & Ersoy, M. (2021). Derin öğrenme teknikleri ile nesne tespiti ve takibi üzerine bir inceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (25): 159-171. “(Article in Turkish with an abstract in English)”
- Tien, T. V., Mien, P. T., Dung, P. T., & Linh, H. Q. (2015). Using near-infrared technique for vein imaging. In *5th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam*, (pp. 190-193). Springer, Cham.
- Vedaldi, A., & Lenc, K. (2015). Matconvnet: Convolutional neural networks for matlab. In *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia*, (pp. 689-692).
- Wadhvani, M., Sharma, A. D., Pillai, A., Pisal, N., & Bhowmick, M. (2015). Vein detection system using infrared light. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 6(12): 780-786.
- Wang, L., & Leedham, G. (2006). Near-and far-infrared imaging for vein pattern biometrics. In *2006 IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance*, (pp. 52-57). IEEE.
- Witner, J., Tsai, Y. T., & Azuma, R. (2011). Indirect augmented reality. *Computers & Graphics*. 35(4): 810-822.
- Wu, W., Elliott, S. J., Lin, S., & Yuan, W. (2019). Low-cost biometric recognition system based on NIR palm vein image. *IET Biometrics*. 8(3): 206-214.
- Wu, Y., Zhang, Z., & Wang, G. (2021). Training deep neural networks via branch-and-bound. ArXiv Preprint. arXiv:2104.01730.
- Yılmaz, K. (2014). *The design of a new portable ophthalmoscope and utilization of the device for diagnosis and identification*. [Doctoral thesis, Ege University, Izmir, Turkey]. “(Thesis in Turkish with an abstract in English)”





# DNA Damage and Antioxidant Defence Responses in the Brain and Liver Tissues of Rainbow Trout Infected With Different Bacteria

Fatih Kurt<sup>1</sup>, Aslı Çilingir Yeltekin<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Van Yuzuncu Yil, 65080, Turkey, (Fatih KURT ORCID No:0000-0003-3030-3048, Aslı ÇİLİNGİR YELTEKİN ORCID No: 0000-0003-0071-7434 ), \*[aslicilingir@yyu.edu.tr](mailto:aslicilingir@yyu.edu.tr)

(First received 25 April 2022 and in final form 7 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1108798)

**ATIF/REFERENCE:** Kurt, F. & Çilingir Yeltekin, A. (2022). DNA Damage and Antioxidant Defence Responses in the Brain and Liver Tissues of Rainbow Trout Infected With Different Bacteria. *European Journal of Science and Technology*, (38), 386-391.

## Abstract

Fish farming provides food and livelihood for many people around the world. The fact that trout is produced in many parts of the world and has a very rich content in terms of nutritional value increases the importance of trout. However, there are many problems in trout production due to bacterial factors, making fish production extremely difficult. Bacterial factors cause significant fish deaths and economic losses such as slowdown in growth. In addition to these, these factors also cause some damage to the DNA of fish and the formation of oxidations by disrupting the balance of free radicals in the tissues. Therefore, in this study; In the trout farms in our province, the trout with the main bacterial agents causing infection were determined and bacterial species (*Staphylococcus epidermidis*, *Lactococcus garvieae* and *Bacillus subtilis*) were determined by PCR. The brain and liver tissues of these fish were taken and the changes in antioxidant enzyme levels (SOD, CAT, GSH-Px), lipid peroxidation (MDA) and damage to their DNA (8-OHdG) compared to the control groups were investigated. In the study, it was determined that the antioxidant defense system enzyme levels in all three species of bacteria decreased in tissues, while lipid peroxidation and 8-OHdG levels increased.

As a result; *Staphylococcus epidermidis*, *Lactococcus garvieae* and *Bacillus subtilis* bacteria caused changes in antioxidant enzyme levels, lipid peroxidation and 8-OHdG levels in trout brain and liver tissues.

**Keywords:** DNA Damage, Antioxidants, MDA, Rainbow Trout, Bacterial Diseases.

## Farklı Bakterilerle Enfekte Olan Gökkuşığı Alabalıklarının Beyin ve Karaciğer Dokularında Oluşan DNA Hasarı ve Antioksidan Değişimi Öz

Balık üretimi, dünya çapında birçok insan için yiyecek ve geçim kaynağı sağlamaktadır. Su ürünlerinden alabalığın dünyanın birçok yerinde üretilmesi ve besin değeri bakımından oldukça zengin bir içeriğe sahip olması alabalığın önemini artırmaktadır. Ancak, alabalık üretiminde bakteriyel etkenler sebebi ile birçok sorun yaşanmakta ve balık üretimini son derece zorlaştırmaktadır. Bakteriyel etmenler önemli ölçüde balık ölümlerine ve büyümede yavaşlama gibi ekonomik kayıplar neden olmaktadır. Bunların yanında, bu etmenler balıkların DNA'sında birtakım hasarlara ve dokularda serbest radikal dengesinin bozularak oksidasyonların oluşmasına da neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada; ilimizde bulunan alabalık çiftliklerinden enfeksiyon oluşturan başlıca bakteriyel ajanların bulunduğu alabalıklar belirlenerek ve PCR ile bakteri türleri (*Staphylococcus epidermidis*, *Lactococcus garvieae* ve *Bacillus subtilis*) tespit edilmiştir. Bu balıkların beyin ve karaciğer dokuları alınarak antioksidan enzim düzeylerindeki (SOD, CAT, GSH-Px) değişimler, lipit peroksidasyonları (MDA) ve DNA'larında meydana gelen hasarın (8-OHdG)) kontrol gruplarına göre değişimleri araştırılmıştır. Çalışmada bakterilerin üç türünde de antioksidan savunma sistemi enzim seviyelerinin genel olarak dokularda azaldığı, lipit peroksidasyonunun ve 8-OHdG düzeylerinin ise arttığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; *Staphylococcus epidermidis*, *Lactococcus garvieae* ve *Bacillus subtilis* bakterilerinin, alabalık beyin ve karaciğer dokularında antioksidan enzim düzeylerinde, lipit peroksidasyonunun ve 8-OHdG düzeyinde değişimine sebep olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DNA Hasarı, Antioksidanlar, MDA, Gökkuşığı Alabalığı, Bakteriyel hastalıklar.

## 1. Introduction

Today, many deaths from viral diseases (Covid-19) are observed all over the world. It is also possible that the same situation is of bacterial origin. Although it is generally thought that bacterial fish zoonosis are mostly caused by Gram negative bacteria, some of the Gram positive bacteria have disease-causing effects in humans (Nemetz 1993; Yeltekin et al. 2018). Fish bacterial zoonosis are transmitted to humans as a result of contact of contaminated fish tissues and water with wounds on the skin or consuming more contaminated fish products as food (Austin 1999; Öter and Zorer, 2020; Yeltekin and Sağlamer 2019). Bacterial fish zoonosis often results in localized infections under the skin or tissues in humans, mostly symptom-free gastroenteritis. However, they can sometimes cause high mortalities (Nemetz 1993).

Pollution occurring in waters, as in the whole environment, brought with it many problems related to fish farming. Because the source of most of the disease-causing organisms is water contaminated with waste water. Microorganisms need water, energy source, nitrogen source, vitamins and minerals in order to grow and reproduce. Aquatic organisms create a favourable environment for microorganisms (Arda 2000; Yeltekin et al., 2018). Some microorganisms can affect each other with metabolites that have antagonistic effects that they synthesize in the organism in which they settle and cause the death of the living creature on which they live (Güven and Zorba 2013).

In aquaculture, the presence of many fishes together and in close contact compared to free-living fish in nature, causes more diseases to occur. The fact that the environment in which the fish live provides nutritious, physical, chemical, biotic and abiotic optimal living conditions leads to the emergence of many infectious diseases (Arda et al. 2000). Although it was thought that 15-20 bacteria species were pathogenic for the fish, approximately 70 bacteria species were isolated from naturally infected fish (Austin and Austin 1999). It is reported that bacterial diseases cause large economic losses in farms where intensive fish farming is carried out (Roberts and Shepherd 1997).

As in all living things, bacterial diseases in fish affect the immune system and defence mechanisms of living metabolism. In this study; after determining the rainbow trout containing the main bacterial agents causing infection in trout farms, it was aimed to investigate how the antioxidant enzyme levels, lipid peroxidation and DNA damage of these fish varies compared to healthy fish.

## 2. Material and Method

### 2.1. Fish

The study was carried out with the decision of the Animal Experiments Local Ethics Committee of Van Yüzüncü Yıl University dated 31.01.2019 and numbered 2019/01. The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) used in the study was taken from the companies that produce offspring. For this purpose, a total of 45 fishes, 9 of which were from 5 different enterprises, were purchased. In the sampled fish, fish with symptoms such as slowdown in movements, separate swimming, darkening in colour, symptoms such as bilateral exophthalmos and acid, swimming disorder, fin rot were chosen.

### 2.2. Identification of bacteria

Real-Time PCR protocol used in the study is given below (Table 1). In trout sampled from farms, 10 *Lactococcus garvieae*, 9 *Bacillus subtilis* and 8 *Staphylococcus epidermidis* agents were isolated.

### 2.3. Analysis of antioxidant enzyme

Superoxide dismutase (SOD) enzyme activity was measured at 505 nm at 37 ° C in the autoanalyzer with the Randox - Ransod enzyme kit (Xia et al., 1995, Flohe and Ötting, 1984). Catalase (CAT) enzyme activity was determined at 240 nm by UV spectrophotometric method of Aebi (1984) based on the degradation of Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) by catalase. Glutathione peroxidase (GSH-Px) enzyme activity was measured at 37 ° C with Randox-Ransel enzyme kits in the autoanalyzer by 340 nm ultraviolet method (Paglia and Valentine, 1967; Flohe and Gunzler, 1984).

### 2.4. Analyses of 8-OHdG levels

Homogenates prepared in 8-OHdG analysis were used. The steps of the kit procedure were applied in order for the analysis (ELISA kit, Catalog No: 201-00- 0041/SunRed).

### 2.5. Analyses of Malondialdehyde (MDA) levels

Homogenates for analysis Mis et al. (2018) prepared according to the modified method Malondialdehyde (MDA) level Placer et al. (1966) was measured by the method based on the spectrophotometric measurement of pink colour absorbance resulting from the thiobarbituric acid (TBA) and MDA reaction.

### 2.6. Statistical analysis

The values obtained as a result of the analyses are expressed as mean ± standard error. For multiple comparisons, ANOVA and Tukey's test were followed to make a difference. The difference between the values was made according to 0.05.

Table 1. Protocol used in Real-Time PCR phase

Pre-denaturation	95 °C	10 minute
Denaturation	94 °C	45 sec
Connecting 45 cycles	56 °C	30 sec
Elongation	72 °C	45 sec
Last elongation	72 °C	7 minute

### 3. Results

#### 3.1. Real-Time PCR analysis results

DNAs obtained from isolated bacterial agents were used as templates in Real-Time PCR. Real-Time PCR procedure was performed to identify the isolates. Real-Time PCR results performed with Universal (27F-1492R) primers are given below (Figure 1). In line with Real-Time PCR results, it was observed that bacterial DNAs gave positive results in SYBR Green-based fluorescence irradiation by binding with Universal primers.

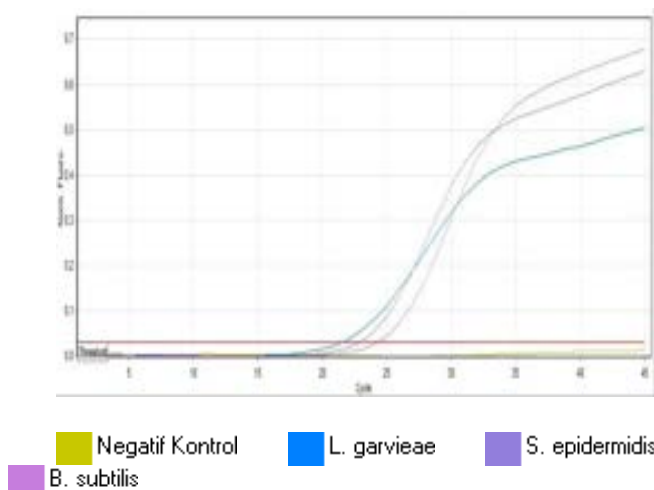


Figure 1. Real-Time PCR image performed with bacterial DNAs isolated in the study (Sigmoidal curves positive, negative control sample below the threshold value).

#### 3.2. Bacterial identification

The nucleic acid sequences obtained after Sanger One-Way sequencing with Real-Time PCR amplicons are given below. As a result of the Blast process of the nucleic acid sequence performed on NCBI and CLC web bases, all of the isolated bacteria had 100% sequence overlap (Figure 2,3,4).

```

1  GTTCTGGAGG TGATACGTCG CAGCTAGTCG GCTCCGAAATGG TTACTCCAAAG GGCCTTGGGT
61  GTTACAAACTC CTCTGGTGGT GACAGCGGGT GTCATACAAGA CCGGGGAAGG TATTEACCGT
121  AAGATGCTGA TCTACGATTA CTAGCGATTC CAGCTTCATA TACTCGAGTT GCAGACTAGA
181  ATCCGAACCTE AGAACAACTT TATGGGATTT GCTTGGACTTC GGGGTTTGGC TGCCCTTTGT
241  ATTGTCCATT GTAGCACGTC TGATAGCCAA ATCAFAAGGG GCGATGATGAT TTGAGCTGAT
301  CCCGACCTTC CTCCGGTTTG TCACGGGGAG TCAATTTAGA STGCCAAT TAAATGAGG
361  AACTAAGCTT AAGGGGTTGG CTCTGTTGGG GACTTAACCC AACATCTCCG GACACGAGCT
421  GAGCAGACCTE ATGCACTGTC TGTACTCTTG TCCCGCGAAG GGGAAACTTC TATCTCTAGA
481  GGGGTCAGAG GATGTCAGAG TTTGGTAAAG TTCTTCCGGT TGCTTCGAT TAAACCAACT
541  GCTCCACCGG TTGGCGGGT CCCCCTAAT TCCCTTGAAT TTCAACTTC GGGTSTACT
601  CCCCAGGCGG AGTGCTTAAT GCGTATGCT CAGCACTAAG GGGCGGAAC CCCCATAC
661  TTAGGACCTA TGCTTTAGGG CGTGGACTAC CAGGGATATC AATCTGTTTT GATCCCGAG
721  CTTTGGGACA TGAGCGTEAG TTACAGACCA GAAAGTCGCG TTGCGCACTG GTGTTCTCC
781  ATATCTCTGCG GCATTTGACC GCTACAGATG GAATTCGACT TTCTCTCTCT GCACCTGANT
841  TTTCGAGTTT CCAATGACCC TCCAGGGTTG ASCCGTGGG TTTCACATGA GACTTAAAAA
901  ACCGCGTACG CGCGCTTTAG GCCCAATTA TCCGGATAAC GCTTGCACCC TACGATTTAC
961  CGGGGCTGCT GGACAGTATG TACCGTGGG TTCTGATTA AGTACGCTCC AGACCTGAT
1021  AGTTACTTAC ACATTTGTTT TTCCCTAATA ACAAGTTTTT ACGATCCGAG AACCTTCATCA
1081  CTTAAGCGGG CTTTTCTGCG TCAAGCTTTC CCCCATTGCG GAAATTTCTF ACTGCTGGCT
1141  CCGTAGGAAA TTGGAAACCG GGGTAAAGTC CCGTGTGCC AATCCGCTTC CCGGCTGGG
1201  TACGACCTTT CCCCCTGTTA AGCTTTCTCT TCCAGAACCA AAAAGGGGGG GGTCCCTTTA
1261  AAAATTAAGA AACCCCTTTC TTTTTRACC GGGTGGCAAT TTTTCTTTTA CCCCCTTGG
1321  CCAATTTTCC CCCCATTAGG GGTTCCTGG GGTFTTACC CCCCCCCC CCCCCGAGT
1381  AAGATTTTCA AAGGTGGGTT TTTTTTTTTT TGCGGCGCCC GGGTTGGGGG GCGTGGGGTA
1441  GAATTAATAA AAAAACATTA AAAAAAATAA AAAAAAAGTT TGTTGCTGGC GCGTCTGGG
1501  CTCTTTTGGG GTTGTCTGCT GCGTTAAGCT GCTCCGCGCC CTTCTCCCC
    
```

Figure 2. Sequence results of *Staphylococcus epidermidis*

```

1  TTTTTTTTTT CTFTATGGCT GCTCTGTCGG AGCTCCATAG AGGTACCTC ACCGACTTGG
61  GGGTTTACAA ACTCTCTGGG TGTGACGGCG GGTGTGTGCA AGGCCCCGGA ACGTATTCAC
121  CGGGGCTGTC TGATCCCGGA TTCTATAGGA TTCCAGCTTC AGCGAGTGA GTTGTGAGACT
181  GCGATCCGAA CTGAGAACAG ATTTGTGGGA TTGGCTTAAC CTGGCGGTTT CCGTGCCTTT
241  TGTTCTGTCG ATTTGAGCAC GTTGTATGGC CAGGTCTAAA GGGGCAATAT GATTTGAGST
301  CATCCGCCGC TTCTCCGGGT TTGCTACCGG CAGTCACTTT AGAGTGCCEA ACTGAATGCT
361  GGGAACTTAG ATCAAGGGTT GCGCTGCTTG CCGGACTTAA CCCCACATCT CAGGACACAT
421  GCTGACGACA ACCATGACCC AECTGTCACT GCGGCTGTA TCCGCCCCGA AGGGGAGTTC CTATCTCTAG
481  GATTTGTCAG GATGTTAAG AECTGTCACT GTTCTCTGAG TTGCTTTGAA TTAAACACAA
541  TGCTCCACCG CTGTGCGGGG CCCCCCTCAA GCTGTGTAAG GGTTCGTAAT TTGAGCTTCT
601  TCCCCAGGCG GATGCTTTAA TTGCTTGTCT GAGGACTTAA GGGGCGAANA CCCCCTAAGA
661  CTTAGCACTC ATGCTTTAGG GCTGTGACTA CAGGACTTAA GGGGACTTAA TTATCCCTTT
721  GCTTTCGCTC CTAGCGCTCA GTTACAGACC AAGAGTTGAG CTTCCTGCACT GGTGTTCTTC
781  CAATCTCTTA GCAATTTGAC GCTACAGACC AAGAGTTGAG CTTCCTGCACT GGTGTTCTTC
841  TCCCCAGTCT TCGAATGACC TCCCCGGTFT GAGGCGGGGG CTTCCTGCACT AGACTTAAGG
901  AAGCCGCTGC GAGCCCTTTA CCCCCAATAA TTCCGGAATA CBTTCGCAAC CTAGCTATTA
961  CCGCGACTGC TGCGCAGTCT TTAGCCCTGG CTTCCTGTTT AGGTACGCTC AAGGATGCTC
1021  CCGATTTGGA ACGGTACTGT TTCTTCTTTA CAGAAGACT TTACTATTGG GAACACTGCT
1081  TTATTTACGG GCGGCTGCTC GTGCAACTTT CCGCATTTGG AAAAACTGCA CTGCTGCCCC
1141  CTAGAATGCG GGGCGGGGGG GGTCCCAAGG TTGCGAATCC CCGTCCGGTG GCACCGCCGC
1201  CTCCCTTGTG TACCCGTTGA CCCCACAAA GACCAAAAC CCGCGGGGGC CCGTGAATTT
1261  GTTAAATANA GGGCCCCCTT TTTTGTATAT AACCTTTTAT AAACAAGAGA AGGGAAGAG
1321  AAGCCCTTTT TCGGGCTTCT ACAGTCCGCG AAGTAAATTT CTGCGGGGGC CCCCCCCCC
1381  CTTCCCGCAG CAGATTTATA AAGGGGAAGT GGTGTTTCTG TCTTCCGGGG TGCGGGGGGA
1441  CCGGAAGAAG AGTGTAGAAA AAAAAAANA AAAAAAATAA AAAAAAAT AGGCTCTCT
1501  GCGCCCTTGT TCCCTGTTGA TTTTCTTCA GCGCGCGGCG TTTTCTTTT GCTTGTGGG
1561  GTGCGCGGTT TCTGACGATG TTGGGCTGG CCGTGGCCCC TGCGGGGGG CCCCCGAGC
1621  GCTCTGACG TTGT
    
```

Figure 3. Sequence results of *Bacillus subtilis*

```

1  TTTTCTAAT GTAGGATGAC TTTTCTAGG TGCCCTCTCT TGCGGTTAGG CAAGCTACTT
61  TGGGACTTCC CAGCTTCCGT GGTGTGACGG GGGGTGTGTA CAGGGCCGGG GAGGCTTCTC
121  ACCGCGGGCT GTGATGCGG GATTTACTAG GATTCGACTT TCATGCGAGG GACTTGCAGC
181  CTGAATATCC AACTGAGAA GTTTTTAAGA GATTTGCGCA CCGTGGGGG TTGCGACTC
241  GTTGTACCAT CCGTTTACG AGTGTGTAG CCGAGTCTAT AAGGGGKATG ATGATTTGAC
301  GTATCTCCCA CTTTCTTCC GTTATACACC GGGACTTGA CTAGAGTTCG CAGCTTAATG
361  ATGACACATA GTAATAGGG TTGCGCTGCT TGCGGACTTT AACACAACT CTGAGACAC
421  GAGCTGAGCA CAGCTGACA CCGCTGTAT CCGGCTTCCC GAGGAACTC CTATCTCTA
481  AGGATAGCAC GAGTATGTA AGACTTGTAT AGGTTCTTCA CBTTCCTTCC AATTAACGCA
541  CATGCTGACG CGCTTGTGCG GGGCCCCGTC AATTCCTTTG AGTTTCAKIC TTGGGTTGGT
601  ACTTCCAGAG CGAGTGTCTT AATGCTTTAG CTAGGTTAGA GAAACTTAT AGCTTCTTAC
661  AGCTGACACT CATGTTTTAG GCGGTGACT ACCAGGTTCT TAACTCTTGT TTGCTTCCCA
721  CGCTTTGAGC CTTGACGCTC ACTTACAGAG CAGAGAGCG CTTCCTGCTC TTGCTTCTCT
781  CCAATATCTC AGCCATTTC CCGTACAGA CGAAGATTC ACTTCTCTCT CCGTACTCA
841  AGTCTCCAG TTTTCAATSC ACNCAATGAT TGAGGACTGT CTTTCTTCT CAGACTTAAG
901  AAAAAACTS CBTCTCTTTT ACTCCGCACTA ARTCCGAGAA ACATCTGTA ACTAACCTAT
961  TAACTAGGCG TGCTGGAGG GATTTAGCTT TCCCTCTTFT TTGAAAGG ACCCCCTTAT
1021  GGAATTTTCT TTTTCCACTT AACTTAGCTT TTTTCTAGCA AATTTAATTT TTACTAATAC
1081  CTATATATCC TCCGACGGG GGGCCCTTCA GGGTGGCTG CTCCCGCTAG TTAGCAACT
1141  CTTCCCTTAC TCTGCGAAC TAGAAGCGGA GGGGTTGTC TTATGCGCTT GAATCACCCC
1201  TCCCCCCCCT GGAAGGGGGG GCAATTAAT GGTCTTTTGA TTGCGCATNA CAACACCGCA
1261  CCCCAGGGGG GGGGGGGTTC TATATAATA TATATATTTT TTCTTTTAA AAAAAAACA
1321  CCGTCCCGCC CTTTATATA TAGATATAT ATATTTTTC CTGCGACCC CAGCGCCCCG
1381  CCCCACCCCT CTTGCGACC CTTCCCGCCA CCCCOCOCOC CTTCCGACC ACCCGGGTA
1441  TATGATAGA ACAACAAT TGTGTTTTTT CATACCAAGT GAGTGGTGGT GTTGTGGG
1501  CCGCCCCCCC CAGTCCGGG CCFATAGAG AAAAAAANA AAAAAAATAA AAAAAAATAA
1561  TTTCTTTTTT CTGTTGGGTT GGGCGGGGG CTTGCGGTTT TATTTTTTGA
1621  TTTGTTATTT GCTTACACT CCAAGCGGCG AGTATATAT TATAT
    
```

Figure 4. Sequence results of *Lactococcus garvieae*

#### 3.3. Antioxidant Activities

The levels of antioxidant defence system enzymes (SOD, CAT, GSH-Px), which are the first defence system against free radicals, are as follows.

The change of SOD levels of control group fish with other bacterial fish groups was found significant. It was determined that the brain tissue SOD enzyme activity of bacterial fish decreased significantly compared to the control group fish (Figure 5)( $p < 0.05$ ).

The change in liver tissue SOD levels between the control group fish and bacterial fish groups was found to be statistically significant. It was observed that liver tissue SOD enzyme activity decreased significantly in all three bacterial species. *Bacillus subtilis* bacteria fish were found to have a low level of liver SOD (Figure 5)( $p < 0.05$ ).

*Bacillus subtilis* and *Lactococcus garvieae* bacteria were observed to decrease statistically significantly in brain tissue CAT enzyme levels (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

It was determined that the liver tissue CAT enzyme levels of all three bacterial fish groups decreased statistically significantly. In particular, the *Bacillus subtilis* bacterial fish group was observed to be quite low (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

It was found that the brain tissue GSH-Px level of *Staphylococcus epidermidis* and *Lactococcus garvieae* bacteria showed a statistically significant decrease compared to the control group. In the *Bacillus subtilis* bacteria group, it was not

found statistically significant despite the decrease (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

The liver tissue GSH-Px enzyme levels of all three bacterial trout groups were statistically significant compared to the control group. Especially, *Bacillus subtilis* bacteria group showed a more significant decrease (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

### 3.4. MDA and 8-OHdG results

It was observed that the level of malondialdehyde, which indicates the oxidation rate of lipids, increased in each group. However, it was found that the brain tissue malondialdehyde levels of *Staphylococcus epidermidis* and *Lactococcus garvieae* bacterial trout showed a statistically significant increase (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

The liver MDA level change showed statistically significant increases in all three bacteria groups compared to the control group. Especially in *Lactococcus garvieae* bacterial group, the level of malondialdehyde increased to very high levels (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

In the advanced stages of oxidation, some damage occurs in the DNA chain. 8-OHdG is the most prominent product of these damages. In our study, the brain tissue 8-OHdG level of *Staphylococcus epidermidis* and *Lactococcus garvieae* bacteria showed a statistically significant increase (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

The liver tissue 8-OHdG levels of *Staphylococcus epidermidis* and *Lactococcus garvieae* bacterial trout groups showed a statistically significant increase compared to the control group. Although there was an increase in *Bacillus subtilis* bacterial trout group, it was not found statistically significant (Figure 5) ( $p < 0.05$ ).

## 4. Discussion

Fish are constantly in contact with microorganisms due to their environment. Therefore, bacterial diseases, intensive fish farming causes great economic losses in farms (Tanrikul et al. 1997). SOD and CAT levels of offspring Indian fish (*Cirrhinus mrigala*) infected with *Aeromonas hydrophila* have been found to be significantly reduced (Kumar et al. 2018). Tarnecki et al. (2018) it has been stated that the antioxidant levels of these fish have decreased significantly by detecting Red Drum (*Sciaenops ocellatus*) which contain *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, and *Pseudomonas* bacteria. According to the results of the study, it is stated that bacterial infections in aquaculture negatively affect the fish production efficiency. In our study, it was seen that antioxidant enzyme activity values of all three bacterial groups show parallelism with these studies. It has been stated that many streptococcus species bacteria enter the brain and nervous system of the fish and infect them and cause the decrease of brain tissue antioxidant enzymes. Thus, it has been stated that some changes occurred in the movement of fish as a result of the slowing of brain functions over time (Yanong and Francis-Floyd 2002; Austin and Austin 1999; Eldar et al. 1999). The present study supports this situation in the changes in antioxidant enzymes in the brain tissue and MDA and 8-OHdG levels. When the activity of antioxidant enzymes in the liver is monitored, an intense decrease is observed in all three types of bacteria. However, it has been determined that the

antioxidant enzymes of *Bacillus subtilis* bacterial fish are observed at very low levels and MDA and 8-OHdG levels are increased. This can be thought to be caused by toxic substances that *Bacillus subtilis* bacteria produce as a result of their reproduction in the tissue in which they settle. In a study investigating the xanthine oxidase, reactive oxygen species and nitric oxide levels of *Rhamdia quelen* infected with *Streptococcus agalactiae*, it was found that reactive oxygen species increased significantly compared to the control group (Souza et al. 2017). Silver catfish infected with *Aeromonas caviae* bacteria, which cause high mortality in fish, have decreased antioxidant levels and increased malondialdehyde level. In the study, it was found that reactive oxygen species increased significantly in liver tissues (Baldissera et al. 2018). In our study, in accordance with these articles, it was observed that it decreased antioxidant enzyme levels and increased MDA and 8-OHdG levels in tissues originating from bacteria. Enzymes such as superoxide dismutase, glutathione peroxidase and catalase are the first and most important steps to defend against stress (Pandey et al. 2003). In our study, it is seen that antioxidant enzyme levels respond differently according to the types of bacteria and the characteristics of the tissues (brain and liver) in which they are located. In the later stages of oxidation in the cells, some damage occurs in the DNA chain. Reactive oxygen types lead to the formation of oxidative damage products in more than 20 base types in the DNA structure (Dizdaroğlu 1998). Among the damaged bases, 8-OHdG is highly sensitive and is the most common oxidative DNA damage marker (De Martinis and Bianchi 2002). A study investigating DNA damage in fish with *Deinococcus grandis* bacteria has been conducted. It has been determined that bacteria in the fish have more DNA damage than the control group (Sato et al. 2016). In our study, it was determined that all three bacterial species cause significant damage especially on the tissue in which they settle, and as a result, both lipid peroxidation and 8-OHdG levels increase.

## 5. Conclusions

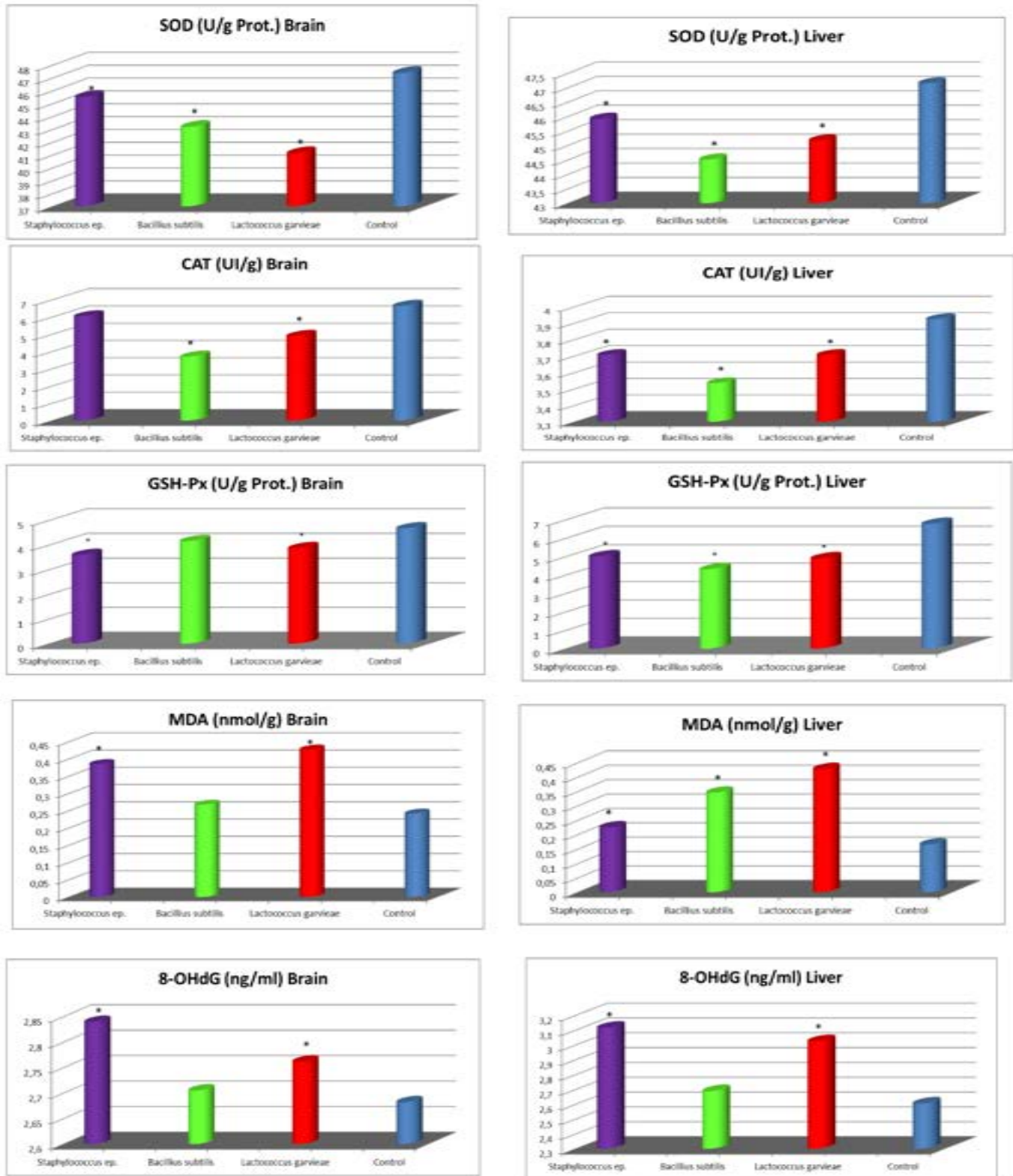
According to the results of this research; the habitat of the fish, water quality, fish density, water temperature and the characteristics of spring water that feeds ponds can lead to the development of some bacterial species, causing economic losses in enterprises. These bacterial species multiply rapidly in fish tissues, creating oxidative stress. It was observed that antioxidant activity levels decreased, lipid peroxidation and 8-OHdG levels increased with the increase of free radicals as a result of stress. Consumption of these bacterial fish by humans and other creatures in the case of bacteria, it may also spread bacteria and may develop more resistant bacteria species over time. Therefore, with this study, we are of the opinion that it is important to pay attention to the importance of cleaning fish habitats, patient fish isolation, the quality of water sources and feeds in terms of providing less living loss and healthier food production for businesses.

## 6. Acknowledge

This study was supported by the project of Van Yuzuncu Yil University, Scientific Research Projects with FYL-2019-8202 project.

## References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro, *Method. Enzymol.*, 105, 121-126.
- Arda, M. (2000). *Basic microbiology*. (Extended Second Edition). Ankara: Medisan Publishing House Series.
- Austin, B. & Austin, D.A. (1999). *Bacterial Fish Pathogens Disease of Farmed and Wild Fish*, Third (Revised) Edition, Praxis Publishing Chichester, U.K., 457.
- Baldisseraa, M.D., Souza, C.F., Santosa, R.C.V. & Baldisserotto, B. (2018). Streptococcus agalactiae alters cerebral enzymes of phosphoryl transfer network in experimentally infected silver catfish: Impairment on brain energy homeostasis. *Aquacultur*, 489, 105-109.
- Eldar, A., Gorla, M., Ghittino, C., Zlotkin, A. & Bercovier, H. (1999). Biodiversity of *Lactococcus garviae* strains isolated from fish in Europe, Asia, and Australia. *Appl Environ Microbiol*, 65, 1005-1008.
- De Martinis, B.S. & Bianchi, D.L.P.M. (2002). Methodology for urinary 8-hydroxy-2'-Deoxy guanosine analysis by HPLC with electrochemical detection. *Pharmacol Res*, 46(2), 129-31.
- Dizdaroglu, M. (1998). Facts about the artifacts in the measurement of oxidative DNA base damage by gas chromatography-mass spectrometry. *Free Radic Res*, 29(6), 551-63.
- Flohe, L. & Gunzler, W.A. (1984). Assays of glutathione peroxidase. *Methods in Enzymology.*, 105, 114-115.
- Flohe, L. & Otting, F. (1984). Superoxide dismutase assays. *Methods in Enzymology*, 105, 93.
- Güven, S. & Zorba, D.N.N. (2013). *General Microbiology and Laboratory Guide*. Nobel Academic Publishing Education Consultancy, Ankara.
- Kumar, P., Jain, K.K. & Sardar, P. (2018). Effects of dietary synbiotic on innate immunity, antioxidant activity and disease resistance of *Cirrhinus mrigala* juveniles *Fish and Shellfish Immunology*. 80, 124-132.
- Mis, L., Comba, B., Uslu, S. & Yeltekin, A.Ç. (2018). Effect of Wheatgrass on DNA Damage, Oxidative Stress Index and Histological Findings in Diabetic Rats. *International Journal of Morphology*, 36, 1235-1240.
- Nemetz, T.G. & Shotts, E.B. (1993). *Zoonotic Disease Chapter 17*. Stoskopf (Ed): Fish Medicine W.B. Saunders Company. Philadelphia, London, p.214.
- Öter, Ç. & Selçuk Zorer, Ö. (2020). Kinetic, isothermal and thermodynamic studies on Th(IV) adsorption by different modified activated carbons. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*, 323, 341-351.
- Paglia, D.E. & Valentina, W.N. (1967). Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *J Lab Clin Med.*, 70, 158-169.
- Pandey, S., Parvez, S., Sayeed, I., Haque, R., Bin-Hafeez, B. & Raisuddin S. (2003). Biomarkers of oxidative stress: a comparative study of river Yamuna fish Wallago atto. *The Science of the Total Environment*, 309, 105-115.
- Placer, Z.A., Cushman, L.L. & Johnson, B.C. (1966). Estimation of product of lipid peroxidation (malonyldialdehyde) in biochemical systems. *Analytical Biochemistry.*, 16, 359-364.
- Roberts, R.J. & Shepherd, C.J. (1997). *Handbook of Trout and Salmon Diseases*, Third Ed. Fishing News Books, Blackwell Science Ltd., Oxford, U.K. ISBN 0-85238-244-8. 84.
- Satoh, K., Yoshino, J. & Akamatsu, T., et al. (2016). Evidence-based clinical practice guidelines for peptic ulcer disease. *J Gastroenterol.*, 51, 177-94.
- Souza, C.F., Baldissera, M.D., Santos, R.C.V., Raffin, R.P. & Baldisserotto, B. (2017). Nanotechnology improves the therapeutic efficacy of Melaleuca alternifolia essential oil in experimentally infected *Rhamdia quelen* with *Pseudomonas aeruginosa*. *Aquaculture*, 473, 169-171.
- Tanrıku, T., Çağırğan, H. & Tokşen, E. (1997). Bacterial Fish Diseases. *Journal of the Veterinary Control and Research Institute*. Bornova, 20, 105-27.
- Tarnecki, A.M., Rhody, N.R. & Walsh, C.J. (2018). Health Characteristics and Blood Bacterial Assemblages of Healthy Captive Red Drum: Implications for Aquaculture and Fish Health Management. *Journal of Aquatic Animal Health*. 30, 339-353.
- Xia, E., Rao, G., Remmen, H.V., Heydari, A.R. & Richardson, A. (1995). Activities of antioxidant enzymes in various tissues of male Fischer 344 rats are altered by food restriction. *The Journal of Nutrition*, 125 (2), 195-201.
- Yanong, R.P.E. & Francis-Floyd, R. (2002). Streptococcal Infections of Fish. Circular FA057, Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, *Institute of Food and Agricultural Sciences*, University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/FA057>.
- Yeltekin, A.Ç., Karapınar, Z. & Mis, L. (2018). The changes in the levels of elements in sheep with Contagious Ecthyma. *Indian J. Anim. Res.*, 52 (1), 56-60.
- Yeltekin, A.Ç. & Sağlamer, E. (2019). Toxic and Trace Element Levels in *Salmo trutta macrostigma* and *Oncorhynchus mykiss* Trout Raised in Different Environments, *Polish Journal Of Environmental Studies*, 28, 1613-1621.



**Figure 5.** Change of brain and liver tissue antioxidants (SOD, GSH-Px, CAT) activity, MDA and 8-OHdG levels of rainbow trout with different bacteria



# Performance Comparison of YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 Algorithms: A Case Study for Poultry Recognition

Oğuzhan Kırarak<sup>1\*</sup>, M. Zahid Gürbüz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bandırma Onyeddi Eylül University, Bandırma Vocational School, Computer Programming Program, Balıkesir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5541-6749), [okivrak@bandirama.edu.tr](mailto:okivrak@bandirama.edu.tr)

<sup>2</sup> Dogus University, Engineering Faculty, Istanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5125-6378), [zgurbuz@dogus.edu.tr](mailto:zgurbuz@dogus.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 01 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1111288)

**ATIF/REFERENCE:** Kırarak, O. & Gürbüz, M. Z. (2022). Performance Comparison of YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 Algorithms: A Case Study for Poultry Recognition. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 392-397.

## Öz

Bu çalışmanın amacı, görüntüleri sınıflandırmak için kullanılan popüler evrişim sinir ağı modellerinin arasındaki performans farklılıklarını bulmaktır. Bunun için, YOLO modelinin farklı versiyonları üzerinde bir vaka çalışması yürütüldü. Bu çalışma için yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setinde, 918 adet tavuk, horoz ve civciv görüntülerini içeren kümes hayvanı fotoğrafları bulunmaktadır. Veri kümesinin % 80'i eğitim % 20 test olarak ayrılmıştır. Eğitim ve test veri kümelerindeki kümes hayvanlarının görüntüleri manuel olarak etiketlendi. Eğitim veri kümesindeki görüntüler YOLOv3-tiny, YOLOv3, YOLOv4-tiny, YOLOv4, YOLOv5s, ve YOLOv5x modelleri kullanılarak eğitim tamamlandı. Kümes hayvanı tespiti için YOLOv5' modeli ile elde edilen sonuçlar diğer popüler CNN mimarisi sahip olan YOLOv3 YOLOv4 modelleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak YOLOv5x(XLarge Depth(derinlik)) modeli 0,5 IOU'da %99,5 ortalama hassasiyetle en yüksek doğruluk oranı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** YOLO, Görüntü İşleme, Evrişimsel Sinir Ağları, Performans Karşılaştırma, Kümes Hayvanı Tanıma, Bilişim Sistemleri, Sistem Geliştirme

## YOLOv3, YOLOv4 ve YOLOv5 Algoritmalarının Performans Karşılaştırması: Kümes Hayvan Tanıma İçin Bir Vaka Çalışması

### Abstract

The aim of this study is to classify poultrys using popular convolutional neural network models. The different YOLO models are experimented to find best YOLO models in terms of performance. For this purpose, a case study was conducted on different versions of the YOLO model. A new dataset has been described in this study. In the dataset, there are 918 photos containing chickens, cockerel, and chicks. The dataset split into %80 training set and %20 test set. The images of poultrys in the training and test datasets were manually annotated and those in the training dataset were used to train the YOLOv3-tiny, YOLOv3, YOLOv4-tiny, YOLOv4, YOLOv5s, and YOLOv5x Models. The results of using YOLOv5 for poultry detection are compared with other popular CNN architectures, YOLOv3, YOLOv4 models. The results show that YOLOv5x (XLarge depth) model records the highest accuracy, resulting in a mean average precision at 0.5 IOU of %99.5.

**Keywords:** YOLO, Image Processing, Convolutional Neural Network, Performance Comparison, Poultry Recognition, Information Systems, System Development

\* Sorumlu Yazar: [okivrak@bandirama.edu.tr](mailto:okivrak@bandirama.edu.tr)

## 1. Introduction

Nowadays, with the developing Graphics Processing Unit (GPU) technology, image processing and object detection applications can be adapted in many fields. Deep learning technologies have become more popular with the increase in computing and capacity of GPU processors. There are many studies such as the perception of people walking on the road (Ahmed and Jeon, 2021), the presence of weeds in the field (Şin and Kadioğlu, 2019), the detection and counting of vehicles in traffic, and the detection and counting farm animal such as cow, goat and sheeps (Kıvrak et al., 2020).

While it is easy for humans to recognize objects that they know they have seen before, however it is more difficult for computers to distinguish objects. Supported by deep learning algorithms, the detection of objects can be done by computers with a high success rate. Detection and tracking of objects can be done by determining many attributes of the object (Tan et al., 2021, 160).

With the increase in labelled data, which is important in this field, deep learning algorithms have been used to give meaning to the data. A large amount of data is used and it provides the desired performance without the need to manually extract the feature of the image (Tian et al., 2019: 2).

Object detection, one of the sub-topics of image processing, has an important place in computer vision applications. Therefore, object detection algorithms are based on supervised learning and artificial neural networks which has great interest in deep learning (Jubayer et al., 2021; Mathew and Mahesh, 2021). Object detection is process of the locating of certain objects in an image or video (Mutludoğan,2020:17). In the process of detecting the object, the object must be found in the image and its position must be determined. Detection and recognition of objects in the image is one of the most researched problems in image processing due to reasons such as changes in pose of objects, complexity and class diversity (Şimşek et al., 2019:634).

One of the models used in deep learning is Convolutional Neural Networks (CNN). CNN is a special model of a multilayer artificial neural network inspired by biological processes. This model, which is designed to recognize patterns from the pixels of the image, is a feed-forward artificial neural network that combines feature extraction and classification (Dandil et al., 2019, 181). Today, CNN is the most efficient and widely used for object detection (Estaban et al., 2021).

In this study, YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 models and its sub models, which are deep learning models, were compared to determine the most suitable algorithm for detecting poultry. The rest of the work is organised as follows. In the second part, materials and methods are explained in the context of dataset, cnn models, evaluation metrics, software and hardware used. In the third part, the results obtained from the experiments are stated and give insights about them. In the last part, the result of the study are discussed and offer some suggestions for further research.

## 2. Material and Method

Materials and methods are discussed in this section. It describes the experiments in terms of the dataset, software, hardware, and evaluation metrics.

### 2.1. Dataset

A custom dataset was created by collecting chickens, cockerel, and chicks via google search tool. The dataset contains 918 images. An image can contain more than one poultry.

The poultry in the images in the dataset were labelled with the help of the LabelMe annotation tool (Kentaro,2016). Rectangular bounding box technique was used as the labelling method. Because, YOLO algorithms work with such rectangular labelled data. Labelling was completed by giving the class names of the relevant poultry name each drawn rectangular bounding box. An instance of image labelling with the labelme tool is shown in the Figure 1. The names of these classes are “chicken”, “cockerel”, “chick”. After the completion of the tagging process, all tagged images and text files containing the coordinates of the bounding boxes were collected in a folder. The number of labeled class of each poultry are follows: 514 chicks, 652 chickens, and 276 cockerels.

Figure – 1 An example of labelled data within the dataset



### 2.2. Convolutional Neural Network Architectures

Although there are many algorithms and technologies used in object detection, convolutional neural networks are the most efficient and common tool used in object detection (Estaban et al., 2021). YOLO series models are single-step target detection models based on CNN. The YOLO model differs from two-stage target models such as the Faster R-CNN algorithm by transforming the object detection problem into a regression problem. YOLO models use neural network to predict the coordinates, probability value and class of the bounding box of the object in the image (Chen et al.; 2021:5-6). YOLO models can be applied real - time object detection applications because of good performance in terms of speed and accuracy (Jintasuttisak et al.,2022:2). In this study, YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5 versions were used.

#### i) YOLOv3

YOLOv3 is the improved version of the YOLO model (Redmon and Farhadi, 2018). YOLOv3 can perform localization and classification in real time only with the help of a neural network. This feature allows it to be trained with real-time inputs





ii) Precision and Recall

Precision is the ratio of positive prediction value over all predictions. The formula of precision is (3). Recall is the ratio of positive prediction value over ground truth. The formula of recall is (4). In these formulas (3) and (4), TP refers to the predicted value that exists, FP refers to the predicted value that does not actually exist, FN refers to the non-predicted value that does not actually exist.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{3}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \tag{4}$$

iii) Mean average precision (mAP)

Mean average precision (mAP) refers to the mean average of the Average Precision (AP) values for all classes. Average Precision is the average of precisions of all predictions.

Table 2. Parameters of YOLO Models

Parameters	Yolov3 Tiny	Yolov3	Yolov4 Tiny	Yolov4	Yolov5 s	Yolov5 xl
Number of iterations	max-batch: 6000	max-batch: 6000	max-batch: 6000	max-batch: 6000	epoch: 600	epoch: 600
Batch	64	64	64	64	64	64
Learning Rate	0.001	0.001	0.00261	0.0013	0.0013	0.0013
Momentum	0.9	0.9	0.9	0.949	0.949	0.949

Table 3. The result of the experiments

Result	mAP@0.5 IoU	loss	Precision	Recall	Training Time (mins)
Yolov3 tiny	90.3	0.74	0.93	0.83	55
Yolov3	92.9	0.18	0.96	0.93	297
Yolov4 tiny	86.2	0.09	0.96	0.79	48
Yolov4	96.6	1.35	0.95	0.97	379
Yolov5 s	99.5	0.01	0.997	0.99853	108
Yolov5 xl	99.5	0.007	1.00	0.99783	279

Table 3 summarizes the results of all models. It can be seen that the best mAP value is %99.5 and it was obtained by both YOLOv5 models. The mAP values of other models are above %90 except YOLOv4 tiny model. In terms of training speed, the performance of YOLOv4 tiny model overcome the others. According to these results, although the training time of the YOLOv4 tiny model is the best, the mAP value is the worst. Tiny models have less convolutional network layers then the other versions. In terms of tiny models, YOLOv5s has double training time over others but it has overcome the YOLOv4 tiny and YOLOv3 tiny.

As seen in the figure 3, the loss curve of the YOLOv3 and YOLOv4 tiny model converges after 1800 steps with the value of below 1.00. The convergence speed decreases beyond this point. The experiment stop at 6000 iterations with the value of about 0.18 and 0.09. The loss curve of YOLOv4 model, converges to 1.35 at the end of the steps, however the mAP curve converges to about %96 at 1200 steps. The loss curve of the YOLOv3 tiny model converges after 5000 steps and as parallel to it mAP curve converges after this step. In the YOLOv5 models there are three types of loss shown in figure 3.

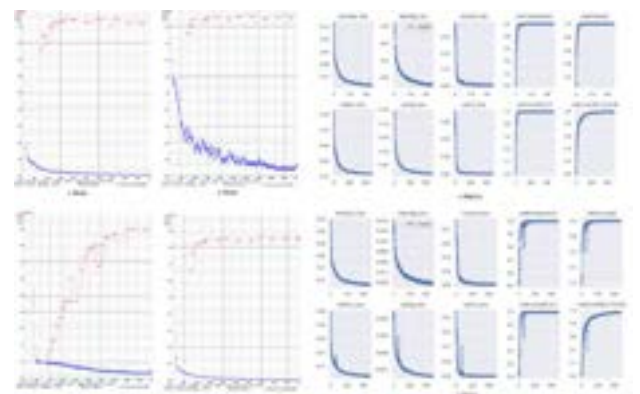
3. Experimental Results

In this section, different versions of YOLO models, including YOLOv3 (Redmon and Farhadi, 2018), YOLOv4 (Bochkovskiy et al., 2020), YOLOv5 (Cengil and Cinar, 2021), compared their performance on poultry detection. To compare the efficiency of each model, the dataset that contains poultry images, 6 YOLO models were run with the following parameters located at Table 2. Parameters were chosen as similar values for a fairer comparison.

The models were trained until they reach the max batch size or epoch size, and they were tested on identical train/test datasets. All experiments were done on the same PC with Intel Core i9-10920X CPU, 2 x Nvidia GeForce RTX 3090 GPUs, 128GB RAM. They were run separately to monitor the effect of the models under the same conditions.

The box loss indicates how well the predicted bounding box covers an object. Object loss is a measure of the probability of an object being present in a proposed region of interest. The cls loss represents how well the algorithm can predict the correct class. The all loss curves converges around epoch 500. Best weights can be obtained from the steps that converges.

Figure – 3 The results of all models



The examples in Figure 4 show that the YOLOv5s model can detect the poultries to a higher degree of certainty. In our dataset, even though it is hard to identify chicken and cockerel, the model detects them successfully. In some chick images, the model was not able to successfully identify all of them if there were many nested chicks. However, this is a situation that is difficult to detect with the human eye. It is also hard to identify in case objects are located far away from the camera.

Figure – 4 Images from the test dataset showing the performance for detecting poultry



#### 4. Conclusions

In this study, YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 models and its sub models are examined for performance comparison. For this purpose, a new custom dataset of poultries is described. The dataset contains 918 images that can contain more than one poultry in each image. The dataset has three classes as chickens, cockerel, and chicks. mAP metric is used to evaluate the results. The models were trained and tested on identical train/test datasets, and they used similar iteration numbers.

YOLOv5s and YOLOv5xl have the best performance in the context of mAP of 99.5% over others. mAP value of the YOLOv4 model is better than YOLOv3 and the tiny models. According to training time, although the YOLOv4 model has the best performance of 48 minutes, it has the worst mAP values. Thus, the YOLOv3 model can be used in terms of training time. Although the YOLOv4 model has the longest training time, it has a lower value than YOLOv5s and YOLOv5x by looking at the mAP metrics. Therefore, the YOLOv5x model or the YOLOv5s model should be preferred. For a good learning, it is expected that the loss values should be close to zero but not zero. The YOLOv5x model also has the best loss value. In the study of palm tree detection, although all YOLO models have similar training time, YOLOv5s model is minimum [26] (p. 8). In our case, there is a larger gap between the minimum (48 minutes) and maximum (379 minutes) training time.

In this study, yolov3, yolov4 and yolov5 were used. In future studies, the latest versions of Yolo, yolov6 and yolov7, can be used to compare performance differences. In addition, the models used in this study can be run with a different data set and the results can be compared.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank the Dogus University Scientific Research Projects Coordination Department under the Grant No. 2019-20-D2-B07 for financial

support and making the study available by providing hardware for our research.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper

#### References

1. Ahmed, I., Jeon, G.(2021). A real-time person tracking system based on SiamMask network for intelligent video surveillance. *J Real-Time Image Proc* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11554-021-01144-5>.
2. Şin, B. Kadioğlu, İ. (2019). İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Yabancı Ot Tespitinin Yapılması . *Turkish Journal of Weed Science* , 22 (2) , pp. 211-217 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjws/issue/51404/669501>.
3. Kıvrak,O., Gürbüz M.Z., Güran, A. (2020), Çivi Yazısından Dijital Kodlamaya Sosyo -Ekonomi Çalışmaları, Ekin Yayınevi, pp.1-12.
4. Tan , F.; Yüksel ,A.; Aydemir ,E.; Ersoy , M. (2021). "Derin Öğrenme Teknikleri İle Nesne Tespiti Ve Takibi Üzerine Bir İnceleme", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 25, pp. 159-171, Jun. 2021, doi:10.31590/ejosat.878552.
5. Tian, Y., Yang, G. Wang, Z. Li,E.,Liang, Z. (2019). Detection of Apple Lesions in Orchards Based on Deep Learning Methods of CycleGAN and YOLOV3-Dense. *Hindawi Journal of Sensors*. <https://doi.org/10.1155/2019/7630926>.
6. Mathew, M.P., Mahesh, T.Y. (2021).Leaf-based disease detection in bell pepper plant using YOLO v5. *SIViP* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11760-021-02024-y>.
7. Jubayer, M.F.; Soeb, M.J.A.; Paul, M.K.; Barua, P.; Kayshar, M.S.; Rahman, M.M.; Islam, M.A.(2021). Mold Detection on Food Surfaces Using YOLOv5. *Preprints 2021*, 2021050679 (doi: 10.20944/preprints202105.0679.v1).
8. Mutludoğan, K.2020. Derin Öğrenme Tabanlı Şeffaf Nesne Tanıma. *Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi.
9. Şimşek, E., Özyer, B., Tümüklü Özyer, G., (2019). Fotokapan Görüntülerinde Yerel Öznitelikler ile Nesne Tespiti. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , cilt.9, sa.4, 633-644.
10. Dandil, E , Turkan, M , Boğa, M , Çevik, K . (2019). Daha Hızlı Bölgesel-Evrşimsel Sınır Ağları ile Sığır Yüzlerinin Tanınması . *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6. Cilt - Prof. Dr. Fuat Sezgin Bilim Yılı Özel Sayısı , 177-189 . DOI: 10.35193/bseufbd.592099
11. Esteban, J.M., Loosdrecht, J.V., Aghaei, M. (2021). Obstacle Detection for BVLOS Drones. *ArXiv*, abs/2106.11098
12. Kentaro Wada. labelme: Image Polygonal Annotation with Python. <https://github.com/wkentaro/labelme>, 2016
13. Chen, J., Wang, Z., Wu, J., Hu, Q., Zhao, C., Tan, C., Teng, L., & Luo, T. (2021). An improved Yolov3 based on dual path network for cherry tomatoes detection. *Journal of Food Process Engineering*, 44( 10), e13803. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13803>
14. Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.

15. Iyer, Rakkshab & Bhensdadiya, Kevin & Ringe, Priyansh. (2021). Comparison of YOLOv3, YOLOv5s and MobileNet-SSD V2 for Real-Time Mask Detection. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2395-0056.
16. Kılıç, B. , Baykal Kablan, E. , Doğan, H. , Ekinci, M. , Ercin, M. E. & Ersöz, Ş. (2020). Derin Konvolüsyonel Nesne Algılayıcı ile Plevral Efüzyon Sitopatolojisinde Otomatik Çekirdek Algılama . *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi* , 13 (1) , 33-42 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbbmd/issue/53711/638455>.
17. Fang, Y., Guo, X., Chen, K., Zhou, Z., and Ye, Q. (2021). "Accurate and automated detection of surface knots on sawn timbers using YOLO-V5 model," *BioResources* 16(3), 5390-5406.
18. Ieamsaard, J., Charoensook, S. N., Yammen, S., "Deep Learning-based Face Mask Detection Using YoloV5," 2021 9th International Electrical Engineering Congress (iEECON), 2021, pp. 428-431, doi: 10.1109/iEECON51072.2021.9440346.
19. Murat, S. (2021).İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Derin Öğrenme Yöntemleriyle Nesne Tanıma. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi.
20. JetBrains. Pycharm. <https://www.jetbrains.com/pycharm/>, Erişim Zamanı: 23.08.2021.
21. Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., and Liao, H. Y. M. 2020. "Yolov4: optimal speed and accuracy of object detection," arXiv preprint arXiv:2004.10934
22. Cengil, E., Çınar, A. (2021). Poisonous Mushroom Detection using YOLOV5. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(1), 119-127.
23. Dewi,C., Chen, R. -C., Liu, Y. -T. , Jiang, X. , Hartomo, K. D. , (2021),"Yolo V4 for Advanced Traffic Sign Recognition With Synthetic Training Data Generated by Various GAN," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 97228-97242, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3094201
24. Yu, J, Wei Z. (2021). Face Mask Wearing Detection Algorithm Based on Improved YOLO-v4. *Sensors* 21, no. 9: 3263. <https://doi.org/10.3390/s21093263>
25. Kumar, A., Kalia, A., Sharma, A. et al. A hybrid tiny YOLO v4-SPP module based improved face mask detection vision system. *J Ambient Intell Human Comput* (2021). <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03541-x>
26. Jintasuttisak, T. Edirisinghe, E. El Battay, A. (2022). Deep neural network based date palm tree detection in drone imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 192.10.1016/j.compag.2021.106560.



# Microscopic Evaluation of Balloon Variety Jack Dempsey (*Rocio octofasciata* Regan, 1903) Larval Ontogeny

Ahmet Sepil<sup>1\*</sup>, Asude Çavuş<sup>2</sup>, Seda İlmen Çevik<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Basic Sciences, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3201-5181), [ahmetsepil@yyu.edu.tr](mailto:ahmetsepil@yyu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Basic Sciences, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8328-4675), [a.gultekin@yyu.edu.tr](mailto:a.gultekin@yyu.edu.tr)

<sup>3</sup> Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries Hunting And Processing Technology, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4786-0062), [seda.ilmen@hotmail.com](mailto:seda.ilmen@hotmail.com)

(First received 26 May 2022 and in final form 7 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1120725)

**ATIF/REFERENCE:** Sepil, A., Çavuş, A. & İlmen Çevik, S. (2022). Microscopic Evaluation of Balloon Variety Jack Dempsey (*Rocio octofasciata* Regan, 1903) Larval Ontogeny. *European Journal of Science and Technology*, (38), 398-405.

## Abstract

In this study, it was aimed to determine the larval ontogeny of the balloon Jack Dempsey (*Rocio octofasciata* Regan, 1903) on the Atlantic slopes from Southern Mexico (Papaloapán River) to Honduras (Ulua River). In addition, embryonic and larval developmental stages were evaluated microscopically. Experiments were performed with 25 broodstock fishes (20 females-5 males) and their reproduction was carried out after the appropriate adaptation period. The ellipsoidal and transparent eggs were found to be short axis with an average of  $973.2 \pm 21.7 \mu\text{m}$  and long axis with an average of  $2159 \pm 84.5 \mu\text{m}$  (n:60). Eggs have started to hatch at  $27.30 \pm 0.41^\circ\text{C}$  approximately 52 hours after spawning. It was determined that the total length of the newly hatched larvae was around  $3220 \pm 20 \mu\text{m}$  (n:30), they started to feed exogenously 6 days after hatching and they started to take particulate and powder feeds at the end of 21 days after hatching. The early-stage growth formula calculated with Jack Dempsey's exponential relationship model is  $y = 4.097e^{0.052x}$  ( $R^2 = 0.8669$ , n=30).

**Keywords:** Fish Evaluation, Fish Larvae Ontogeny, *Rocio octofasciata*, Jack Dempsey Fish.

## Balon Jack Dempsey'in (*Rocio octofasciata* Regan, 1903) Larval Ontogenisinin Mikroskopik Değerlendirilmesi

### Öz

Bu çalışmada, Atlantik'te Güney Meksika'dan (Papaloapán Nehri) Honduras'a (Ulua Nehri) kadar yayılış gösteren balon Jack Dempsey (*Rocio octofasciata* Regan, 1903) balığının larval ontogenisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla beraber, embriyonik ve larval gelişim aşamaları mikroskopik olarak değerlendirilmiştir. Denemeler 25 adet anaç balık kullanılarak (20 dişi-5 erkek) gerçekleştirilmiş ve uygun adaptasyon süresinden sonra üremeleri gerçekleştirilmiştir. Elips şeklinde ve şeffaf yapıda olan yumurtaların çapları kısa ekseninde ortalama  $973.2 \pm 21.7 \mu\text{m}$ , uzun ekseninde ortalama  $2159 \pm 84.5 \mu\text{m}$  (n:60) olarak bulunmuştur. Yumurtlamadan yaklaşık 52 saat sonra  $27.30 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 'de yumurtalar açılmaya başlamıştır. Yumurtadan yeni çıkan larvaların total boylarının  $3220 \pm 20 \mu\text{m}$  (n:30) civarında olduğu, kuluçkadan 6 gün sonra eksojen beslenmeye başladıkları, 21 gün sonra partikül ve toz yemler almaya başladıkları belirlenmiştir. Jack Dempsey'nin üstel ilişki modeliyle hesaplanan erken evre büyüme formülü  $y = 4.097e^{0.052x}$ 'tir ( $R^2 = 0.8669$ , n=30).

**Anahtar Kelimeler:** Balık Değerlendirme, Balık Larvası Ontogenisi, *Rocio octofasciata*, Jack Dempsey Balığı.

\* Corresponding Author: [a.gultekin@yyu.edu.tr](mailto:a.gultekin@yyu.edu.tr)

## 1. Introduction

In the taxonomic hierarchy, *Rocio octofasciata* is in the genus *Rocio*, in the family Cichlidae, in the suborder Labroidei, in the order Perciformes, in the suborder Acanthopterygii, in the class Teleostei, in the superclass Actinopterygii (Anonymous, 2022a). *Rocio octofasciata* was named Jack Dempsey in the world, Silmlaik-juveelahven in Estonia, Helmikirjoahven in Finland, Achtbindenbuntbarsch in Germany, Mojarra castarrica and Riquiraqui in Mexico, Pielegnica niebieskoluska in Poland (Anonymous, 2022b). *R. octofasciata*, which lives in freshwater and benthopelagic, is distributed tropically (21°N - 14°N) in North and Central America. It is one of the neotropical cichlids (Mendoza-Palmero et al., 2019). The quality of the waters where *R. octofasciata* lives is between 22°C-30°C, pH 7.0-8.0, and dH 9-20 (Anonymous 2022c).

Body size data for Jack Dempsey cichlids are a maximum length of 250 mm TL, average length of 7.5 cm TL, and log<sub>10</sub> body size of 2.398 (Page and Burr, 1991; Hugg, 1996; Steele, 2018). The number of dorsal spine rays, dorsal soft rays, anal spine rays and anal soft rays is 17-19, 8-10, 8-9 and 7-9, respectively. This species has about 15 aligned spots on sides that are smaller than scales. In the species, the abdomen is predominantly whitish or greyish (Anonymous 2022c).

In spite of the fact that aquaculture is ordinarily seen as a hobby, it has become an important sector concerning aquaculture, which arouses the interest of millions of people in various parts of the earth and has a very high profit. Thus, in recent years, important large-scale producers have started to emerge in many countries of the world (Hekimoğlu, 2006). Parallel to the increase in the diversity of species in the aquarium sector, the materials used in the aquarium setup and maintenance, equipment such as filtration, lighting and water regulating chemicals have created a new commercial field brought by the sector. This situation has further expanded the trade volume of the sector on a global scale (Alpaz, 1993; Hunt and Koca, 2014).

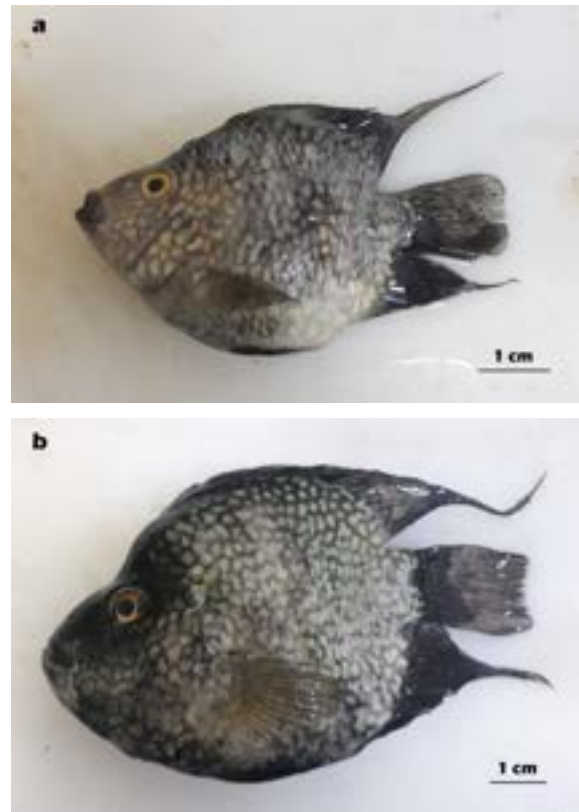
In ornamental fish culture, losses happen most frequently in the early larval stages. For this reason, it is very important to know the larval development stages well. Fish larvae are generally transparent in their developmental processes up to the postlarval stage. During this period, microscopes should be used in ontogeny studies. It is important to use microscopic methods to determine the early stage feeding procedures of larvae, monitor metamorphosis, to determine the stages such as mouth opening, swim bladder formation, differentiation of the digestive tract and formation of the functional stomach.

For the sustainability of aquarium fish that have already been caught, the production methods of the fish should be fully revealed. Thus, it should be ensured that no more fishing is done. For this reason, egg and embryological development of *R. octofasciata*, which has a relevant place in aquarium fish trading, have been revealed. To shed light on those who will work on this subject in the future, allometric growth curves and microscopic monitoring, which have not been included in recent studies, are presented in this article. In the present study, embryonic and early life stage larval development, and allometric growth measurements of Jack Dempsey fishes were examined microscopically.

## 2. Material and Method

### 2.1. Fish Material

The broodstock fishes that have reached sexual maturity and have a total length of 7.03±0.6 cm in females and 10.09±1.1 cm in males were used (Figure 1.). In total, 5 glass aquariums with a volume of 250 litres, each with 4 females and 1 male, were used for breeding trials. Lots of rocks and stones have been placed on the floor and suitable breeding areas have been created due to the territorial behaviour of cichlids. Commercial flake and granulated feeds were used at certain rates (80% Tetra discus granulate and 20% Tetra pro-energy flakes) in feeding approximately 4% of body weight twice a day (Ghosh et al., 2008). Freeze-dried bloodworms were also fed to adapt the fishes to granular and flake baits. Water temperature in breeding aquariums was 28.13±1.10 °C, pH 7.87±0.27, EC 1716±24 µS/cm, salinity 0.11±0.01 mg/L and DO 6.87±0.15 mg/L during the acclimation process. Eggs and larvae of fishes, which were reproduced after a certain adaptation period, were examined microscopically and also some allometric growth parameters were measured.



**Figure 1.** Broodstock fishes used for breeding trials (a: female, b: male).

#### 2.1.1. Spawning of Broodstock Fishes

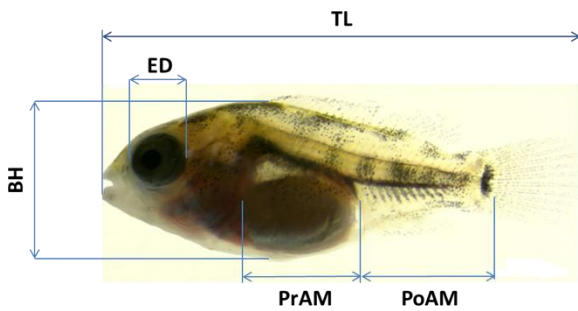
Breeding was carried out in 250 L glass aquariums with a water temperature of 27.30±0.41 °C, EC 21.1±1.2 µS/cm and pH 6.10±0.21 and DO 7.17±0.11 mg/L after 3 months of conditioning. After the eggs were observed on the aquarium bottom, the broodstocks were taken from the breeding tank and sampling was carried out here.

#### 2.1.2. Egg and larva sampling

The first day of egg hatching was accepted as the first day of the larvae. Eggs taken from the same broodstock fishes in a

single batch were sampled at 6, 12, 30, 47 and 52<sup>th</sup> hours and just before egg hatching. And also larvae were sampled every day in the first 10 days, from the 10<sup>th</sup> day until the 21<sup>st</sup> day, once every 2 days (n:60). Randomly selected eggs and larvae were examined under a light microscope to determine embryonic and larval developmental stages according to Önal et al., (2008), Santos et al., (2016) and Aminaghie and Esmaili (2017).

Morphometric measurements were performed using ToupView and ImageJ 1.46 software. The first egg diameter, the pigmentation pattern is seen in the egg and larva, the egg hatching period and developmental stages, the first larva size, the absorption time of the yolk sac, the opening of the mouth and anus and the length of the first mouth opening were revealed. Mouth gap sizes were examined in fish larvae when the first exogenous feeding begins, the perpendicular distance between the jaws and the distance between the horizontal hinges were measured at the position where the mouth was wide open, as noted in Cunha and Planas, (1999), Ramezani-Fard et al., (2011) and Riar et al., (2018). In addition, allometric growth parameters (total length (TL), eye diameter (ED), Pre-anal myomere length, (PrAM) Post-anal myomere length (PoAM) and Body Back Height (BH) changes were determined for the sampling days (Figure 2).



**Figure 2.** Symbols for Certain Metrical Growth Characters on Fish Larvae (TL: total length, PoAM: Post-anal myomere length, PrAM: Pre-anal myomere length, ED: eye diameter, BH: Back height).

BH parameters were measured as the increase in back height and massing of the body as in the balloon variety is an important distinction.

Allometric growth models were described by linear regression formulas which were stated by correlating related body regions with total length (TL) (Fuiman, 1983; Gisbert et al., 2002; Çelik et al., 2011). Morphometric growth characters considering total length proportions were scored utilising the allometric equation  $Y = aX^b$ . (Y= Measured character, X= Independent variable (TL), a= Intersection point and b= Growth coefficient).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Egg structure and reproductive characteristics

Totally 9 times spawning was carried out at different times for each of the groups during the trial. It has been observed that egg-laying was completed in 6-7 hours and also it was determined that the eggs were elliptical in shape, sticky and transparent. It has been reported that the egg-laying takes 1 hour in green terror cichlids (*Aequidens rivulatus*) (Güngör, 2012), 1.5 hours in jaguar cichlids (*Parachromis managuensis*) (Arik,

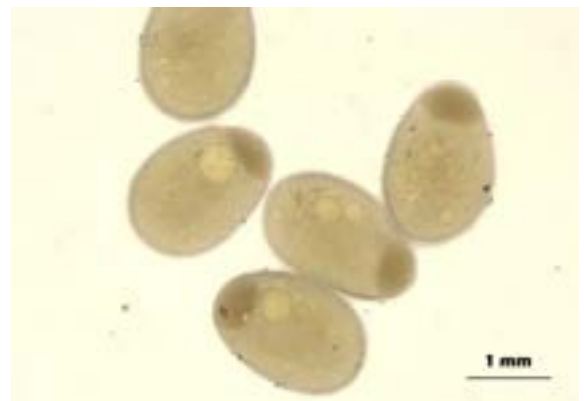
2013), and 1-1.5 hours in discus fishes (*Symphodon aequifasciatus*) (Erik, 2012). Compared to the studies, it was determined that the egg-laying period was longer in this study.

In the samples examined within the first 1-3 hours from the eggs and it was determined that the egg diameter average was  $973.2 \pm 21.7 \mu\text{m}$  and also long axis average was  $2159 \pm 84.5 \mu\text{m}$  (n:60). The short and long axes were  $1.47 \pm 0.03 \text{ mm}$  and  $1.92 \pm 0.05 \text{ mm}$  in the Jaguar cichlid (Arik, 2013);  $1.22 \pm 0.08 \text{ mm}$  and  $1.61 \pm 0.09 \text{ mm}$  in zebra cichlids (Bayraklı et al. 2001);  $1.25 \pm 0.05 \text{ mm}$  and  $1.65 \pm 0.05 \text{ mm}$  in *Cichlasoma dimerus* (Mejjide and Guerrero 2000);  $0.80\text{-}1.00 \text{ mm}$  and  $1.00\text{-}1.20 \text{ mm}$  in discus (Çelik 2008);  $1.19 \pm 0.02 \text{ mm}$  and  $1.77 \pm 0.02 \text{ mm}$  in discus (Erik 2012);  $1.17 \text{ mm}$  and  $1.43 \text{ mm}$  in angelfish (Korzelecka-Orkisz et al. 2012);  $0.93\text{-}1.20 \text{ mm}$  and  $1.25\text{-}1.54 \text{ mm}$  in angelfish (Dalgıç 2002);  $1.45 \pm 0.05 \text{ mm}$  and  $1.86 \pm 0.04 \text{ mm}$  in green terror cichlid (Güngör 2012), respectively. The egg form in this study was determined to be more elliptical when compared to other studies.

In addition, the eggs contain 4 round shape oil drops, one larger than the other droplets (Figure 3). Fecundity was found as an average of  $495 \pm 153.1$  eggs with a minimum of 285 and a maximum of 690 all of the reproduction trials (n:9). Although the amount of eggs was low in the first laying, fecundity increased in later reproductions.

In the study, embryonic and larval development was investigated in  $495 \pm 153.1$  eggs obtained from these fish. Arik (2013) in  $1236 \pm 187.40$  eggs of jaguar cichlids (*Parachromis managuensis*), Güngör (2012) in  $527 \pm 70$  eggs of green terror cichlids (*Aequidens rivulatus*), Dalgıç (2002) in 185 eggs of angelfish (*Pterophyllum scalare*), Erik (2012) in 182 eggs of discus (*Symphodon aequifasciatus*), and Bayraklı (2001) in 136 eggs of zebra cichlids (*Cichlasoma nigrofasciatum*) investigated stages of embryonic and larval development. The number of eggs used in the study was found to be sufficient when compared with other researchers.

It has been detected the water temperature values directly affect the egg hatching time in the decapsulation of eggs. Eggs hatched in 52 hours at  $28.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , and 59 hours at  $26.9 \text{ }^\circ\text{C}$  in trials.



**Figure 3.** Egg shape and oil droplets.

#### 3.2. Microscopy of embryonic development

Microscopic images of the embryological development stages of eggs are given in Figure 4 and details about the stage of the eggs are in Table 1. In this research, each egg was gathered from a single batch of eggs.

In the study, the pre-hatching took place between 47-52 hours (Table 1). In some studies prehatching took place between 49 hours 30 minutes and 70 hours (Arik, 2013), at 57 hours (Erik, 2012), at 75 hours 30 minutes (Güngör, 2012), at 48

hours, (Bindu and Padmakumar, 2012), at 56 hours (Bayraklı et al., 2001), at 59 hours (Dalgıç, 2002), at 53 hours (Mejjide and Guerrero, 2000), at 23 hours (Fijimura and Okada, 2007), and at 21 hours 20 minutes Korzelecka-Orkisz et al. (2012).

Table 1. Explanations of the embryonic development stages

Figures	Descriptions/Measurements
a	12 <sup>th</sup> hour, Sphere stage the blastodisc gradually flattens, VD <sub>Avg</sub> : LA:1985±21 µm, SA: 1289±34 µm, multi-cell (>64) formation-early morula stage, CD <sub>Avg</sub> : LA: 2279±14 µm, SA: 1759±26 µm, PS 85.2±4.2 µm
b	28-30 <sup>th</sup> hour, 2 somite formation, %90 epiboly shape, VD <sub>Avg</sub> : LA: 1709±44 µm, SA: 1280±62 µm, CD <sub>Avg</sub> : LA: 2052±24 µm, SA: 1440±70 µm
c	47 <sup>th</sup> hour, embryo formation, 16 somite stage, CD: LA: 2072 µm, SA: 1566 µm
d	47-52 <sup>th</sup> hour, embryo formation, Pre-hatching, 24 somite stage ED <sub>Avg</sub> : LA: 1296±52 µm, SA: 873±14 µm

\*VD: Vitellus diameter, CD: Chorion diameter, ED: Egg diameter, LA: Long axis, SA: Short axis, Avg: average.

\*\* Eggs given embryonic development stages were incubated at 28.3 °C and hatched in 52 hours.

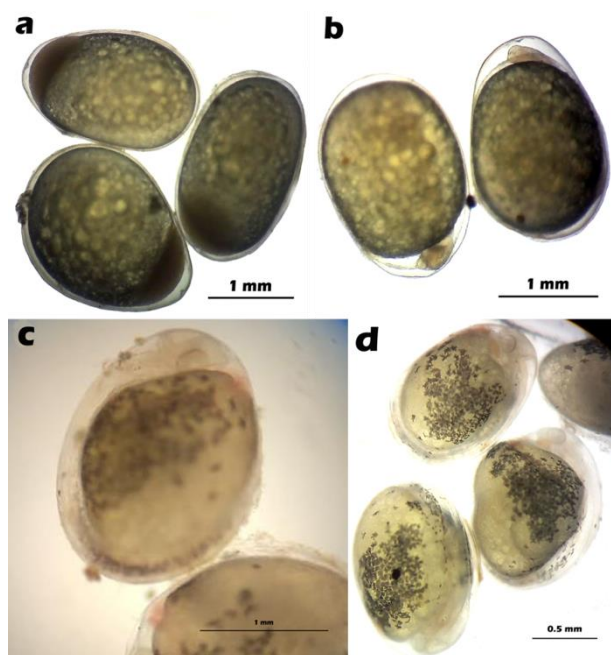


Figure 4. Eggs developmental stages from newly laid eggs to the 52<sup>nd</sup> hour.

(a: 12<sup>th</sup> hour (sphere stage), b: 28-30<sup>th</sup> hour, c: 45-47<sup>th</sup> hour, d: 47-52<sup>th</sup> hour).

### 3.3. Microscopy of larval development

Microscopic images of the sampled larvae are given in Figures 5 and 6. Morphometric growth parameter values such as the first total length of the pre-larvae, the diameter of the yolk sac and the first mouth gap size were measured throughout the development from the first hatching to the post-larval stage (Table 2).

In some studies the first total lengths of the pre-larvae were measured as 4.02±0.53 mm (Arik, 2013), 5.10±0.07 mm (Sezen, 2011), 2.60±0.09 mm (Korzelecka-Orkisz et al., 2012), 3.00±0.01 mm (Sarma et al., 2012), 3.00±0.02 mm (Adebiyi et al., 2013), 3.90 mm (Bindu and Padmakumar, 2012), 3.32±0.10 mm (Mejjide and Guerrero, 2000), 4.26±0.10 mm (Güngör, 2012), 3.03±0.04 mm (Erik, 2012), and 3.46±0.07 mm (Bayraklı et al., 2001).

Some of the water quality values during both egg hatching and larval development stages were measured as pH 8.53±0.4, EC 1846±17 µS/cm, salinity 0.14±0.01 mg/L, DO 7.04±0.12 mg/L and 28.30±1.60 °C. It was determined that the larvae

completely absorbed the yolk sac at the end of the 5 DAH (the day after hatching) and mouth opening occurred at the beginning of the 6 DAH. At the opening of the mouth and anus, the yolk was entirely or just about used up. A newly opened mouth gap size is not suitable for feeding with newly hatched *Artemia* at this stage, so egg yolk was given as the first food. Since egg yolk was seen in the stomach and digestive tract of all larvae, it was decided that the larvae started exogenous feeding at the end of the 6 DAH. It was also noticed that the larvae were mostly immobile on the aquarium floor until 5 DAH, started to swim freely after exogenous feeding and used the entire water column from the 7<sup>th</sup> day. At the end of the 9<sup>th</sup> day, the back height increase, which is seen in the balloon variety, was observed for the first time. It was observed that the swim bladder was single-lobed and also did not show segmentation during all larval development stages.

In some studies, the development of tissues and systems is observed in the early larval stages of fish. Histological and microscopic methods are used for this. With these methods, especially the structural metamorphosis of the digestive system and its transformation into a functional stomach can be determined. (Önal et al., 2008; Ramezani-Fard et al., 2011). These ontogeny methods are specially used for altricial fish larvae.

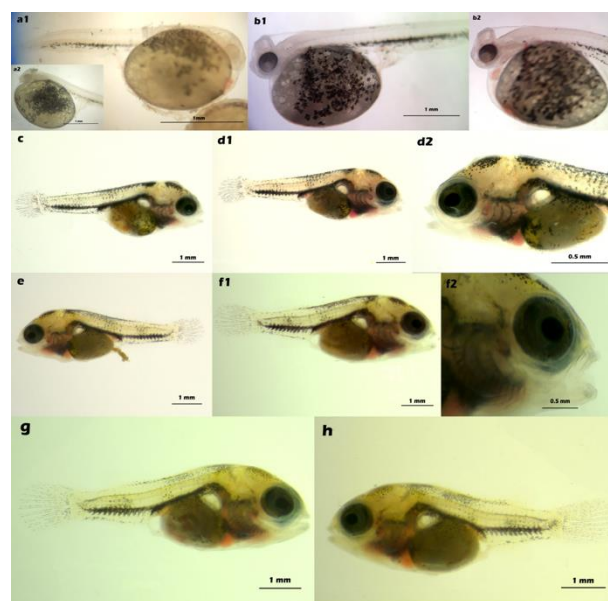


Figure 5. Developmental stages from newly hatched prelarvae to 11<sup>th</sup> day.



(a1-a2: 1<sup>th</sup> hour, b1-b2: 3 DAH, c: 6 DAH, d1-d2: 7 DAH, e: 8 DAH, f1-f2: 9 DAH, g: 10 DAH, h: 11 DAH)

Species-specific pigmentation on both sides along the dorsal and lateral line up to the tail was firstly observed on the 13<sup>th</sup> day.

Table 2. Descriptions of images about morphometric measurements

Figures	Descriptions	Figures	Descriptions
a	1 <sup>th</sup> hour, TL 3204 µm, YD: SA 1396µm, LA 1919 µm	g	10 DAH, TL 7479 µm
b	3 DAH, TL 4415 µm, YD: SA 957µm, LA 1284 µm	h	11 DAH, TL 7633 µm
c	6 DAH, TL 6142 µm, MS 182 µm	i	13 DAH, TL 8563 µm, MS 454 µm
d	7 DAH, TL 6602 µm	i	15 DAH, TL 9450 µm, MS 521 µm
e	8 DAH, TL 6698 µm	j	17 DAH, TL 9510 µm, MS 529 µm
f	9 DAH, TL 7399 µm, MS 360 µm		

\* TL: Total Length, YD: Yolk Sac Diameter, MS: Mouth Gap Size. SA: Short axis, LA: Long axis

\*\* The larvae at the images were kept at 26.9-28.7 °C throughout the sampling.

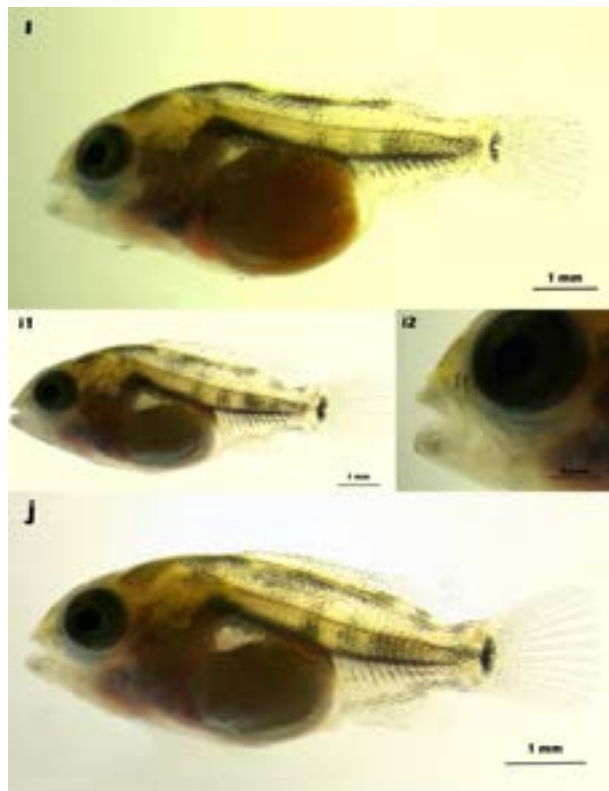


Figure 6. Developmental stages of post-larvae from 13<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> day.

(i: 13 DAH, i1-i2: 15 DAH, j: 17 DAH).

Larvae started to take particulate pellets at the end of the 21<sup>st</sup> day. In line with the data obtained, the early stage

Table 3. Early larval morphometric measurements and feeding protocol up to post-larval stage

DAH	Morphological Measurements/Descriptions (n:30)	Feeding Procedures
1	TL min 3201, max 3255, 3220±20 µm	not exogenous feeding
3	TL min 4303, max 4455, 4404±51µm	not exogenous feeding
6	The yolk sac absorption (Almost all of the larvae) Mouth opening, MS 182±23 µm	Egg yolk
7	TL min 6600, max 6619, 6609±7µm	Egg yolk
8	MS 360±14 µm, TL min 6698, max 6721, 6710±9 µm	Egg yolk
10	TL min 7479, max 7499, 7491±8 µm	Egg yolk +Artemia
13	MS 454±14 µm, TL min 8563, max 8607, 8585±19 µm	Artemia
15	MS 521±11 µm, TL min 9417, max 9450, 9436±12 µm	Artemia
17	MS 529±19 µm, TL min 9510, max 9565, 9530±21 µm	Artemia +Particulate pellets
21	MS 801±30 µm, TL min 9850, max 9889, 9872±15 µm	Particulate pellets

\* TL: Total Length, YD: Yolk Sac Diameter, MS: Mouth Gap Size.

measurement and feeding procedures of the larvae are summarized in Table 3.

The early-stage growth formula of Jack Dempsey calculated with the exponential relationship model is  $y = 4.097e^{0.052x}$  ( $R^2 = 0.8669$ ,  $n=30$ ). 'y' in the formula; means the total length (TL), and x stands for the days (DAH). Growth rates of body characters according to total length were estimated according to the allometric equation  $Y = aX^b$  (Figure 7). From the prelarval stage, ED showed isometric growth, while PrAM and PoAM parameters showed negative allometric growth. And also From the postlarval stage, PrAM and PoAM showed negative allometric growth. BH showed positive allometric growth from the postlarval stage. It has been observed that the body has a balloon appearance by massing, especially from the 9<sup>th</sup> day of the larva.

#### 4. Conclusions and Recommendations

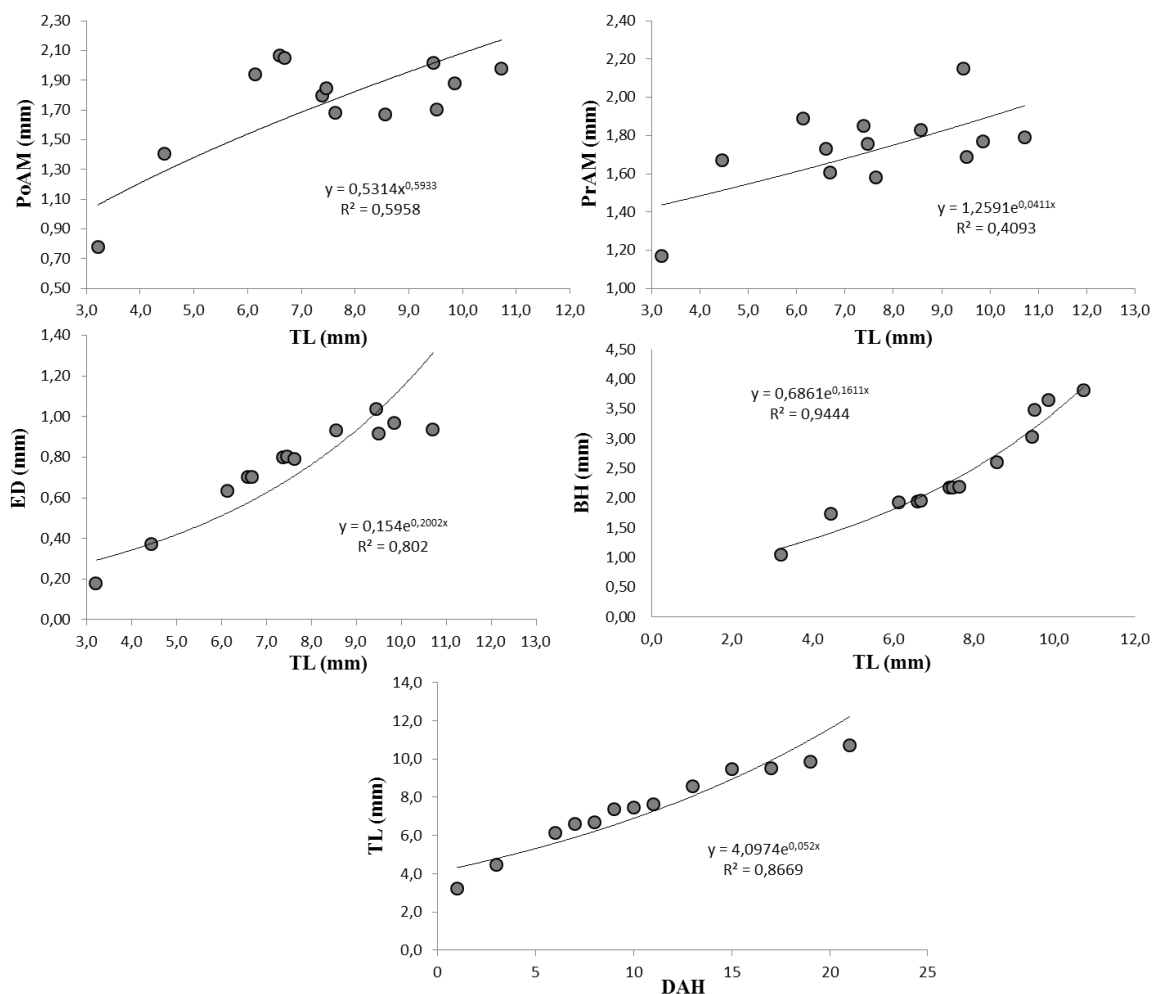
Further developmental studies are needed as its ontogeny may differ greatly among species (Kunz, 2004). Eggs of *R. octofasciata* have an elliptical form, with the longitudinal axis longer than the transverse axis (Figure 4). The egg is encircled by the chorion, a diaphanous cover that clings tightly to the egg (Figure 4). The vitellus (yolk sac) is carved out of broad deep-yellow yolk globules/platelets of diversity dimensions, giving it a grainy view, as for the Jack Dempsey and closely-related Neotropical cichlids (Kunz, 2004; Oldfield, 2011; Chellappa et al., 2005; Kratochwil et al., 2015) (Figures 4a, 4b). The micropyle has a funnel or cone-shaped form. The blastodisc progressively separates from the yolk and forms a more evident, distinctly determined cell at 12 hours. The cytoplasm is uniform, but darker than in another teleost (Kimmel et al., 1995; Meijide and Guerrero, 2000) (Figure 4a).

It is thought that the low amount of eggs in the first reproductions is related to the first egg laying of the broodstocks. Fecundity for the species is stated as 500-800 in previous studies (Riehl and Baensch, 1991; Coleman, 2002). These egg amounts are similar to the fecundity values obtained in the study.

Melanophores seem on the upper of the yolk sac. The pericardial sac develops between the anteriormost area of the yolk and the head area. The embryo slightly lifts the head a little from the yolk (Figure 4c). Some melanophores begin to appear on the dorsal of newly hatched prelarvae (Figure 5a).

After spawning, the eggs adhere to one another and to the substrate with the mucus they secrete. In laboratory conditions, they adhere to petri dishes. Like *Amphilophus xiloensis* (Kratochwil et al., 2015) and *Parachromis managuensis* (Arik, 2013) eggs, Jack Dempsey eggs are sticky and the chorion does not swell during the zygote period.

The timing of larval development of *Oreochromis niloticus*, a species of cichlid, is alike to that of other mouth-brooding tilapias; slower than tilapias that lay eggs on the substrate. In *O. niloticus* 18 stages (stages 1-18) have been described for embryonic development, which is divided into seven stages called zygote, cleavage, blastula, gastrula, segmentation, pharyngula and hatching periods. Seven stages (stages 19-25) have been identified for larval development, which is divided into two stages: early larval and late larval. A pneumatic duct unites the swim bladder to the digestive tract, and the swelling of the swim bladder and the start of feeding happen at approximately the same time (Morrison et al., 2001; Fujimura, and Okada, 2007).



**Figure 7.** Allometric development curves of morphometric characters during the larval developmental stage and their relationship graphs according to the total length.

Longitudinal and transverse axes of eggs of *A. xiloensis* were  $2.14 \pm 0.09$  mm and  $1.42 \pm 0.07$  mm, respectively.

At a water temperature of  $25 \pm 0.5$  °C, cleavage in *Cichlasoma dimerus* is completed in 10 hours and the first somites emerge at 26 hours of development. Larvae hatch at the beginning of the third day. After 5 days, the fry swims freely and starts to take nourishment from the outside. Because the yolk sac is not fully absorbed until after 2 or 3 days, the fry

continues to be fed both endogenously and exogenously for a while. The juvenile phase is achieved on the 42<sup>nd</sup> day after laying (Meijide and Guerrero, 2000).

Alimentation/environmental cases affect muscle build-up in Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) altricial larvae and juveniles. Ontogeny of the pacu sensory system projects the larvae-environment mutual effect. Differentiation of the pacu digestive tract is carried out before the complete metamorphosis. Larval

characteristics regression and skeletal improvement take place in pacu with 20 mm (Portella et al., 2014).

Powder feeds are not given in the early life stages of fish. Because the enzyme activity of the fish is limited and the digestive system is not developed. At this stage, various zooplankton species (*Artemia* sp., *Brachionus plicatilis* and infusoria e.g.) are given. In the first feeding, the live baits to be given are determined according to the size of the mouth gap. Especially, live baits are the highest cost in larval feeding in commercial fish culture (Person Le Ruyet et al., 1993; Önal, 2006). Therefore, determining how long zooplankton feeding will be followed by powder artificial baits depends on the mouth gap size and digestive system. So, these physiological and morphometric developments are closely related to the effective use of microscopic and histological methods in altricial fish larvae ontogeny studies.

In some ornamental fish, water quality parameters (EC, temperature and pH etc.) that have a reproductive trigger effect were determined. When Jack Dempsey was evaluated (27.30±0.41 °C, EC 21.1±1.2 µS/cm, pH 6.10±0.21 and DO 7.17±0.11 mg/L), it was determined that did not need any different special conditions for growth.

Before the absorption of the yolk sac, mouth opening occurs and exogenous feeding begins in larvae (6 DAH). When the larval metamorphosis of *R. octofasciata* is examined, it is seen that the yolk sac is absorbed for relatively long time. Endogenous and exogenous feeding continue together. In the jaguar cichlid (*Parachromis managuensis*) the vitellus absorption that occurs on the 4<sup>th</sup> day has been reported (Arik, 2013).

The newly opening mouth gap size of the larvae (182 µm) is small compared to other species. This situation allows the egg yolk based feeding period (6 DAH). The larvae started to get *Artemia* in 10 DAH and particulate pellets in 17 DAH (Table 3).

About the growth of many ornamental fishes of commercial importance, there is no scientific literature. It is thought that the data on the larval development of the Jack Dempsey, which is a commercially important and popular aquarium fish, will contribute to the knowledge.

In recent years, the ornamental fish trade is a multi-billion dollar industry, with more than 2500 species of fish, mostly freshwater species, found in more than 125 countries (Dey 2016). In general, Jack Dempsey's balloon variety is one of the species with high commercial returns that can be preferred by hobbyists due to its rounded lines and attractive colours. Therein for the aquarium fisheries sector needs to master the larval development of this species.

## 5. Acknowledge

This study was approved by Van Yuzuncu Yıl University, Animal Researches Local Ethic Committee in the season held on 28/04/2022 (decision no. 2022/04-15).

## References

Adebiyi, F. A., Siraj, S. S., Harmin, S. A., & Christianus, A. (2013). Embryonic and larval development of river catfish, *Hemibagrus nemurus* (Valenciennes, 1840). *Assian Journal of Animal and Veterinary Advances* 8 (2): 237-246.

- Alpbaz, A. (1993). Balık ansiklopedisi ve Akvaryum Teknikleri. MAS. Amb., İzmir. 65.
- Aminaghaie, S., & Esmaceli, H. R. (2017): Gonad morphology and histology of an endemic tooth-carp, *Aphanius sophiae* (Heckel, 1847) from Iran. *International Journal of Aquatic Biology*, 5(3), 193-200. <https://doi.org/2322-5270; 2383-0956>
- Anonymous (2022a). [https://itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=T&SN&search\\_value=649458#null](https://itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=T&SN&search_value=649458#null) Date: 10.05.2022, 17:00.
- Anonymous (2022b). <https://www.fishbase.de/ComNames/CommonNamesList.php?ID=3616&GenusName=Rocio&SpeciesName=octofasciat&a&StockCode=3812>. Date: 10.05.2022, 18:00.
- Anonymous (2022c). <https://www.fishbase.de/summary/3616>. Date 15.05.2022, 18:15.
- Arik, R. O. (2013). *Amerika Çiklit balıklarından Jaguar Çiklit (Parachromis managuensis Günther, 1867)' in üremesi, embriyo ve larva gelişiminin incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bayraklı, B., Bilgin, S., Satılmış, H. H., & Bircan, R. (2001). Zebra çiklit (*Cichlasoma nigrofasciatum* Günther, 1868)'in üreme biyolojisi ve yavru gelişimi. XI. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 04-06 Eylül 2001, (2): Hatay.
- Bindu, L., & Padmakumar, K. G. (2012). Breeding behavior and embryonic development in the Orange chromide, *Eetroplus maculatus* (Cichlidae, Bloch 1795). *J. Mar. Biol. Ass. India*, 54 (1), 13-19.
- Chellappa, S., Câmara, M. R., & Verani, J. R. (2005). Ovarian development in the Amazonian red discus, *Symphysodon discus* Heckel (Osteichthyes: Cichlidae). *Brazilian Journal of Biology*, 65, 609-616.
- Coleman, R. (2002). Cichlid egg size data. Cichlid Research homepage. (<http://www.cichlidresearch.com/>), Date of access: 20.06.2022.
- Cunha, I., & Planas, M. (1999). Optimal prey size for early turbot larvae (*Scophthalmus maximus* L.) based on mouth and ingested prey size. *Aquaculture*, 175(1-2), 103-110.
- Çelik, D. (2008). *Diskus balıklarında (Symphysodon spp.) üremeye etki eden faktörlerin belirlenmesi ve larval-jüvenil gelişimin tanımlanması*. Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Çelik, P., Çelik, İ. & Cirik, Ş. (2011). Siyah neon tetra (*Hyphessobrycon herbertaxelrodi*) larvalarının allometrik gelişimi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 20 (1), 25-32.
- Dalgıç, S. (2002). *Melek balıkları (Pterophyllum scalare Lichtenstein, 1823)'nda yumurta ve embriyolojik gelişimin incelenmesi*. Yüksek Lisans, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Sinop.
- Dey, V. K. (2016) The global trade in ornamental fish. *Infofish Int*, 4:52–55. <http://www.infofish.org>.
- Erik, H. (2012). *Diskus balıkları (Symphysodon spp.) yetiştiriciliği*. Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Sinop.
- Fuiman, L. A. (1983). Growth gradients in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 23, 117–123.
- Fujimura, K., & Okada, N. (2007). Development of the embryo, larva and early juvenile of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*

- (Pisces: Cichlidae). Developmental staging system. *Development, growth & differentiation*, 49(4), 301-324.
- Gisbert, E., Merino, G., Muguet, J. B., Bush, D., Piedrahita, R. H., & Conklin, D. E. (2002). Morphological development and allometric growth patterns in hatchery-reared California halibut larvae. *Journal of Fish Biology*, 61(5), 1217-1229.
- Gosh, S.; Sinha, A., & Sahu, C. (2008): Dietary probiotic supplementation in growth and health of live-bearing ornamental fishes. *Aquaculture Nutrition*, 14, 289-299.
- Güngör, F. (2012). *Bir çiklit balığı türü olan Aequidens rivulatus (Günther, 1860)'un üreme ve larval gelişiminin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Ordu.
- Hekimoğlu, M. A. (2006). Akvaryum sektörünün dünyadaki ve Türkiye'deki genel durumu. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1/2), 237-241.
- Hugg, D. O. (1996). MAPFISH georeferenced mapping database. Freshwater and estuarine fishes of North America. *Life Science Software*. Dennis O. and Steven Hugg, 1278. Turkey Point Road, Edgewater, Maryland, USA.
- Hunt, A. Ö. & Koca, Y. (2014). Mersin merkezindeki akvaryum sektörünün genel profilinin çıkarılması üzerine bir çalışma. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 31 (3), 145-150.
- Kimmel, C. B., Ballard, W. W., Kimmel, S. R., Ullmann, B., & Schilling, T. F. (1995). Stages of embryonic development of the zebrafish. *Developmental dynamics*, 203(3), 253-310.
- Korzelecka-Orkisz, A., Szalast, Z., Pawlos, D., Smaruj, I., Tanski, A., Szulc, J., & Formicki, K. (2012). Early ontogenesis of the angelfish, *Pterophyllum scalare* Schultze, 1823, *Neotropical Ichthyology*, 10(3):567-576.
- Kratochwil, C. F., Sefton, M. M., & Meyer, A. (2015). Embryonic and larval development in the Midas cichlid fish species flock (*Amphilophus* spp.): a new evo-devo model for the investigation of adaptive novelties and species differences. *BMC Developmental Biology*, 15(1), 1-15.
- Kunz, Y. W. (2004). *Developmental biology of teleost fishes* (Vol. 636). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Meijide, F. J., & Guerrero, G. A. (2000). Embryonic and larval development of a substrate-brooding cichlid *Cichlasoma dimerus* (Heckel, 1840) under laboratory conditions. *Journal of Zoology*, 252(4), 481-493.
- Mendoza-Palmero, C. A., Blasco-Costa, I., & de León, G. P. P. (2019). Morphological and molecular characterisation of a new species of *Gyrodactylus* von Nordmann, 1832 (Monogeneoidea: Gyrodactylidae) of cichlid fishes (Perciformes) from Mexico. *Parasitology international*, 70, 102-111.
- Morrison, C. M., Miyake, T., & Wright Jr, J. R. (2001). Histological study of the development of the embryo and early larva of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). *Journal of Morphology*, 247(2), 172-195.
- Oldfield, R. G. (2011). Gonad development in Midas cichlids and the evolution of sex change in fishes. *Evolution & Development*, 13(4), 352-360.
- Önal, U. (2006). Balık larvalarının beslenmesinde kullanılan mikropartikül yemler ve potansiyelleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(2), 275-278.
- Önal, U., Langdon, C., & Çelik, İ. (2008). Ontogeny of the digestive tract of larval percula clownfish, *Amphiprion percula* (Lacépède 1802): a histological perspective. *Aquaculture Research*, 39(10), 1077-1086. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01968.x>
- Page, L. M. & Burr, B. M. (1991). *A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico*. Houghton Mifflin Company, Boston. 432 p.
- Person le Ruyet, J., Fischer, C. & Thebaud, L. (1993). Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) weaning and on-growing onto Sevbar. Colloques de l'INRA. 24-27 Haziran 1993, France. 61.
- Portella, M. C., Jomori, R. K., Leitão, N. J., Menossi, O. C. C., Freitas, T. M., Kojima, J. T., ... & Carneiro, D. J. (2014). Larval development of indigenous South American freshwater fish species, with particular reference to pacu (*Piaractus mesopotamicus*): A review. *Aquaculture*, 432, 402-417.
- Ramezani Fard, E., Kamarudin, M. S., Harmin, S. A., Saad, C. R., Abd Satar, M. K., & Daud, S. K. (2011). Ontogenic development of the mouth and digestive tract in larval Malaysian mahseer, *Tor tambroides* Bleeker. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(3), 920-927.
- Riar, M. G., Ara, R., Amin, S. M. N., Kamarudin, M. S., Wahab, M. A., Raushon, N. A., ... & Arshad, A. (2018). Mouth morphological development of Hilsa (*Tenualosa ilisha*) larvae collected from Meghna Estuary, Bangladesh. *Journal of Environmental Biology*, 39(5), 877-882.
- Riehl, R. & Baensch, H. A. (1991). *Aquarien Atlas*. (Band. 1). Melle: Mergus, Verlag für Natur-und Heimtierkunde, Germany. 992 p.
- Santos, A. E., Pedreira, M. M., Santos, T. G., Moura, G. D. S., Santos, J. C. E. D., & Silva, R. C. (2016). Development of the digestive system in larvae of the Neotropical fish *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38 (1): 9-16.
- Sezen, S. (2011). *Kırkgöz kaynağındaki Aphanius mento (Heckel, 1843)'nun embriyolojik ve larval gelişim evrelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Isparta.
- Steele, S. E. (2018). *Body Size Evolution and Diversity of Fishes using the Neotropical Cichlids (Cichlinae) as a Model System* (Doctoral dissertation, University of Toronto (Canada)).



# PEG-DA/Conconavalin A Biyokompozit Hidrojel Sentezi ve Kanser Tedavisi İçin Araştırılması

Sabiha Demirci<sup>1</sup>, Fatma Ayhan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilimdalı, Biyokimya& Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7857-0001), [sabihademirci87@gmail.com](mailto:sabihademirci87@gmail.com)

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilimdalı, Biyokimya& Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2220-4496), [fayhan@mu.edu.tr](mailto:fayhan@mu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 2 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 22 Temmuz 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1125077)

**ATIF/REFERENCE:** Demirci S., Ayhan F., (2022). PEGDA/Conconavalin A Biyokompozit Hidrojel Sentezi ve Kanser Tedavisi İçin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 406-414.

## Öz

Kanser tedavisinde ilaç terapisi önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Conconavalin A(ConA) kanser hücreleri ile etkileşime girebildiği için anti-kanser ilaç çalışmalarında kullanılan bir lektindir. Bu çalışmada, ConA ve polietilen glikol diakrilat (PEGDA) kullanılarak hidrojel sentezi yapılmıştır. Sentezlenen hidrojellerin Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi ( FTIR) ve Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ile karakterizasyonu yapılmıştır. Hidrojellerin karakterizasyonunu incelediğimizde, PEGDA/ConA'nın birbirine entegre olduğu, biyokompozitlerin sentezlendiği gözlenmiştir. Sentezlenen hidrojellerin pH=7,4 ve 1,2'de dinamik şişme davranışları incelenmiştir. Sentezlenen PEGDA/ConA biyokompozit hidrojellerin şişme davranışlarını incelediğimizde yaklaşık 60 dakikada maksimuma ulaştığı gözlenmiştir. PEGDA/ConA hidrojellere geniş spektrumlu bir antibiyotik olan gentamisin yüklenmiş ve gentamisin yüklü hidrojellerin pH=7,4 ve pH=1,2'de ilaç salım davranışları incelenerek, karşılaştırılmıştır. PEGDA/ConA biyokompozit hidrojellerin pH=1,2 ilaç salım davranışlarına bakıldığında 400 dakikada ilaç salımının %15-20 civarında olduğu, pH=7,4'te ise 400 dakikada ilaç salımının %60'larda görülmüştür. Uzun süreli salım çalışmalarında kullanılacak ilaç salım sistemi olarak tasarımının uygun olduğu görülmüştür. Böylece anti-kanser ilaç salımında PEGDA/ConA hidrojellerin kullanılacağı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** PEGDA, Conconavalin A, Biyokompozit, Hidrojel, Kanser Tedavisi.

## PEG-DA/Concanavalin A Biocomposite Hydrogels Synthesis and Investigations for Cancer Therapy

### Abstract

Drug therapy is an important research area in cancer treatment. Conconavalin a (ConA) is a lectin used for anti-cancer drug research because it can interact with cancer cells. In this study, hydrogels was synthesized using ConA and polyethylene glycol diacrylate (PEGDA). Synthesized hydrogels were characterized by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and the Scanning Electron microscope (SEM). When we examined at the characterization of hydrogels, it was observed that PEGDA/ConA was integrated and that biocomposites were synthesized. Dynamic swelling behavior of synthesized hydrogels were studied at pH = 7.4 and 1.2. When we examined the swelling behavior of synthesized PEGDA/ConA hydrogels, it was observed that biocomposite hydrogels reached maximum in approximately 60 minutes. PEGDA/ConA hydrogels were loaded gentamicin, a broad spectrum antibiotic, and drug release behavior of gentamicin loaded hydrogels at pH=7.4 and pH=1.2 were investigated and compared. Considering the drug release behavior of PEGDA/ConA biocomposite hydrogels at pH=1,2, it was observed that the drug release was around 15-20% in 400 minutes, and that the drug release was around 60% in 400 minutes at pH=7,4. It has been found that its design is suitable as a drug delivery system that can be used in long-term release studies. Thus, it has been seen that PEGDA/ConA hydrogels can be used in anti-cancer drug release.

**Keywords:** PEGDA, Conconavalin A, Biocomposite, Hydrogels, Cancer Therapy.

\* Sorumlu Yazar: [fayhan@mu.edu.tr](mailto:fayhan@mu.edu.tr)

## 1. Giriş

Yaşayan sisteme yerleştirilerek organ ve dokuların işlevlerini kısmen veya tümünden üstlenmek üzere tasarılan malzemeler biyomalzemelerdir. Biyomalzemelerin; biyolojik yönden uyumlu olması, toksik ve karsinojenik olmaması, kimyasal açıdan inert ve stabil olması, yeterli mekanik kuvvete sahip olması, yoğun bir yaşama uyum sağlayabilmesi, uygun ağırlık ve yoğunlukta olması, büyük miktarlarda işlenebilme ve fabrikasyon kolaylığı göstermesi, ekonomik olması istenmektedir. Biyomalzeme endüstrisinde en çok polimer malzemelerin üretimi yapılmaktadır. Polimer malzemelerin yapısının dokulara benzerlik göstermesi, yüksek biyouyumluluk ve elastiklik kabiliyetine sahip olmaları araştırmacıları bu alanda çalışmaya sevk etmiştir. Bu amaçla özellikle doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimerlerin kullanımı giderek artmaktadır. (Ramakrishna, 2001; Shoichet, 2010)

Hidrojeller, bir ya da daha fazla monomerin basit reaksiyonuyla ya da zincirler arasındaki güçlü Van der Waals etkileşimleri ve hidrojen bağlarının bir araya gelmesiyle oluşan, suda şişebilen, çapraz bağlı, üç boyutlu yapılardır. Polimer iskeleti ve su olmak üzere iki kısımdan oluşan hidrojellerde, monomerler arası aralık arttıkça hidrojin su içeriği artar. Hidrojeller, yapılarında çok fazla miktarda su bulundurmaları, yumuşak ve esnek olmaları gibi taşıdıkları birçok fiziksel özellikler açısından canlı dokularla karşılaştırıldıklarında çok büyük bir benzerlik göstermektedirler. Bu yüzden son 30 yıldır biyouyumluluğu iyi olduğu için biyomedikal uygulamalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Narayananwamy & Torchilin 2019; Peppas vd.,2000). İlaç sektörü; -Genomik; -Proteomik ve hüresel tanıma araçları; -İlaç hazırlama; Tanı- Teşhis; - POC analizleri; -Laboratuvar analizleri; Ekoloji ve Tarım; -Su ve hava analizleri; -Proses kontrolü; Kimya; -Proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu; -Mikro reaksiyon sistemleri; -Mikro mikserler, mikro ısı değiştiriciler; Medikal; -Doku mühendisliği; -İlaç, hormon, büyüme faktörü vb. Salınımı (Chung vd.,2012).

Polimerlerin ilaç salınımı kontrol etme aracı olarak kullanıldığı salım sistemlere kontrollü ilaç salım sistemleri denir. Sürekli etkili ilaç salım sistemlerinde, ilaç bir polimer yapıdan belli bir süre salınır. Kontrollü ilaç salımı yapılan sistemlerde ise, polimer taşıyıcı ilacın salım mekanizması ve hızı uzun bir süre kontrol edilir. Bu mekanizmada polimerin yapısı değiştirilerek salım mekanizması ve hızı ayarlanabilir. Kontrollü salım yapan sistemler, salım hızına göre değişik gruplar altında incelenebilir. Kontrollü salım sistemleri birçok alanda uygulanmaktadır. Örnek olarak tıp, tarım, besin ve temizlik malzeme alanları verilebilir.

Kontrollü salım sistemlerinin tıp uygulamalarında klinik açıdan önemli yanları şunlardır; İlacın plazma düzeyi, istenilen süre ve terapötik değerde sabit kalır. İlacın sistematik yolla verilmesinin neden olacağı zararlı yan etkiler polimer-ilaç sisteminin yerel uygulaması ile azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. İn vivo yarılanma ömrü kısa olan ilaçların parçalanması önlenir. Büyük dozda ilacın parenteral yolla birçok kerede verilmesi yerine, kontrollü salım sistemleri ile sürekli, az miktarlarda verilmesi hastanın uygulamalardan doğacak sıkıntılarını azaltabilir. Hasta daha kolay uyum sağlayabilir. Bu yöntem ile ilaç verilmesi daha ucuz ve ilaç kaybını önleyici olabilir. İyi bir tıbbi kontrolün bulunmadığı az gelişmiş bölgelerde ilaç kullanımını düzeltilebilir ve kolaylaştırılabilir (Gholamali I.,2021; Sant vd.,2012).

Concanavalin A (ConA), orijinal olarak jack-bean'den (*Canavalia ensiformis*) ekstrakte edilen bir lektindir (karbonhidrat bağlayıcı protein) (Şekil 1). Baklagil lektin ailesinin bir üyesidir. Çeşitli şekerlerde, glikoproteinlerde ve glikolipidlerde bulunan, özellikle dahili ve indirgeyici olmayan terminal  $\alpha$ -D-mannosil ve  $\alpha$ -D-glukosil gruplarında bulunan belirli yapılara spesifik olarak bağlanır. ConA bir bitki mitojenidir ve düzenleyici T hücrelerinin öncülleri dahil olmak üzere dört işlevsel olarak farklı T hücresi popülasyonuna yol açan fare T hücresi alt kümelerini uyarma yeteneğiyle bilinir; insan baskılayıcı T hücrelerinin bir alt kümesi de ConA'ya duyarlıdır. ConA, ticari olarak mevcut olan ilk lektindir ve çeşitli hücrelerin yüzeyindeki glikoproteinleri ve diğer şeker içeren varlıkları karakterize etmek için biyoloji ve biyokimya yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, lektin afinite kromatografisinde glikosile edilmiş makromolekülleri saflaştırmak ve ayrıca çeşitli bağışıklık hücreleri tarafından bağışıklık düzenlemesini incelemek için kullanılır (Elshali vd., 2022; Yi vd., 2021)

Kanser, hücrelerin kontrolsüz büyümesi ve çoğalması ile oluşan bir hastalık sürecidir. Kanser ilaçları; kanser hücreleri ile etkileşime girerek onların büyümesini, çoğalmasını ve dağılmasını önleyen kimyasal maddelerdir. Hücre döngüsünü etkileyerek hücrelerin ölümünü gerçekleştirmektedir. Örneğin doxorubicin kanser hücrelerinin büyümesini yavaşlatan ya da durduran bir antikanser ajandır. Metatroksat, çeşitli kanser tiplerine etki eden bir kemoterapik ajan olarak kullanılmaktadır (Gomez vd., 2021).



Şekil 1. Jack Bean Concanavalin A Tetramerinin Kkristalografik Yapısı. (monomerler sırasıyla camgöbeği, yeşil, kırmızı ve macenta renklidir). Kalsiyum (altın) ve manganez (gri) katyonları küreler olarak tasvir edilmiştir.) (Figure 1.

Crystallographic Structure of the Jack Bean Concanavalin A tetramer. (monomers are colored cyan, green, red, and magenta, respectively). Calcium (gold) and manganese (grey) cations are depicted as spheres.)

Yapılan klinik çalışmalarında, ConA'nın melanoma hücreleri ile etkileşime girebildiği ve anti-kanser uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu sebeple ConA anti-kanser ilaç terapisinde, sensör uygulamalarında ve daha birçok klinik uygulamada kullanılmaktadır. Sunulan bu çalışmada, polietilen glikol diakrilat (PEG-DA) ile farklı oranlarda farklı biyopolimerler konkanavalin A, içeren biyokompozit hidrojel sentezlenmiştir.

Sentezlenen biyokompozit hidrojenlerin farklı yapılarının karakterizasyonu, şişme davranışı ve ilaç yüklemesi yapılarak ilaç salım kinetiklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Sentezlenen biyokompozit hidrojenlerin yapısı görsel, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ve Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu, SEM) ile karakterize edilmiştir. Sentezlenen biyokompozit hidrojenlerin şişme davranışı incelenmiştir. İlaç yüklü biyokompozit hidrojenler sentezlenmiş ve ilaç salım kinetiği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Yapılan çalışmada; hidrojel sentezinde makromer olarak polietilenglikol diakrikat (PEG-DA, Mn: 700), çapraz bağlayıcı olarak etilenglikoldimetakrilat (EGDMA 98%), fotobaşlatıcı olarak 2,2-dimetoksi-2-asetofenon (DMPA 99%), konkanavalin A from Canavalia ensiformis (Jack Bean) Type III (Sigma Aldrich Co.) kullanılmıştır. Model ilaç olarak Gentamisin (80mg/2ml) (İbrahim Ethem) kullanılmıştır. Diğer kimyasallar analitik saflıkta kullanılmıştır.

### 2.2. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojenlerin Sentezi

Hidrojel sentezinde makromer olarak polietilenglikol diakrilat (PEG-DA; Mw:700) ve fotobaşlatıcı olarak 2,2-dimetoksi-2-fenilasetofenon (DMPA) ağırlıkça oranı %0,5 olacak şekilde ilave edilerek manyetik karıştırıcıda 2 saat boyunca karanlık ve oda sıcaklığındaki bir ortamda karıştırılarak ön çözelti hazırlanmıştır.

Bu yapıya ilave edilecek olan konkanavalin A ağırlıkça %1, %0,5 ve %0,1 oranlarında ultra saf su ile ön çözelti olarak hazırlanmıştır. 2 Saat sonra hazırlanan bu ön çözeltilerden son hacime oranı %30 olacak şekilde PEG-DA/DMPA karışımından petrolere aktarılır. Yapıya katılacak olan hazırlanan biyopolimer çözeltilerinden son hacmi tamamlayacak şekilde petrolere aktarılır. Petrilere hazırlanan bu çözelti karışımının içerisine çapraz bağlayıcı oranı % 3 olacak şekilde etilenglikoldimetakrilat (EGDMA) ilavesi yapılarak ortamdan azot geçirilir. Azot geçirilerek hazırlanan petrilere UV ışık altında 365 nm dalga boyunda yaklaşık olarak 10-15 dakika polimerize edilir. UV lamba ile polimerizasyon sırasında ortamdan azot gazı geçirilir.

### 2.3. Sentezlenen hidrojenlerin karakterizasyonu

#### 2.3.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile karakterizasyon

Sentezlenen hidrojenlerin yapısal olarak karakterizasyonunda Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi(FTIR) kullanılmıştır. FTIR ile karakterizasyon için sentezlenen hidrojenler vakum etüvünde kurutulmuştur. Kurutulan hidrojenler KBr ile karıştırılarak pellet haline getirilmiştir. Hazırlanan pelletlerden ölçüm alınarak yapısal karakterizasyon yapılmıştır.

#### 2.3.2. Scanning Electron Microscope (SEM) (Taramalı Elektron Mikroskopu) ile karakterizasyon

Sentezlenen hidrojenlerin yapısal karakterizasyonunda Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu, SEM) ile görüntüleri alınmıştır. SEM ile karakterizasyonda görüntü almak için öncelikle hidrojenlerin iletkenliğini

arttırmada hidrojenlerin yüzeyine ince film halinde altın kaplama yapılmıştır. Altın ile kaplanan hidrojenler SEM cihazı ile görüntülenmiştir. Örneklerin farklı büyütmelerde yüzey ve kesit görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler incelenerek yapısal karakterizasyon yapılmıştır.

### 2.4. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojenlerin Dinamik Şişme Davranışları

Sentezlenen PEGDA/Konkanavalin A hidrojenler tartım sonuçları sabitlenene kadar vakum etüvünde kurutulmuştur. Kurutulmuş farklı oranlarda konkanavalin A içeren hidrojenlerin dinamik şişme davranışları pH=1,2 (sitrat tamponu - sodyum sitrat/sitrik asit) ve pH=7,4 (fosfat tamponu - Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O/ NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ) olmak üzere 2 farklı pH ortamında incelenmiştir. Farklı pH'larda hazırlanan tampon ortamlarına kurumuş olan hidrojenler konularak, 37°C sabit sıcaklık ve 100 vuru/dk sabit çalkalama hızında su banyosunda şişmeleri gözlenmiştir. Şişme denemelerinde belirli aralıklarda ölçüm sabitlenene kadar ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucundaki değerlere göre % şişme hesaplanarak, % şişme-zaman grafiği çizilmiştir.

### 2.5. İlaç yüklü PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojenlerin Sentezi

Model ilaç olarak geniş spektrumlu bir antibiyotik olan gentamisin ile çalışılmıştır. Öncelikle gentamisin için çalışma aralığı taraması yapılmış ve kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. İlaç yüklü hidrojel sentezlerken, hidrojel sentezlemedeki basamaklar takip edilerek aynı işlemler uygulanır. Son basamakta hidrojel sentezinde biyopolimer çözeltisi ilave edilirken ağırlıkça %5 olacak şekilde gentamisin ilave edilerek ilaç yüklü hidrojenlerin sentezi gerçekleştirilmiştir.

### 2.6. İlaç yüklü PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojenlerden İlaç Salımı

İlaç yüklü PEGDA/ konkanavalin A hidrojenler, ilaç yüklü hidrojenlerin sentezlenmesine uygun olarak sentezlenmiştir. Sentez sonrası taze hidrojenler hemen pH=1,2 (sitrat tamponu - sodyum sitrat/sitrik asit) ve pH=7,4 (fosfat tamponu - Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O/NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) tampon ortamlarına konulmuş ve 37°C sabit sıcaklıkta ve 100 vuru/dk sabit hızda sıcak su banyosunda ilaç salım çalışmaları yapılmıştır. İlaç salım çalışmaları için belirli aralıklarda 3 ml tampon alınmıştır. Alınan 3 ml tamponun yerine 3 ml tampon konularak yenileme yapılmıştır. Alınan 3 ml'lik örneklerin UV-Visible Spektrofotometrede 255 nm'de ölçümleri yapılmıştır. Alınan absorbanlara bağlı olarak absorban-zaman grafiği çizilerek, % ilaç salımı hesaplanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin FTIR Karakterizasyonu

Sentezlenen biyokompozit hidrojellerin yapısal olarak karakterizasyonunda Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır. Hidrojellerin FTIR ile karakterizasyonunda; sentezlediğimiz sadece PEG-DA hidrojel ve yapısında biyopolimer olan hidrojeller vakum etüvünde kurulmuştur. Kurutulan hidrojellerden birer örnek alınarak KBr ile pellet basılarak yığın FTIR spektrumları alınmıştır.

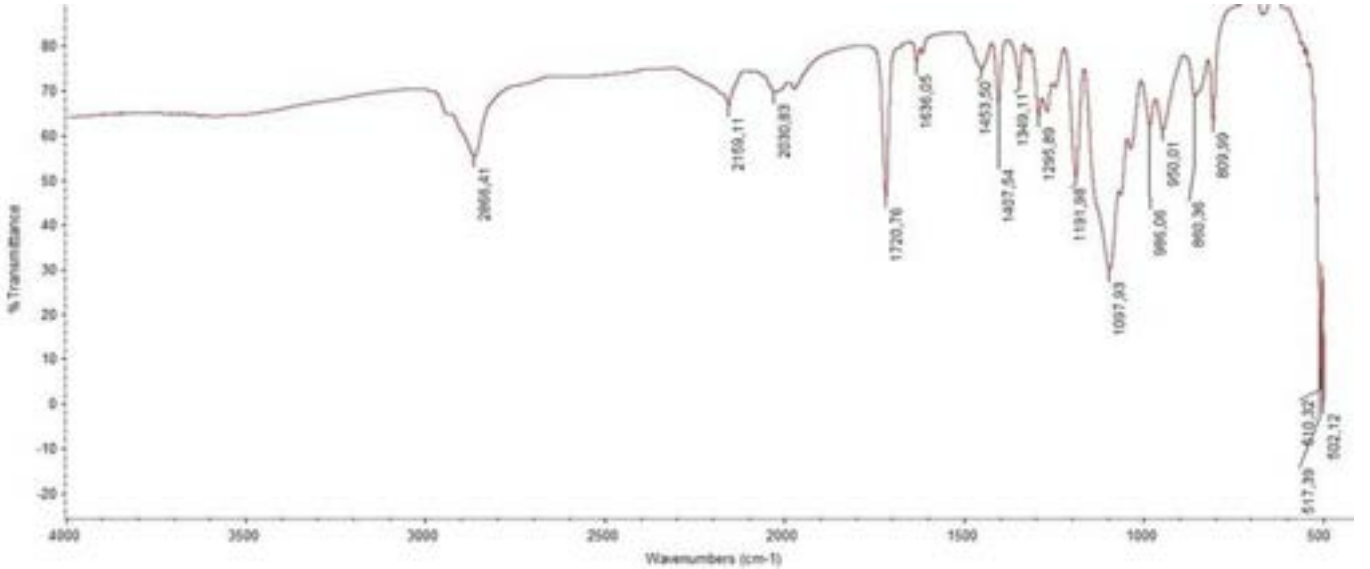
Şekil 2'de sentezlenen sadece PEG-DA içeren hidrojinin FTIR spektrumunu yer almaktadır. PEGDA hidrojinin yapısında yer alan  $2800\text{ cm}^{-1}$ 'lerde  $\text{C-H}$  gerilme titreşim piki ve  $1700\text{ cm}^{-1}$ 'lerde gözlenen esterlerden kaynaklanan  $\text{C=O}$  gerilme titreşimi piki görülmektedir.

Bu pikler Zang ve arkadaşları (2008) ile Hwang ve arkadaşlarının (2013) yaptığı çalışmalarda FTIR spektrumları ile aynı olduğunu göstermektedir. PEGDA'nın yapısında  $\text{-OH}$  grubunun olmaması hidrofobik bir yapıya sahip olduğunu

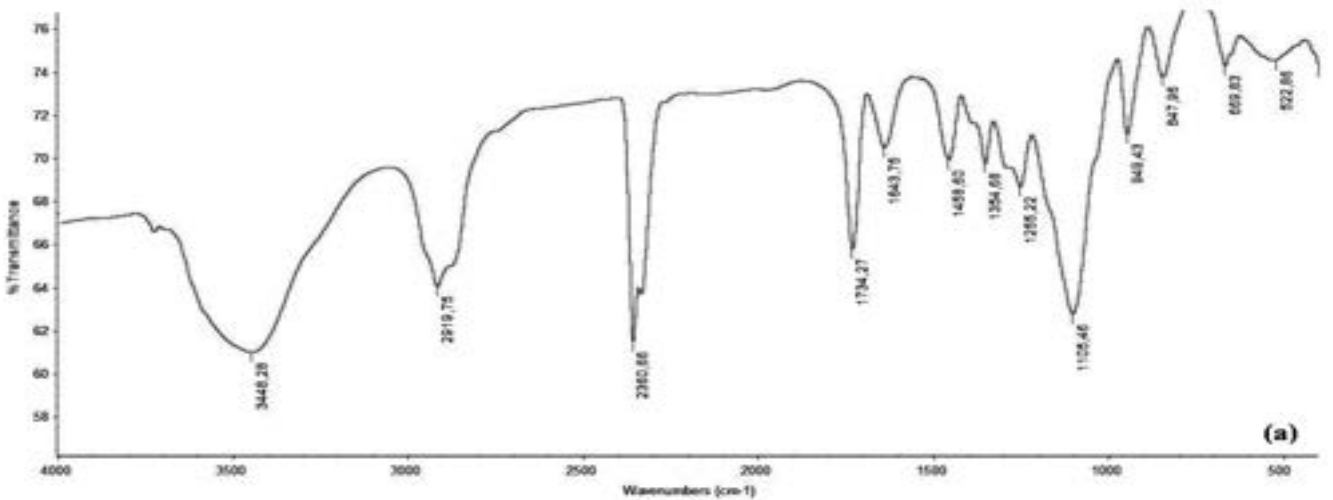
göstermiştir. PEGDA'nın yapısında diğer fonksiyonel grupların olmadığı gözlenmiştir.

PEG-DA/ConA biyokompozit hidrojellerin FTIR spektrumları Şekil 3'de verilmiştir. PEG-DA/Con A biyokompozit hidrojellerinin FTIR spektrumlarını incelediğimizde, yaklaşık  $3506\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen spektrumun  $\text{-CH}_2\text{-NH}_2$  sekonder amid gerilme titreşim piki olarak düşünülmüştür. Ayrıca  $2900\text{ cm}^{-1}$ 'de  $\text{-C-H}$  gerilme pikinin varlığı gözlenmiştir. Bu pikler Con A'nın protein yapısından kaynaklanan pikler olarak düşünülmektedir. Ayrıca  $1730\text{ cm}^{-1}$ 'lerde görülen esterleşmeden kaynaklanan  $\text{C=O}$  pikinin şiddetinin arttığı gözlenmiştir. Novak ve Grdadolnik (2017)'in yaptığı araştırma ile elde ettiğimiz biyokompozit hidrojellerin yapısını karşılaştırdığımızda sonuçların benzerlik gösterdiği görülmüştür

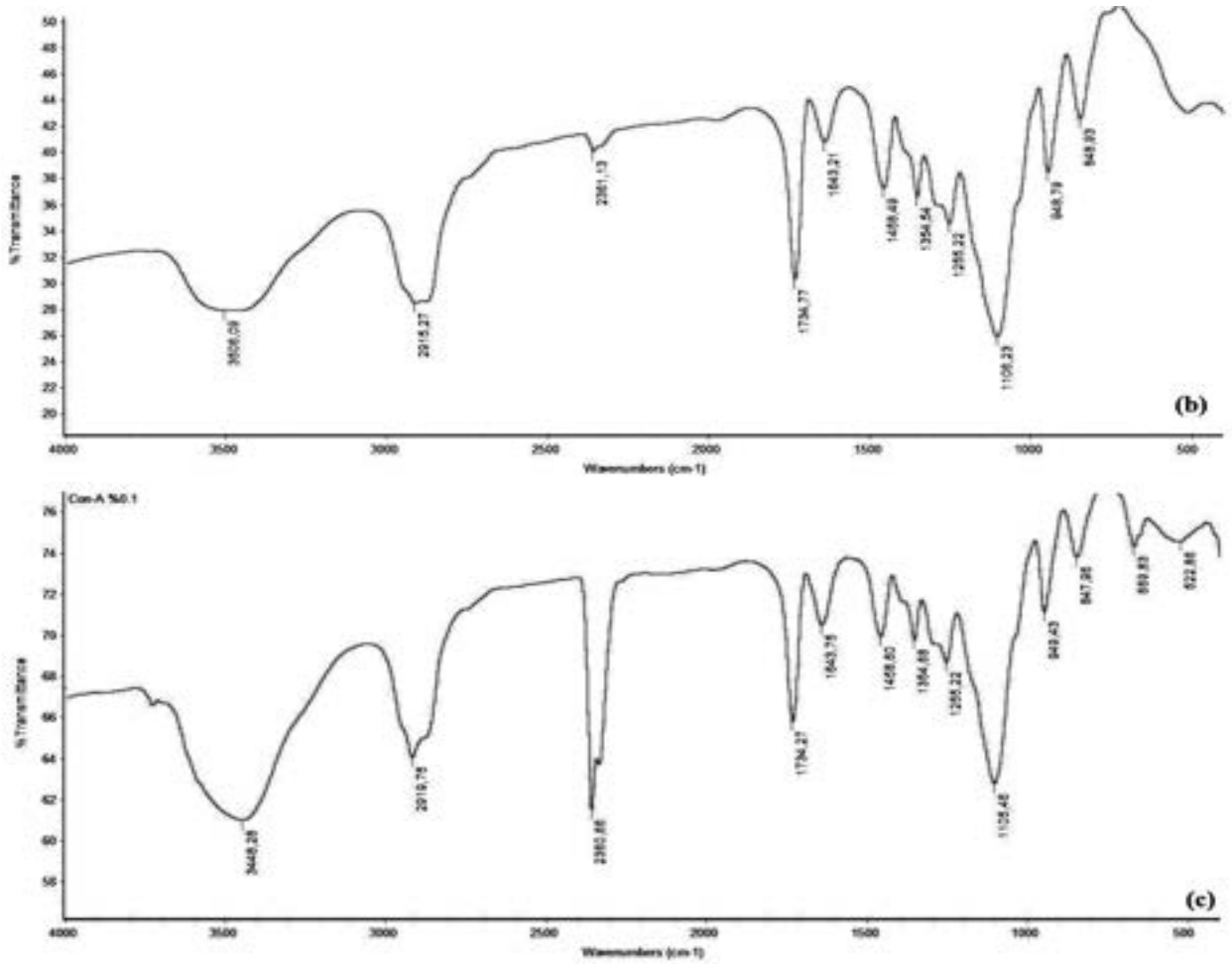
Elde edilen bulguları incelediğimizde, protein yapısında olan Con A'nın jelatine olduğu gibi amid piklerinin spektrumları görülmüştür. Bu sebeple PEG-DA hidrojinin yapısına Con A'nın entegre olduğu düşünülmüştür. PEG-DA/Con A biyokompozit hidrojelleri sentezlediğimizi söyleyebiliriz.



Şekil 2. PEGDA FTIR Spektrum. (Figure 2. FTIR Spectra of PEGDA)







Şekil 3. PEGDA/Con A Biyokompozit Hidrojellerin FTIR Spektrumları. (a) % 0,1; (b) % 0,5; (c) % 1.  
(Figure 3. FTIR Spectra of PEGDA/Con A Biocomposite Hydrogels. (a) 0,1%; (b) 0,5%; (c) 1%)

### 3.2. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin SEM ile karakterizasyonu

PEG-DA/ConA biyokompozit hidrojellerin SEM görüntüleri Şekil 4'de incelenmiştir. SEM fotoğraflarını incelediğimizde; PEG-DA'nın yapısına ConA'nın içiçe geçtiği görülmüştür. Sentezlenen biyokompozit hidrojellerin, jelatin biyokompozit hidrojellerin yapısına benzediği ve yüzey fotoğrafları karşılaştırıldığında benzer yapıda olduğu gözlenmiştir. Yüzey fotoğrafları incelendiğinde, yapının ağısı bir şekilde ve katmanlar halinde olduğu görülmüştür. Yapıya bakıldığında, şişme değerlerinin yapıda fazla boşluk içermediğinden dolayı kısa sürede yüksek değerlere ulaşabileceği söylenebilir. İlaç salımında yapının sıkı olmasından dolayı, ilacın daha yavaş ve uzun süreli salınabileceği söylenebilir.

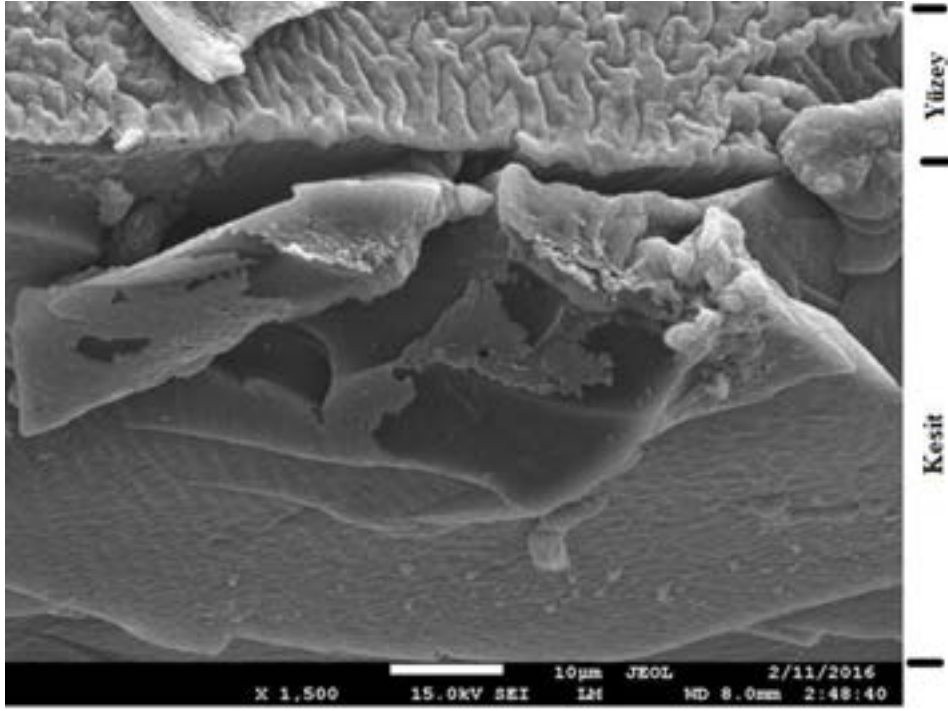
### 3.3. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin Şişme Davranışları

ConA içeren biyokompozit hidrojellerin pH=1,2 ve pH=7,4 ortamlarında şişme davranışları Şekil 5 ve 6'da incelenmiştir. Farklı oranlarda ConA içeren biyokompozit hidrojellerin pH=7,4'te şişme davranışlarını incelediğimizde; % 1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin maksimum şişmeye 60. dakikada ulaştığı görülmüştür. 60. dakikada % 131'lere ulaşarak maksimuma çıkan sonrasında ufak dalgalanmalar meydana gelse de %110'larda dengeye gelmiştir. % 0,5 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojeller 90. dakikada maksimuma ulaşmıştır. Maksimum % 86'ya şiştiği gözlenmiş, sonrasında diğerlerinde

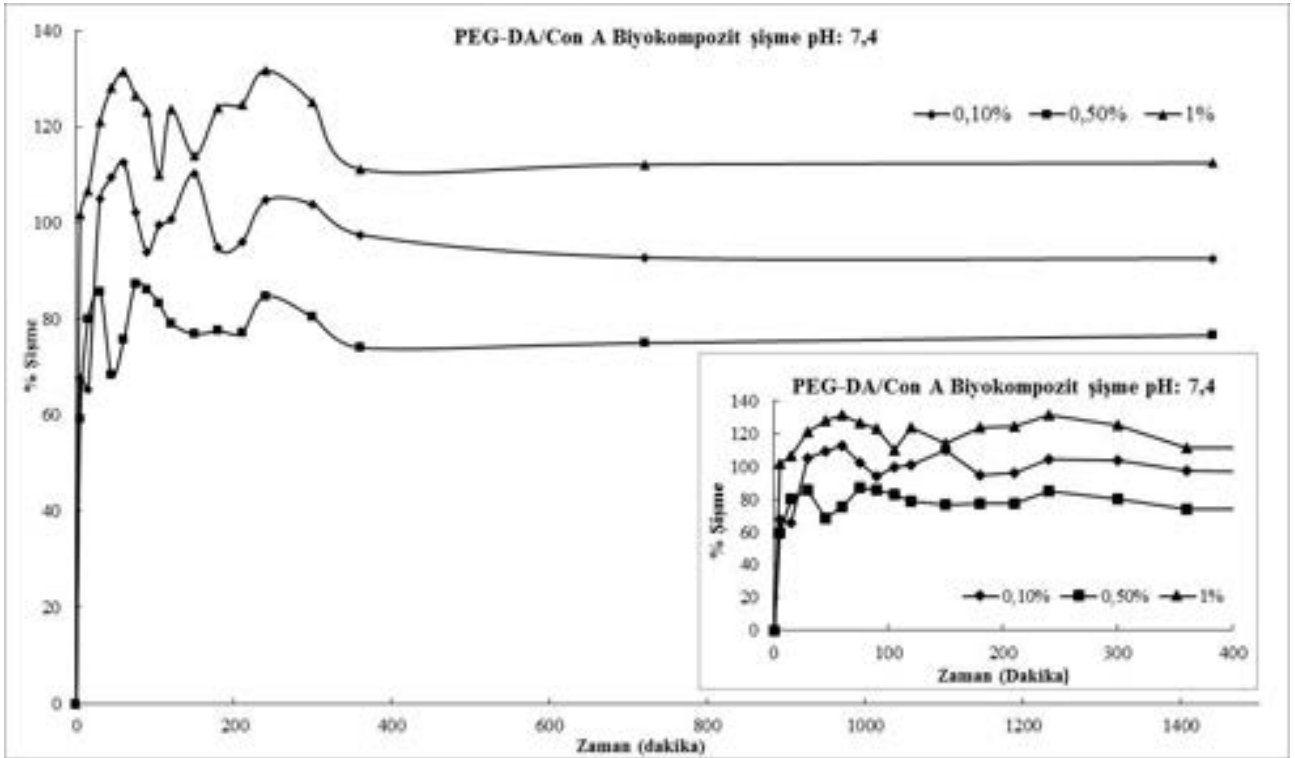
olduğu gibi dalgalanma meydana gelmiş ve şişme yaklaşık olarak %75 civarında dengeye geldiği gözlenmiştir. % 0,1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin şişmede hızlı bir artış davranışı gösterdiği görülmüştür. 60. dakikada yaklaşık % 112 şişerek maksimum şişmeye ulaştığı görülmüştür. Maksimum şişmeden sonra % 90'larda 300. dakikadan sonra dengeye geldiği gözlenmiştir. pH=7,4'te ConA içeren biyokompozit hidrojellerin şişme değerlerinin içerdikleri ConA miktarı ile bağlantılı olmadığı gözlenmiştir.

pH=1,2'de ConA içeren biyokompozit hidrojellerin şişme davranışlarını incelediğimizde; %0,1 ConA içeren biyokompozit hidrojellerin 60. dakikada % 122 şişerek maksimum seviyeye geldiği gözlenmiştir. Sonrasında ufak dalgalanmalar gözlenirse de şişmenin %120 civarında dengelendiği görülmüştür. % 0,5 ConA içeren biyokompozit hidrojellerde şişme 60. dakikada % 120'lerde maksimum şişmeye ulaştığı gözlenmiştir. Sonrasında şişmede dalgalanmalar meydana gelse de şişmenin % 120'lerde dengelendiği görülmüştür. % 1 ConA içeren biyokompozit hidrojellerin 90. dakikada % 107 şiştiği, maksimum şişmeye geldiği görülmüştür. Sonrasında şişme oranının % 100'lerde dengelendiği görülmüştür.

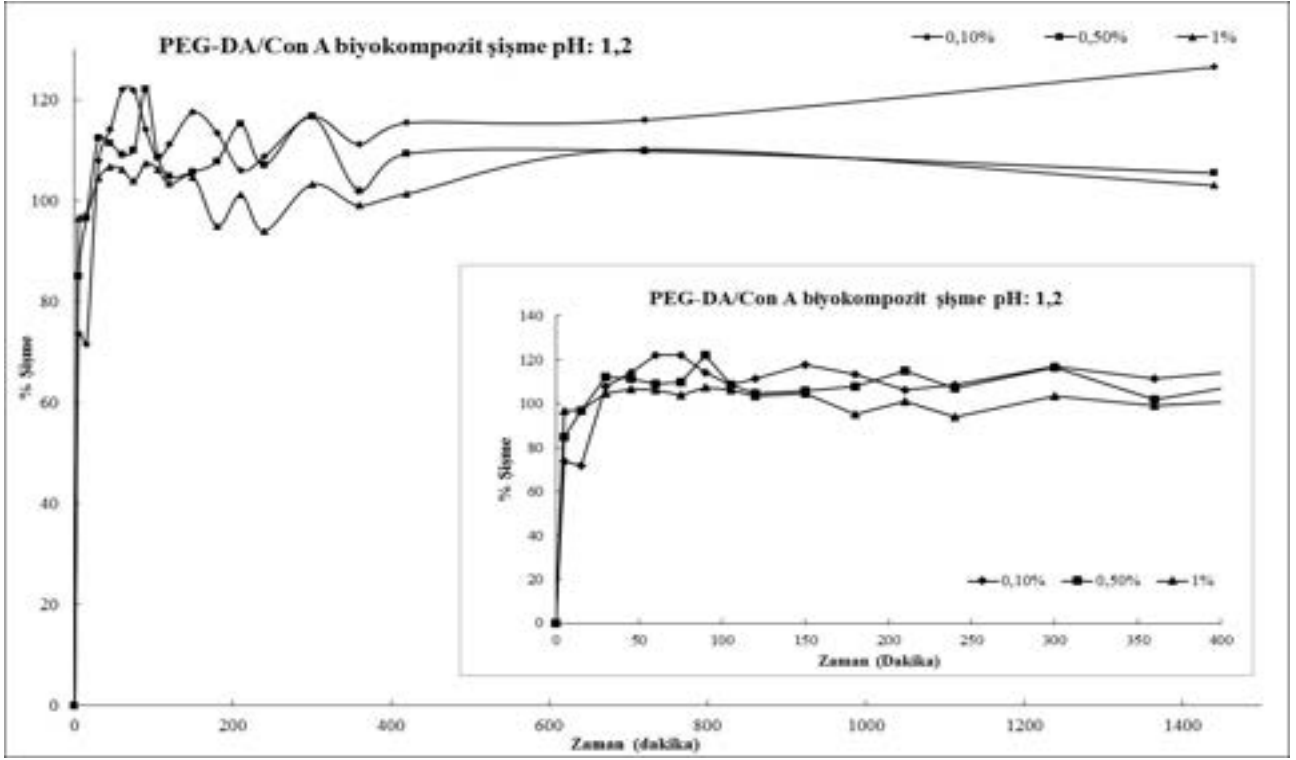
pH=1,2 tamponunda ConA içeren biyokompozit hidrojellerin şişme davranışının içerdikleri ConA miktarı ile orantılı olduğu görülmüştür. % 0,1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin en yüksek şişmeye sahip olduğu, % 1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ise en düşük şişme oranına sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin Yüzey+Kesit 1500x SEM görüntüsü.  
(Figure 4. Surface+Section 1500x SEM image of PEG-DA/ConA Biocomposite Hydrogels)



Şekil 5. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin pH=7,4 Şişme Grafiği.  
(Figure 5. pH=7.4 Swelling Graphic of PEG-DA/ConA Biocomposite Hydrogels.)



Şekil 6. PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin pH: 1,2 Şişme Grafiği  
(Figure 6. pH: 1.2 Swelling Graphic of PEG-DA/ConA Biocomposite Hydrogels.)

### 3.4. İlaç yüklü PEG-DA/ConA Biyokompozit Hidrojellerin ilaç salım davranışları

İlaç yüklü biyokompozit hidrojeller, ilaç yüklü biyokompozit hidrojellerin sentezlenmesine uygun olarak sentezlenmiştir. Sentez sonrası taze hidrojeller hemen pH=1,2 (sitrat tamponu - sodyum sitrat/sitrik asit) ve pH=7,4 (fosfat tamponu -  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) tampon ortamlarına konulmuş ve 37°C sabit sıcaklıkta ve 100 vuru/dk sabit hızda sıcak su banyosunda ilaç salım çalışmaları yapılmıştır. İlaç salım çalışmaları için belirli aralıklarda 3 ml tampon alınmıştır. Alınan 3 ml tamponun yerine 3 ml tampon konularak yenileme yapılmıştır. Alınan 3 ml'lik örneklerin UV-Visible Spektrofotometrede 255 nm'de ölçümleri yapılmıştır. Alınan absorbanslara bağlı olarak absorbans-zaman grafiği çizilerek, % ilaç salımı hesaplanmıştır.

İlaç yüklü ConA içeren biyokompozit hidrojeller sentezlendikten sonra ilaç salım kinetiği çalışmaları yapılmıştır. ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ilaç salım kinetiği şekil 7 ve Şekil 8'de incelenmiştir.

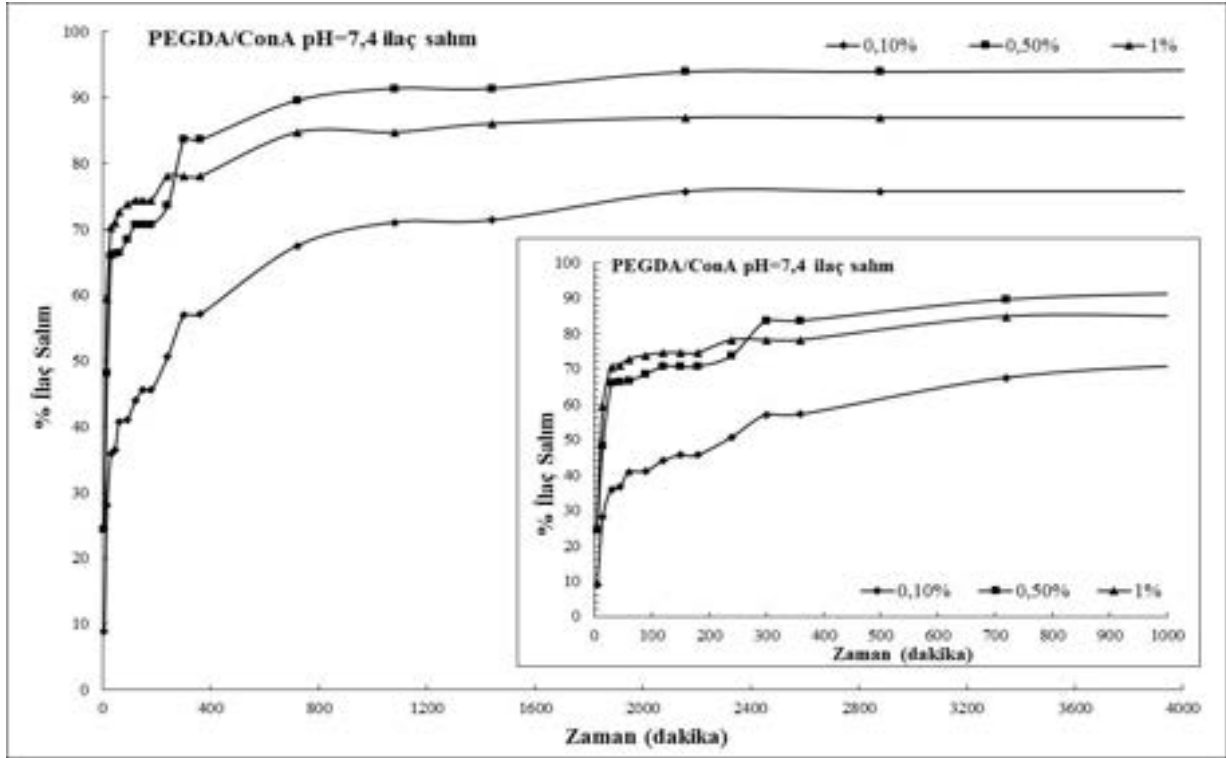
ConA içeren biyokompozit hidrojellerin pH=7,4'te salım davranışını incelediğimizde; salımın yavaş yavaş arttığı gözlenmiştir. Salımın yavaş olduğu, yaklaşık 700. dakikadan sonra salımın yavaşladığı ve salımın %75 - 90 aralığında içerdiği jelatin oranına bağlı olarak dengelendiği gözlenmiştir. % 0,1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ilaç salımında 400. dakika civarında % 60'lara ulaştığı sonrasında ilaç salımının yavaşladığı görülmüştür. Sonrasında salımın % 75'lere ulaştığı ve yavaşladığı gözlenmiştir. %0,5 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ilaç salımına baktığımızda yaklaşık 400. dakikada %85'lere ulaştığı sonrasında % 95'lerde dengeye geldiği görülmüştür. % 1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerden ilaç salımına baktığımızda 400. dakikada salımın

% 80'lere ulaştığı gözlenmiştir. Sonrasında salımın yavaşladığı ve % 85'lerde dengelendiği görülmüştür. pH=7,4'te ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ilaç salımını karşılaştırdığımızda en yüksek değerlere % 0,5 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerin ulaştığı görülmüştür. İlaç salımında içerdikleri ConA oranı ile bir bağlantı gözlenmemiştir.

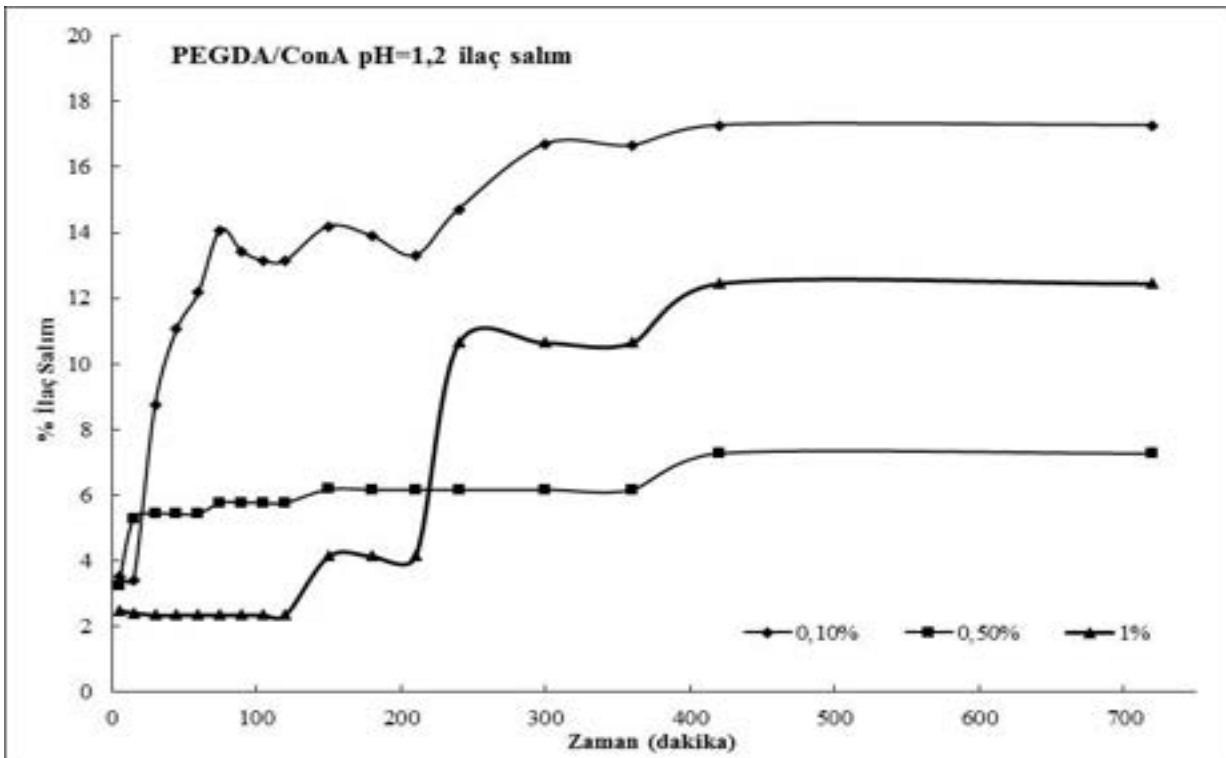
ConA içeren biyokompozit hidrojellerin pH=1,2'de ilaç salım grafiğini incelediğimizde; salımın yavaş gerçekleştiği görülmüştür. % 0,1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojelin ilaç salımına baktığımızda salımın 90. dakikaya kadar arttığı, sonrasında yavaş yavaş gerçekleştiği ve salımın 400. dakikada % 20 civarında dengeye geldiği gözlenmiştir. % 0,5 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerden salımına baktığımızda, ilaç salımının çok yavaş olduğu, 400. dakikada yaklaşık % 8 civarında dengelendiği görülmüştür. % 1 oranında ConA içeren biyokompozit hidrojellerden ilaç salımını incelendiğinde 400. dakikaya kadar kademeli bir şekilde arttığı sonrasında % 13 civarında ilaç salımının dengelendiği gözlenmiştir.

pH=1,2'de ConA içeren biyokompozit ilaç salım çalışmalarına baktığımızda salımın çok yavaş gerçekleştiği gözlenmiştir. Ayrıca içerdikleri ilaç salımında içerdikleri ConA miktarının etkili olmadığı görülmüştür.

ConA içeren biyokompozit hidrojellerin pH=1,2 ve pH=7,4'teki ilaç salımlarını karşılaştırdığımızda pH=7,4'teki salımın daha kısa sürede tamamlandığı görülmüştür. Yaklaşık 800. dakikaya salımın arttığı ve sonrasında ise salımın dengeye gelerek yavaşladığı gözlenmiştir. pH=7,4'te ConA biyokompozit hidrojellerin orta süreli salımda kullanılabileceğini, pH=1,2'de ise ConA içeren biyokompozit hidrojellerin uzun süreli kontrollü ilaç salım sistemlerinde kullanılabileceği gözlenmiştir.



Şekil 7. PEG-DA/ConA pH: 7,4 İlaç Salım Grafiği.  
(Figure 7. PEG-DA/ConA Hydrogels pH: 7.4 Drug Release Graph.)



Şekil 8. PEG-DA/ConA Hidrojel pH: 1,2 İlaç Salım Grafiği.  
(Figure 8. PEG-DA/ConA Hydrogels pH: 7.4 Drug Release Graph.)

## 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada; PEGDA/ConA biyokompozit hidrojenlerin 10-15 dakikada UV polimerizasyon metodu ile sentezlediği gözlenmiştir. PEGDA/ConA biyokompozit hidrojenlerin yapılan FTIR analizlerinde ve SEM görüntülerine bakıldığında iki molekülün yapısının birbirine uyumlandığı, birbiri ile entegre olarak tek bir yapı meydana getirdiği gözlenmiştir.

PEGDA/ConA hidrojenlerin şişme davranışlarını incelediğimizde pH=1,2'de şişmenin %120'de dengelendiği gözlenirken, pH=7,4'te şişmenin %90'larda dengelendiği görülmüştür. pH=1,2'de şişme hidrojenin içerdiği ConA miktarına bağımlıyken, pH=7,4'te hidrojenlerin şişmesinin içerdiği ConA miktarından bağımsız olduğu görülmüştür.

Biyokompozit hidrojenlerden ilaç salım kinetiklerini incelediğimizde, pH=7,4'te salımın 12 saatte %90 ulaştığı ve orta süreli ilaç salımında kullanılabileceği gözlenmiştir. pH=1,2'de ilaç salım kinetiğini incelediğimizde ise; salımın 12 saatte %13 olduğu ve uzun süreli ilaç salımlarında kullanılabileceği görülmüştür.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre; kemoterapi ilaç salım sistemlerinde PEGDA/ConA biyokompozit hidrojenleri hem kanser hücreleri ile etkileşime girebildiği ve hemde pH=1,2'de uzun süreli ilaç salım çalışmalarında kullanılabileceğimiz gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; kullanılan model ilaç gentamisin molekül ağırlığı 477,59 g/mol'dür. Gentamisin molekül ağırlığına yakın olan Mitomycin C (MW:334,33 g/mol), Doxorubicin (Mw: 543,52 g/mol) ve Methotrexate (Mw:454,44 g/mol) gibi anti kanser çalışmalarında kullanılan ilaçların salımında gentamisin salımına benzer özellikte olacağı düşünülmektedir. Gentamisin ile yakın molekül ağırlıklarına sahip kanser tedavisinde kullanılan ilaçların salımı amacıyla sentezlediğimiz PEGDA/ConA biyokompozit hidrojenleri hem yapısındaki Con A hem de ilaçlar sayesinde kanser tedavisinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, BAP (13/168 BAP Projesi) Birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Chung, B.G., Lee, K.-H., Khademhosseini A., Lee S.-H. (2012). Microfluidic fabrication of microengineered hydrogels and their application in tissue engineering. *Lab Chip*, 12, 45-59. DOI: 10.1039/C1LC20859D
- Elshal M.F., Eid N.M., El-Sayed I., El-Sayed W., Al-Karmalawy A.A. (2022). Concanavalin-A Shows Synergistic Cytotoxicity with Tamoxifen via Inducing Apoptosis in Estrogen Receptor-Positive Breast Cancer: In Vitro and Molecular Docking Studies. *Pharmaceutical Sciences*, 2022, 28(1), 76-85. doi:10.34172/PS.2021.22
- Gholamali I. (2021) Stimuli-Responsive Polysaccharide Hydrogels for Biomedical Applications: a Review *Regenerative Engineering and Translational Medicine*, 7:91-114. <https://doi.org/10.1007/s40883-019-00134-1>

- Gomez H.I.O., Martins C.S.M., Prior J. A. V (2021) Silver Nanoparticles as Carriers of Anticancer Drugs for Efficient Target Treatment of Cancer , *Nanomaterials*, 11,964. <https://doi.org/10.3390/nano11040964>
- Hwang C.W, Kwak N.S, Hwang, T.S. (2013). Preparation of poly(GMA-co-PEGDA) microbeads modified with iminodiacetic acid and their indium adsorption properties, *Chemical Engineering Journal*, 226,79-86. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.041>
- Narayanaswamy, R. ve Torchilin V.P. (2019). Hydrogels and Their Applications in Targeted Drug Delivery. *Molecules*, 24(3),603; <https://doi.org/10.3390/molecules24030603>
- Novak U. ve Grdadolnik J. (2017).The Hydration of Concanavalin A studied by infrared spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, 1135, 138-143. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.01.052>
- Peppas, N.A., Bures, P., Leobandung, W., Ichikawa, H. (2000). Hydrogels in pharmaceutical formulation. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*,50: 27-46. Doi: 10.1016/S0939-6411(00)00090-4.
- Ramakrishna, S., Mayer, J., Wintermantel, E., Leong, K. W. (2001). Biomedical Applications of Polymer-Composite Materials: A Review. *Composite Science and Technology*, 61, 1189-1224. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00241-4)
- Sant, S., Tao S.L., Fisher O.Z., Xu Q., Peppas N.A., Khademhosseini A. (2012). Microfabrication Technologies for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64,496-507. DOI: 10.1016/j.addr.2011.11.013
- Shoichet, M.S. (2010). Polymer Scaffolds for Biomaterials Applications. *Macromolecules*, 201, 43, 581-591. <https://doi.org/10.1021/ma901530r>
- Yi, J.Z., Lin K., Wu H. Mao X., Zhang L.M., Yang L. (2021). Smart controlled release of acarbose from glucose-sensitive hydrogels comprising covalently modified carboxylated pullulan and concanavalin A. *Journal of Applied Polymer Science*, 138:e51553. <https://doi.org/10.1002/app.51553>
- Zhang, X., Yang, D., Nie J. (2008). Chitosan/Polyethylene Glycol Diacrylate Films as Potential Wound Dressing Material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43, 456-462. doi:10.1016/j.ijbiomac.2008.08.010.



# Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi

Selçuk Usta<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8970-7333), [susta@yyu.edu.tr](mailto:susta@yyu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 14 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 10 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1130701)

**ATIF/REFERENCE:** Usta, S. (2022). Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 415-427.

## Öz

Bu çalışmada Jensen Haise yöntemi orijinal eşitliğinin (JH\_orijinal) Karadeniz Bölgesi koşullarındaki aylık ortalama referans evapotranspirasyon (ET<sub>o</sub>) tahminlerinde kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi ve yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre bölgenin iklim sınıflandırması yapılmıştır. Daha sonra Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak, her bir iklim sınıfı için modifiye Jensen Haise (JH\_modifiye) eşitlikleri geliştirilmiştir. ET<sub>o</sub> hesaplamalarında bölge şehirlerine ait aylık ortalama sıcaklık, oransal nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi verileri kullanılmıştır (1927 – 2020). JH\_orijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerleri FAO-56 Penman Monteith (PM) eşitliği kullanılarak belirlenen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bölgenin doğusu çok nemli iklim sınıfında yer alırken, kıyı şeridi boyunca batıya doğru iklim nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan iç kesimlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. Çok nemli, nemli, yarı nemli ve yarı kurak – nemli iklim koşulları için FAO-56 PM ile elde edilen yıllık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri sırasıyla 1.779 mm gün<sup>-1</sup>, 2.349 mm gün<sup>-1</sup>, 2.280 mm gün<sup>-1</sup> ve 2.631 mm gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Aynı iklim sınıfları için JH\_orijinal ile tahmin edilen değerler 2.146 mm gün<sup>-1</sup>, 2.697 mm gün<sup>-1</sup>, 2.566 mm gün<sup>-1</sup> ve 2.562 mm gün<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. JH\_modifiye ile tahmin edilen değerler ise sırasıyla 1.775 mm gün<sup>-1</sup>, 2.319 mm gün<sup>-1</sup>, 2.238 mm gün<sup>-1</sup> ve 2.629 mm gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Şehir bazında JH\_orijinal ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerleri için ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) %19.357 – 45.561 aralığında değişmiştir. ET<sub>o</sub> değerlerinin doğruluğu “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde olsa da JH\_orijinal tüm iklim sınıfı koşullarında kötü performans göstermiştir. Bu eşitlik için iklim sınıfı bazında 0.428 – 0.596 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişen ortalama mutlak hata (MAE) kalibrasyondan sonra %62.14 – 92.76 oranında azalarak, JH\_modifiye için 0.031 – 0.205 mm gün<sup>-1</sup> aralığına gerilemiştir. JH\_modifiye en iyi ve en kötü performanslarını sırasıyla çok nemli (MAPE= %2.298) ve yarı nemli (MAPE= %13.631) koşullarda göstermiştir. Nemli ve yarı kurak – nemli koşullardaki performansı ise birbirine yakın olmuştur (MAPE= %8.937 – 9.012). Bu eşitlik kullanılarak tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin doğruluk düzeyi yarı nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfı koşullarında ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir. FAO-56 PM için yeterli veri olmaması durumunda JH\_modifiye eşitliğinin iyi bir alternatif olduğu ve nemli koşullardaki ET<sub>o</sub> tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kalibrasyon, Kuraklık İndeksi, Referans Evapotranspirasyon, Tahmin Modeli.

## Development of Jensen Haise Method Reference Evapotranspiration Estimation Equations Suitable for Black Sea Region Climatic Conditions

### Abstract

In this study, it is aimed to determine the usability level of the original equation (JH\_original) of the Jensen Haise method in the monthly average reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimations in the Black Sea Region conditions and to calibrate it in accordance with the local climatic conditions. First of all, the climate classification of the region was made according to the De Martonne aridity

\* Sorumlu Yazar: [susta@yyu.edu.tr](mailto:susta@yyu.edu.tr)

index method. Then modified Jensen Haise (JH\_modified) equations were developed for each climate class, using the Microsoft Excel program solver add-on.  $ET_o$  calculations were made using monthly average temperature, relative humidity, wind speed and sunshine duration data (1927 – 2020) of the cities in the region. The  $ET_o$  values estimated by the JH\_original and JH\_modified equations were compared with the values determined using the FAO-56 Penman Monteith (PM) equation. While the eastern part of the region is in the very humid climate class, the climate has changed to humid and semi humid towards the west along the coastline. It has been observed that the semi arid – humid climate is dominant in the interior parts, which receive less precipitation compared to the coastal part in region. The annual average  $ET_o$  values obtained with FAO-56 PM for very humid, humid, semi humid and semi arid – humid conditions were determined as 1.779 mm day<sup>-1</sup>, 2.349 mm day<sup>-1</sup>, 2.280 mm day<sup>-1</sup> and 2.631 mm day<sup>-1</sup>, respectively. For the same climate classes, the values estimated with JH\_original were obtained as 2.146 mm day<sup>-1</sup>, 2.697 mm day<sup>-1</sup>, 2.566 mm day<sup>-1</sup> and 2.562 mm day<sup>-1</sup>. The values estimated using JH\_modified were determined as 1.775 mm day<sup>-1</sup>, 2.319 mm day<sup>-1</sup>, 2.238 mm day<sup>-1</sup> and 2.629 mm day<sup>-1</sup>, respectively. The mean absolute percentage error (MAPE) for the  $ET_o$  values estimated using JH\_original varied between %19.357 – 45.561 on the basis of city. Although the accuracy of  $ET_o$  values is “acceptable” (MAPE= 20 – 50%), JH\_original performed poorly in all climate class conditions. For this equation, the mean absolute error (MAE) changed between 0.428 – 0.596 mm day<sup>-1</sup> on the basis of climate class, decreased by 62.14 – 92.76% after calibration and regressed to 0.031 – 0.205 mm day<sup>-1</sup> range for JH\_modified. JH\_modified equation showed the best and worst performances in very humid (MAPE= 2.298%) and semi humid (MAPE= 13.631%) conditions, respectively. Its performance in humid and semi arid – humid conditions was close to each other (MAPE= 8.937 – 9.012). The accuracy of the  $ET_o$  values estimated using this equation was determined as “good” (MAPE= 10 – 20%) in semi humid conditions and “very good” (MAPE ≤ 10%) in other climate class conditions. It was concluded that the JH\_modified equation is a good alternative and can be used to estimate  $ET_o$  in humid conditions in the absence of sufficient data for FAO-56 PM.

**Keywords:** Calibration, Aridity Index, Reference Evapotranspiration, Estimation Model.

## 1. Giriş

Bitki – toprak sistemine yağış ile giren su sırasıyla yüzey akış, sızma, toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşma (evaporasyon, E) ve bitki yaprak yüzeylerinden gerçekleşen terleme (transpirasyon, T) ile kayıplara uğramaktadır. Bu kayıpların toplamı bitki su tüketimi (evapotranspirasyon, ET) olarak tanımlanmaktadır (Güngör & Erözel, 2004). Karasal alana düşen yağış miktarının yaklaşık olarak %62’sinin ET ile atmosfere geri döndüğü tahmin edilmektedir (Dingman, 2008). Bitki türü, gelişim evresi, vejetasyon periyodu gibi bitkiye has özellikler; nem içeriği, tuzluluk oranı, drenaj durumu, verim ve toprak yönetimi gibi toprağa has özellikler; hava sıcaklığı, solar radyasyon, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve oransal nem gibi iklimsel faktörler ET miktarını belirleyen en önemli parametrelerdir (Canlı, 2014). Birçok parametreye bağlı olarak gerçekleşen ET; bitkilerin sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek sulama programlarının hazırlanmasında, sulama ve drenaj sistemlerinin keşif ve fizibilite çalışmaları ile yapımı işletilmesi ve bakımında, gölet ve barajların projelendirilmesi ve işletilmesinde, yağışın yer altı suyu karışan miktarının belirlenmesinde, kuraklığın izlenmesinde, yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesinde, taşkın kontrolünde ve bununla birlikte hidroloji, meteoroloji ve toprak bilimleri kapsamında yapılan birçok çalışmada en temel veri olarak kullanılmaktadır (Kodal, 1982; Güngör & Erözel, 2004).

ET miktarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler doğrudan ölçme yöntemleri ve iklim verilerinden kestirme yöntemleri olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Doğrudan ölçme yöntemleri; tank ve lizimetreler, tarla deneme parselleri, nem azalmasının denetimi, havzaya giren ve çıkan akışın ölçülmesi yöntemleridir. İklim verilerinden kestirme yöntemleri ise mikrometeorolojik yöntemler (Bowen oranı enerji dengesi, Eddy-Kovaryans, Aerodinamik-kütle transferi) ve referans evapotranspirasyona ( $ET_o$ ) dayalı ampirik yöntemlerdir.

ET’nin yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona hareket eden türbülanslı bir ortamdaki gaz moleküllü, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığının düşey doğrultudaki değişimlerine bağlı olarak belirlendiği mikrometeorolojik yöntemler pahalı olmaları

ve ölçme işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir (Şarлак & Bağçacı, 2020). Lizimetre sistemleri kullanılarak ET miktarının belirlenmesi en güvenilir ve en doğru sonucu veren doğrudan ölçme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Ancak lizimetre sistemlerinin kurulum, işletme ve bakım giderlerinin yüksek, ölçme işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle daha çok ET miktarının tahmin edilmesi yolu tercih edilmektedir (Karaca vd., 2017).

ET miktarının tahmin edilmesi amacıyla, önce referans bir bitki için su tüketiminin ( $ET_o$ ) belirlenmesi ve daha sonra bu değerin bitki katsayısı ( $k_c$ ) ile düzeltilerek ET miktarının elde edilmesi yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydişakir vd., 2003). Bu yaklaşımda  $ET_o$ , egemen iklimsel koşullarda yetişen ve yeterli düzeyde sulanan, sağlıklı büyüyen, toprağı tamamen gölgeleyen ve 70 s m<sup>-1</sup> sabit yüzey direncine sahip olan 12 cm yüksekliğindeki çim bitkisinden yansıma değerinin 0.23 olduğu şartlarda gerçekleşen maksimum evapotranspiration miktarı olarak tanımlanmaktadır.  $k_c$  katsayısı ise bitki türüne ve taç yapısına bağlı olarak belirlenen, bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini ve yetiştirildiği yöreyi yansıtan bir katsayıyı ifade etmektedir (Allen vd., 1998). Günümüzde  $ET_o$  tahminlerinde en çok tercih edilen yöntem Penman Monteith yöntemidir (Çetin vd., 2014). Temelleri 1948 yılında atılan ve zaman içerisinde bazı sabitler eklenerek geliştirilen bu yöntem, 1998 yılında referans çim bitkisine uyarlanmış ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 56 sayılı Sulama ve Drenaj Yayını ile Penman Monteith (PM) eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Allen vd., 1998). Bu yöntem kullanılarak gerçeğe en yakın  $ET_o$  değerleri tahmin edilebildiği yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur (Orta vd., 2000; Beyazgül vd., 2000; Lage vd., 2003; Jacobs vd., 2004; Trajković & Gocić, 2010).

FAO-56 PM yönteminde, meteorolojik yer gözlem istasyonlarından ölçülen sıcaklık, oransal nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve topraktaki ısı akışı değişimine dayalı olarak  $ET_o$  tahmin edilebilmektedir. Bu istasyonların tüm dünya üzerinde yeterince yaygın olmaması ve daha çok şehir merkezlerinde bulunması nedeniyle, kırsal bölgelerde bu parametrelerin birçoğu devamlı ve düzenli olarak ölçülememektedir. Ölçme işlemlerinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek, bakım,

onarım ve kalibrasyonlarının zor olması da bir diğer sorunu oluşturmaktadır. Dolayısıyla kırsal bölgelerde FAO-56 PM yöntemine göre daha az sayıda meteorolojik parametre kullanımı gerektiren tahmin yöntemleri tercih edilmektedir. Bu doğrultuda sıcaklığa (Thorntwaite, 1948; Blaney & Criddle, 1950; Hamon, 1961; Romanenko, 1961; Hargreaves, 1975), radyasyona (Makkink, 1957; Jensen & Haise, 1963; Priestly & Taylor, 1972; Doorenbos & Pruitt, 1977; Abtew, 1996), hem sıcaklığa ve hem de radyasyona (Turc, 1961; Hargreaves & Samani, 1985) dayalı çok sayıda tahmin yöntemi geliştirilmiştir.

Tahmin yöntemlerin kullanılabilirlik düzeyleri iklim ve coğrafik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İhtiyaç duydukları meteorolojik parametrelerin farklı olması nedeniyle aynı bölge için uygulandıklarında dahi farklı sonuçlar verebilmektedirler. Dolayısıyla yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarının yapılması gereklidir (Grismer vd. 2002). Birçok bölgede çoğunlukla FAO-56 PM yöntemi referans alınarak çok sayıda kalibrasyon çalışması yapılmıştır (Sousa vd., 2010; Tabari vd., 2013; Samaras vd., 2014; Naorem & Devi, 2014; Tellen, 2017; Şarlak & Bağçacı, 2020; Wang vd., 2019; Okkan & Kıymaz, 2020; Zakeri vd., 2022). Bu çalışmalar kapsamında geliştirilen kalibrasyon eşitlikleri yöre koşullarında ölçülen güncel meteorolojik veriler ile test edilmiş ve doğruluk oranı yüksek ET<sub>o</sub> değerlerinin tahmin edilebildiği ortaya konulmuştur. Benzer şekilde, bu çalışma kapsamında solar radyasyona dayalı Jensen Haise yöntemi orijinal eşitliğinin nemli Karadeniz Bölgesi iklim ve coğrafik koşullarında gerçekleştirilecek aylık ortalama ET<sub>o</sub> tahminlerindeki kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi ve bölge koşullarına uygun kalibrasyon eşitliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Karadeniz Bölgesi doğuda Gürcistan sınırından başlayarak, batıda Sakarya Ovası ile Bilecik'in doğusuna kadar uzanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Karadeniz Bölgesi (Figure 1. Black Sea Region)

Karadeniz Bölgesi 131.218 km<sup>2</sup> yüzey alanı ile Türkiye yüzölçümünün %17'sini oluşturmaktadır. Coğrafi konum olarak 40 – 42° kuzey enlemleri ile 30 – 42.50° doğu boylamları arasında yer alan bu bölgedeki şehirlerin enlem, boylam ve rakım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şehirlerin Enlem, Boylam ve Rakım Değerleri

(Table 1. Latitude, Longitude and Altitude Values of Cities)

Şehir	Enlem (°N)	Boylam (°E)	Rakım (m)
Rize	41.03	40.50	4
Giresun	40.91	38.40	38
Zonguldak	41.45	31.80	136
Bartın	41.58	32.46	14
Ordu	40.98	37.86	4
Düzce	40.91	31.20	120
Trabzon	41.00	39.71	30
Artvin	41.16	41.81	345
Samsun	41.28	36.33	4
Sinop	42.03	35.16	32
Kastamonu	41.36	33.76	799
Bolu	40.73	31.60	742
Bayburt	40.26	40.25	1550
Karabük	41.21	32.62	265
Gümüşhane	40.46	39.47	1180
Çorum	40.55	34.96	837
Amasya	40.65	35.84	398
Tokat	40.30	36.56	608

Karadeniz Bölgesinin kıyı kesiminde yazlar nispeten serin, kışlar ise kıyı kesiminde ılık yüksek kesimlerde karlı ve soğuk geçmektedir. Karadeniz ikliminin egemen olduğu kıyı kesiminde en fazla yağış sonbaharda, en az yağış ise yaz mevsiminde gerçekleşmektedir. Doğu Karadeniz bölümünün kıyı kesimleri (Giresun, Trabzon, Rize, Artvin) Kuzey Anadolu Dağlarının Karadeniz'e paralel olacak şekilde kıyıdan itibaren hemen yükselmesi ve kuzeye bakan yüzeylerinin yağış getiren rüzgârlara dönük olması nedeniyle Türkiye'nin en çok yağış alan yerleridir. Bu bölümde Artvin ve Rize sırasıyla yıllık toplam 689.80 mm ve 2301.50 mm ile en az ve en çok yağış alan şehirlerdir. Orta (Ordu, Samsun) ve Batı (Sinop, Kastamonu, Bartın, Zonguldak, Düzce) Karadeniz bölümlerinin kıyı kesimlerinde ise dağların kıyıdan uzaklaşarak yükseltilerinin azalması nedeniyle yağış azalmaktadır. Bu bölümlerde Kastamonu ve Zonguldak sırasıyla yıllık toplam 482.30 mm ve 1216.10 mm ile en az ve en çok yağış alan şehirlerdir. Bitki örtüsü kıyı kesimlerde geniş yapraklı nemli ormanlardan, yüksek kesimlerde iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır. Türkiye ormanlarının %25'i bu kesimlerde bulunmaktadır. Ormanlık alanların sona erdiği yüksek rakımlarda ise bitki örtüsü Alpin çayırlarına dönüşmektedir. Dağların güneye bakan kesimlerinde (Bayburt, Gümüşhane, Çorum, Amasya, Tokat, Bolu, Karabük) deniz etkisinin azalması nedeniyle yağış ve sıcaklık azalmakta, bitki örtüsü bozkıra dönüşmektedir. Karasal iklimin egemen olduğu bu iç kesimlerde Çorum yıllık toplam 430.70 mm ile en az yağış alan şehirdir. Bölge genelinde yıllık ortalama sıcaklık 13 – 15 °C, Ocak ve Temmuz ayları ortalama sıcaklıkları ise sırasıyla 6 – 7 °C ve 21 – 23 °C aralıklarında değişmektedir. Yıllık ortalama nem oranı %71 düzeyindedir (MGM, 2022).

Çalışma kapsamında öncelikle De Martonne kuraklık indeksi yöntemi referans alınarak, Karadeniz Bölgesinde bulunan tüm şehirlerin iklim sınıflandırması yapılmıştır. Sırasıyla Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile belirlenen aylık ve yıllık



kuraklık indeksi değerlerine göre, Tablo 2 kullanılarak şehirlerin iklim sınıfları belirlenmiştir (De Martonne, 1942).

$$IM = \frac{12.P'}{T+10} \quad (1)$$

$$IDMG = \frac{1}{2} \left( \frac{P}{T_y+10} + \frac{12.P_d}{T_d+10} \right) \quad (2)$$

Eşitliklerde; IM, aylık kuraklık indeksi; P', aylık toplam yağış (mm); T, aylık ortalama sıcaklık (°C); IDMG, yıllık kuraklık indeksi; P, yıllık toplam yağış (mm); T<sub>y</sub>, yıllık ortalama sıcaklık (°C); P<sub>d</sub>, en yüksek kuraklık indeksine sahip ay için toplam yağış (mm) ve T<sub>d</sub>, en yüksek kuraklık indeksine sahip ay için ortalama sıcaklık (°C) değerini ifade etmektedir.

Tablo 2. De Martonne Kuraklık İndeksi İklim Sınıfları

(Table 2. De Martonne Aridity Index Climate Classes)

Kuraklık İndeksi	İklim Sınıfı
IDMG <5	Kurak
5 ≤ IDMG < 10	Yarı kurak
10 ≤ IDMG < 20	Yarı kurak – nemli
20 ≤ IDMG < 30	Yarı nemli
30 ≤ IDMG < 60	Nemli
IDMG >60	Çok nemli

Karadeniz Bölgesinde bulunan şehirlerin aylık ve yıllık toplam yağış miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Aylık ortalama hava sıcaklığının uzun yıllar ortalaması (1927 – 2020) değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir (MGM, 2022).

İklim sınıflandırması yapıldıktan sonra, Eşitlik 3 ile verilen Orijinal Jensen Haise (JH\_oryijinal) eşitliğindeki 0.025 ve 0.08 değerlerine sırasıyla a ve b katsayıları atanarak, Eşitlik 4 ile

Tablo 3. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Aylık ve Yıllık Toplam Yağış Miktarları (1927 – 2020)

(Table 3. Monthly and Annual Total Precipitation Amounts of Black Sea Region Cities (1927 – 2020))

Aylar Şehir	P' (mm)												P (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Rize	232.6	187.2	159.4	96.0	96.3	134.7	151.6	196.9	254.8	292.3	255.2	244.5	2301.5
Giresun	128.9	100.9	97.6	75.7	68.1	77.9	79.3	89.4	128.0	162.7	152.5	127.8	1288.8
Zonguldak	137.5	98.2	96.7	64.5	54.8	72.0	69.3	82.9	103.1	144.4	140.0	152.7	1216.1
Bartın	117.5	86.2	77.2	57.9	54.7	70.7	61.6	77.2	85.5	109.8	113.7	131.8	1043.8
Ordu	103.4	83.9	80.2	67.6	56.5	71.5	63.4	69.1	82.6	131.0	122.4	114.8	1046.4
Düzce	89.3	70.3	73.1	58.9	63.0	67.8	43.9	51.9	52.0	79.7	77.6	102.3	829.8
Trabzon	83.1	64.4	59.2	57.0	52.7	52.0	35.4	48.6	78.5	115.8	98.7	84.6	830.0
Artvin	84.1	71.3	59.2	53.3	53.1	49.1	30.6	29.4	37.7	61.1	74.7	86.2	689.8
Samsun	72.0	58.4	66.6	56.9	48.4	45.4	34.9	37.3	53.3	78.4	83.8	81.3	716.7
Sinop	72.8	51.6	52.3	38.0	34.9	35.2	33.1	40.9	66.5	86.8	83.1	90.7	685.9
Kastamonu	29.7	27.4	35.0	51.1	75.3	73.1	32.3	31.3	30.1	34.9	28.6	33.5	482.3
Bolu	57.4	48.7	50.2	50.2	60.3	57.5	27.8	24.4	28.4	41.0	45.3	58.6	549.8
Bayburt	27.0	28.0	40.7	62.5	73.2	51.6	21.3	15.5	21.8	43.1	33.0	29.4	447.1
Karabük	44.1	41.8	42.9	38.1	66.3	82.0	22.6	18.0	31.4	50.7	34.9	49.3	522.1
Gümüşhane	35.9	31.5	43.8	58.4	69.1	47.4	12.5	13.5	21.1	43.3	42.5	41.7	460.7
Çorum	39.1	29.6	38.4	46.6	62.2	53.8	19.9	15.2	21.9	27.0	33.2	43.8	430.7
Amasya	49.6	37.4	47.6	54.2	54.0	38.5	16.5	10.2	19.7	34.8	42.9	55.4	460.8
Tokat	42.8	34.5	42.5	53.5	59.1	40.2	11.5	8.7	19.3	36.3	41.7	45.1	435.2

verilen modifiye Jensen Haise (JH\_modifiye) eşitliği oluşturulmuştur (Jensen & Haise, 1963). Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak a ve b katsayılarının her bir şehir ve iklim sınıfı için en uygun değerleri belirlenmiştir. Benzetim çözümlene araçları komut takımının bir parçası olan Excel çözücü, hedef hücredeki formülün en uygun değerini bulmak için kullanılmaktadır. Çözücü formülle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi bulunan bir hücre grubuyla birlikte çalışmaktadır. Çözücünün modelde kullanılabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmektedir (Çobaner vd., 2015).

$$ET_o = \frac{C_T(T-T_x)R_s}{\lambda} \quad ET_o = \frac{(0.025T + 0.08)R_s}{\lambda} \quad (3)$$

$$ET_o = \frac{(a.T + b)R_s}{\lambda} \quad (4)$$

Eşitliklerde; ET<sub>o</sub>, günlük referans evapotranspirasyon miktarı (mm gün<sup>-1</sup>); C<sub>T</sub>, sıcaklık sabiti (0.025); T, günlük ortalama hava sıcaklığı (°C); T<sub>x</sub>, -3 °C; R<sub>s</sub>, günlük ortalama solar radyasyon (MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>); λ, buharlaşma gizli ısısı (MJ kg<sup>-1</sup>) ve a, b, kalibrasyon katsayılarını ifade etmektedir.

FAO-56 PM eşitliği (Eşitlik 5) ile tahmin edilen aylık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri gerçek değerler olarak kabul edilmiştir. Bu eşitliğinin bileşenleri Eşitlik 6 – 25 ile belirlenmiştir (Allen vd., 1998). JH\_oryijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri ile elde edilen ET<sub>o</sub> değerleri FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerleriyle karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında a ve b katsayılarına öncelikle “1” değeri atanmış ve ET<sub>o</sub> değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu ET<sub>o</sub> değerleri ile FAO-56 PM kullanılarak belirlenen ET<sub>o</sub> değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı belirlenmiştir. Excel çözücü çalıştırılarak bu toplamı minimum yapan en uygun a ve b katsayıları belirlenmiştir.

Tablo 4. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Aylık ve Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı Değerleri (1927 – 2020)

(Table 4. Monthly and Annual Average Air Temperature Values of Black Sea Region Cities (1927 – 2020))

Aylar Şehir	T (°C)												T <sub>y</sub> (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Rize	6.8	6.8	8.1	11.6	16.0	20.3	22.9	23.2	20.3	16.4	12.3	8.8	14.5
Giresun	7.5	7.7	8.5	11.9	15.8	20.1	22.7	22.9	20.2	16.3	13.2	9.9	14.7
Zonguldak	6.2	6.3	7.5	11.2	15.4	19.6	21.8	22.0	18.9	15.3	11.8	8.5	13.7
Bartın	4.0	4.8	7.3	11.4	15.8	19.8	22.0	21.8	18.0	13.8	9.2	5.8	12.8
Ordu	6.9	7.0	8.2	11.4	15.7	20.4	23.1	23.4	20.2	16.2	12.2	9.0	14.5
Düzce	3.6	5.1	7.7	12.1	16.5	20.3	22.4	22.2	18.6	14.1	9.3	5.6	13.1
Trabzon	7.4	7.3	8.4	11.7	15.9	20.2	23.0	23.4	20.4	16.7	13.0	9.6	14.7
Artvin	2.6	3.8	7.0	11.8	16.0	18.9	20.9	21.1	18.3	14.2	9.0	4.4	12.3
Samsun	7.1	7.1	8.1	11.3	15.6	20.2	23.2	23.6	20.3	16.5	12.7	9.4	14.6
Sinop	7.0	6.7	7.5	10.6	14.9	19.8	22.9	23.3	20.1	16.3	12.6	9.3	14.3
Kastamonu	-1.0	0.8	4.4	9.5	14.1	17.5	20.1	19.9	15.8	10.9	5.2	0.9	9.8
Bolu	0.5	1.8	4.7	9.6	14.1	17.4	19.8	19.9	16.2	11.8	6.9	2.7	10.5
Bayburt	-6.3	-5.0	0.4	6.9	11.6	15.2	18.8	18.7	14.8	9.3	2.7	-3.2	7.0
Karabük	2.3	5.8	8.8	12.2	16.8	20.5	23.3	23.9	20.2	14.6	8.1	3.9	13.4
Gümüşhane	-1.9	-0.6	3.7	9.3	13.6	17.0	20.0	20.2	16.4	11.2	4.9	0.4	9.5
Çorum	-0.4	1.1	5.0	10.4	15.0	18.5	21.3	21.3	17.3	12.2	6.3	1.8	10.8
Amasya	2.5	4.5	8.3	13.3	17.6	21.3	23.8	23.8	20.0	14.7	8.4	4.5	13.6
Tokat	1.9	3.5	7.4	12.4	16.4	19.6	22.0	22.3	18.8	13.8	7.9	3.7	12.5

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (5)$$

$$\lambda = 2.501 - (2.361 T \cdot 10^{-3}) \quad (6)$$

$$e_{s_{max}} = 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T_{max}}{T_{max} + 237.3} \right) \quad (7)$$

$$e_{s_{min}} = 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right) \quad (8)$$

$$e_s = \frac{e_{s_{max}} + e_{s_{min}}}{2} \quad (9)$$

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (11)$$

$$P_a = 101.3 \left[ \frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right]^{5.26} \quad (12)$$

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} P_a \quad (13)$$

$$j = (30.40 M) - 15 \quad (14)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left( \frac{2 \pi j}{365} \right) \quad (15)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left[ \left( \frac{2 \pi j}{365} \right) - 1.39 \right] \quad (16)$$

$$\emptyset = L \left( \frac{\pi}{180} \right) \quad (17)$$

$$w_s = \arccos (-\tan \emptyset \tan \delta) \quad (18)$$

$$R_a = 24 \left( \frac{60}{\pi} \right) G_{sc} d_r [(w_s \sin \emptyset \sin \delta) + (\cos \emptyset \cos \delta \sin w_s)] \quad (19)$$

$$N = \left( \frac{24}{\pi} \right) w_s \quad (20)$$

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad R_{so} = \left( 0.25 + 0.50 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (21)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2.10^{-5} Z) R_a \quad (22)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{(T_{max} + 273.16)^4 + (T_{min} + 273.16)^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (23)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad R_{ns} = (1 - 0.23) R_s \quad R_{ns} = 0.77 R_s \quad (24)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (25)$$

Eşitliklerde;  $R_n$ , bitki yüzeyine etki eden net radyasyon miktarı ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $G$ , topraktaki ısı akısı ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $\gamma$ , psikometrik sabite ( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ );  $e_s$ ,  $e_a$ , doymuş ve gerçek buhar basıncı değerleri ( $kPa$ );  $\Delta$ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi ( $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ );  $U_2$ , 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı ( $m s^{-1}$ );  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ( $^\circ C$ );  $e_{s_{max}}$ ,  $e_{s_{min}}$ , maksimum ve minimum doymuş buhar basınçları ( $kPa$ );  $RH$ , oransal nem (%);  $P_a$ , atmosferik basınç ( $kPa$ );  $Z$ , rakım ( $m$ );  $j$ , Julian tarihi;  $M$ , Julian tarihine dönüştürülen ayın numarası (1-12);  $d_r$ , Dünya-Güneş ters oransal uzaklığı;  $\delta$ , solar diklik (Radyan);  $L$ , enlem (derece);  $\emptyset$ , enlem (radyan);  $w_s$ , Güneş batım saatindeki açı (Radyan);  $G_{sc}$ , solar sabite ( $0.0820 MJ m^{-2} dakika^{-1}$ );  $R_a$ , extraterrestrial radyasyon ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $n$ , günlük güneşlenme süresi (saat);  $N$ , günlük olası maksimum güneşlenme süresi (saat);  $a_s$ ,  $b_s$ , Angström eşitliği regresyon katsayıları;  $R_{so}$ , Açık (bulutsuz) gökyüzü radyasyonu ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $R_{nl}$ , dünyadan giden net uzun dalga boyulu radyasyon ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $R_{ns}$ , net kısa dalga boyulu radyasyon ( $MJ m^{-2} gün^{-1}$ );  $\alpha$ , yansımaya katsayısı (referans çim bitkisi için 0.23 olarak alınmaktadır) ve  $\sigma$ , Stefan – Boltzmann katsayısı ( $4.903 \cdot 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} gün^{-1}$ ) değerini ifade etmektedir.

ET<sub>o</sub> değerlerinin belirlenmesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen aylık ortalama T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub>, T, RH, U<sub>2</sub> ve n verilerinin 1927 – 2020 yılları arasındaki ortalama değerleri kullanılmıştır (MGM, 2022). Aylık ortalama R<sub>s</sub> verileri Angström – Prescott eşitliği ile tahmin edilmiştir (Eşitlik 21). Bu eşitlikteki a<sub>s</sub> ve b<sub>s</sub> katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.50 alınmıştır. R<sub>a</sub> ise enleme bağlı olarak Eşitlik 14 – 19 ile tahmin edilmiştir (Angström, 1924; Prescott, 1940). JH\_rijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen aylık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin karşılaştırılmasında MAE, MAPE ve RMSE hataları dikkate alınmıştır. Bu hataların belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 26 – 28 kullanılmıştır. JH\_rijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin doğruluk düzeyini ortaya koymak amacıyla MAPE dikkate alınmıştır. Bu eşitlikler ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerleri ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen gerçek ET<sub>o</sub> değerleri arasındaki uyum düzeyi; MAPE %10'un altında ise "çok iyi", %10-20 arasında ise "iyi", %20-50 arasında ise "kabul edilebilir", %50'nin üzerinde ise "uyumsuz" olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Y_i - \hat{Y}_i|) \quad (26)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \right) 100 \quad (27)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (28)$$

Eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hata (mm gün<sup>-1</sup>); MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); RMSE, karekök ortalama karesel hata (mm gün<sup>-1</sup>); Y<sub>i</sub>,  $\hat{Y}_i$ , sırasıyla gerçek ve tahmini aylık ortalama ET<sub>o</sub> miktarları (mm gün<sup>-1</sup>); ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir.

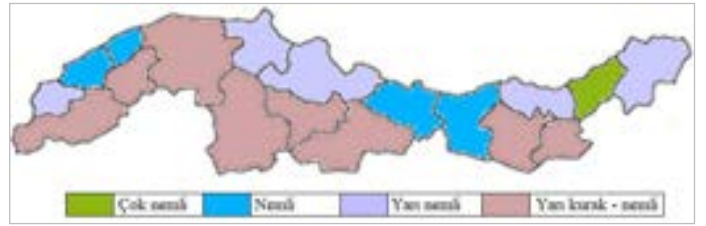
Tablo 5. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Kuraklık İndeksleri, İklim Sınıfları ve Jensen Haise Eşitliği Kalibrasyon Katsayıları

(Table 5. Aridity Index, Climate Classes and Jensen Haise Equation Calibration Coefficients of Black Sea Region Cities)

Şehir	IDMG	a	b	Ortalama		İklim Sınıfı
				a	b	
Rize	69.193	0.0114	0.2182	0.0114	0.2182	Çok nemli
Giresun	40.666	0.0101	0.2297	0.0086	0.2806	Nemli
Zonguldak	38.601	0.0000	0.4549			
Bartın	34.440	0.0106	0.2414			
Ordu	32.848	0.0107	0.2480			
Düzce	26.091	0.0113	0.1953	0.0078	0.2947	Yarı nemli
Trabzon	23.238	0.0070	0.3157			
Artvin	21.138	0.0119	0.2332			
Samsun	20.874	0.0047	0.3780			
Sinop	20.150	0.0000	0.4566	0.0119	0.2795	Yarı kurak – nemli
Kastamonu	18.460	0.0108	0.2557			
Bolu	18.306	0.0093	0.2954			
Bayburt	16.390	0.0135	0.2713			
Karabük	14.342	0.0113	0.2484			
Gümüşhane	14.313	0.0117	0.3038			
Çorum	13.267	0.0160	0.2326			
Amasya	11.573	0.0099	0.3510			
Tokat	11.287	0.0105	0.3130			

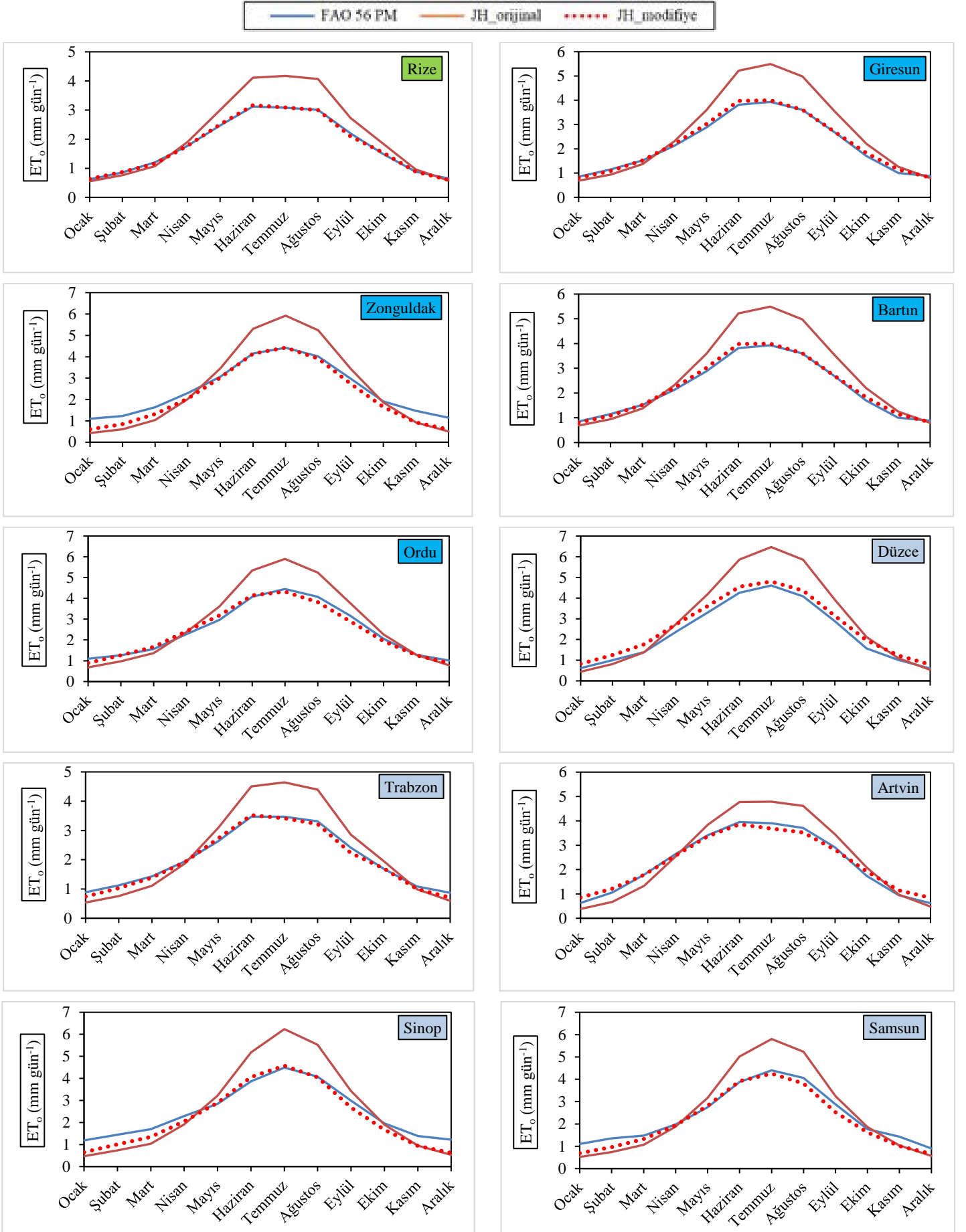
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Karadeniz Bölgesi şehirlerinin iklim sınıfları ve kuraklık indeksleri belirlenerek sırasıyla Şekil 2 ve Tablo 5'te verilmiştir. Bölgenin en doğusunda yer alan Rize çok nemli iklim sınıfında yer alırken, batıya doğru gidildikçe azalan yağışa paralel olarak iklim sınıfı nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kuraklık indeksi bölgenin en çok yağış alan şehri konumundaki Rize için 69.193 değerini alırken, nemli iklimin egemen olduğu Giresun, Ordu, Zonguldak ve Bartın'da 32.848 – 40.666, yarı nemli iklimin egemen olduğu Artvin, Trabzon, Samsun, Sinop ve Düzce'de ise 20.150 – 26.091 aralığında değişmiştir. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan Kastamonu, Bolu, Bayburt, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat'ta kuraklık indeksi 11.287 – 18.460 aralığında değerler almıştır. Bu şehirlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. Kuraklık indeksi bölgenin en az yağış alan şehri Çorum için 13.267 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. İklim sınıfları (Figure 2. Climate Classes)

Kalibrasyon çalışmalarının sonucunda Tablo 5'te verilen a ve b katsayıları elde edilmiştir. Ortalama katsayılar dikkate alınarak her bir iklim sınıfı için JH\_modifiye eşitlikleri oluşturulmuştur. FAO-56 PM, JH\_rijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri kullanılarak her bir şehir için belirlenen aylık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

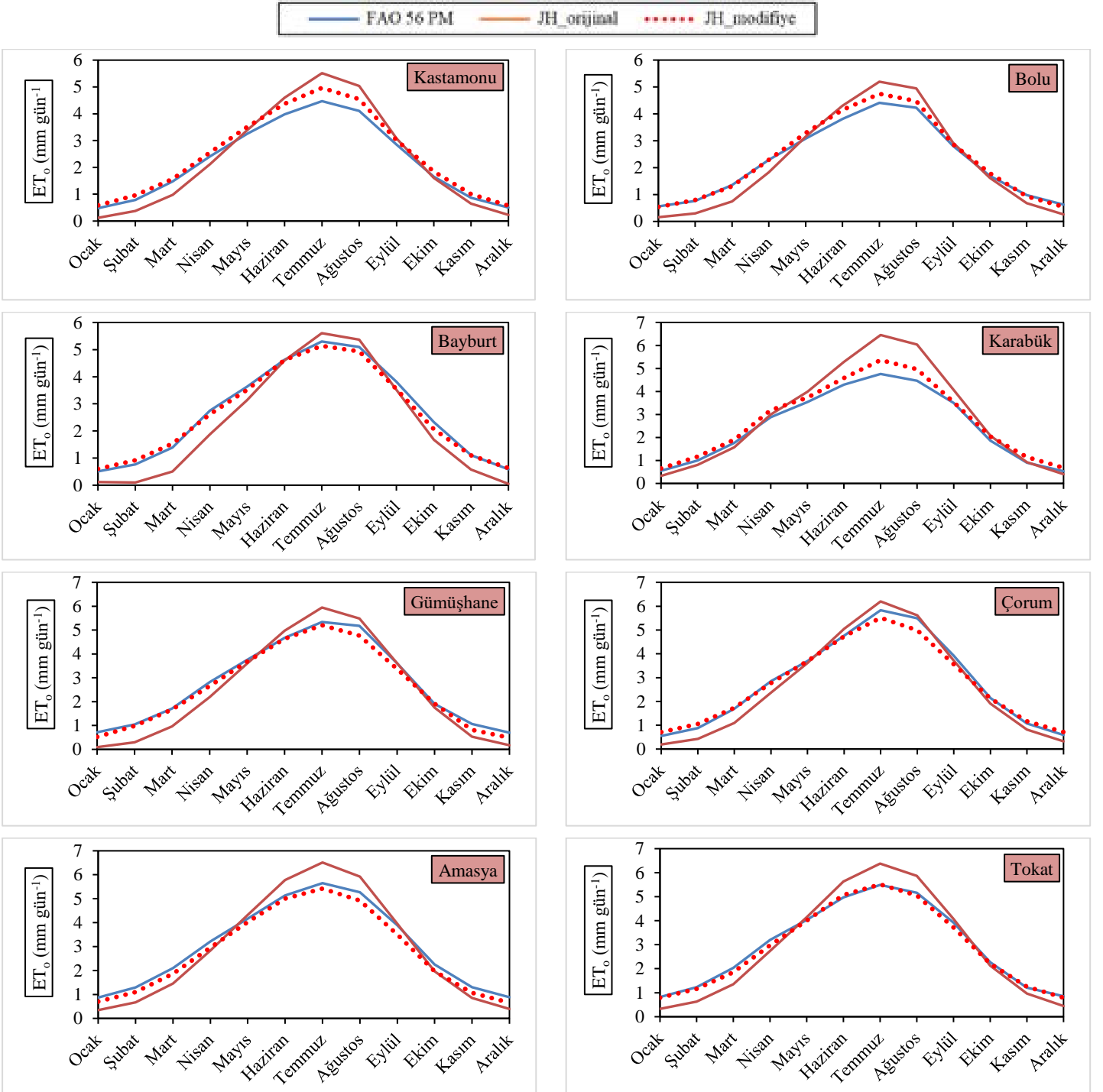


Şekil 3. Çok Nemli, Nemli ve Yarı Nemli İklim Sınıflarında Bulunan Şehirler İçin Aylık Ortalama  $ET_0$  Değerleri

(Figure 3. Monthly Average  $ET_0$  Values for Cities in Very Humid, Humid and Semi-Humid Climate Classes)

Çok nemli iklim sınıfında bulunan Rize için FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri  $0.620 - 3.120 \text{ mm gün}^{-1}$  aralığında değişmiş ve yıllık ortalama  $1.779 \text{ mm gün}^{-1}$  düzeyinde gerçekleşmiştir. Aynı şehir için JH\_orijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen  $ET_o$  değerleri sırasıyla  $0.552 - 4.173 \text{ mm gün}^{-1}$  ve  $0.601 - 3.164 \text{ mm gün}^{-1}$  aralıklarında değerler almış, yıllık ortalama değerler ise sırasıyla  $2.146 \text{ mm gün}^{-1}$  ve  $1.775 \text{ mm gün}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Nemli iklim sınıfında yer alan Giresun, Zonguldak, Bartın ve Ordu şehirleri için FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri sırasıyla  $0.850 - 3.930 \text{ mm gün}^{-1}$ ,  $1.100 - 4.420$

$\text{mm gün}^{-1}$ ,  $0.600 - 4.580 \text{ mm gün}^{-1}$  ve  $1.010 - 4.450 \text{ mm gün}^{-1}$  aralıklarında değerler almıştır. JH\_orijinal eşitliği ile tahmin edilen değerler sırasıyla  $0.686 - 5.492 \text{ mm gün}^{-1}$ ,  $0.432 - 5.923 \text{ mm gün}^{-1}$ ,  $0.426 - 6.084 \text{ mm gün}^{-1}$  ve  $0.680 - 5.897 \text{ mm gün}^{-1}$  aralıklarında değişmiştir. JH\_modifiye eşitliği ile tahmin edilen değerler ise sırasıyla  $0.885 - 4.059 \text{ mm gün}^{-1}$ ,  $0.600 - 4.477 \text{ mm gün}^{-1}$ ,  $0.665 - 4.534 \text{ mm gün}^{-1}$  ve  $0.889 - 4.316 \text{ mm gün}^{-1}$  aralıklarında değerler almıştır. JH\_orijinal ve FAO-56 PM eşitlikleri kullanılarak elde edilen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri arasındaki sapmaların kalibrasyon işleminden sonra minimum düzeye gerilediği Şekil 3'teki grafiklerde açıkça görülmektedir.

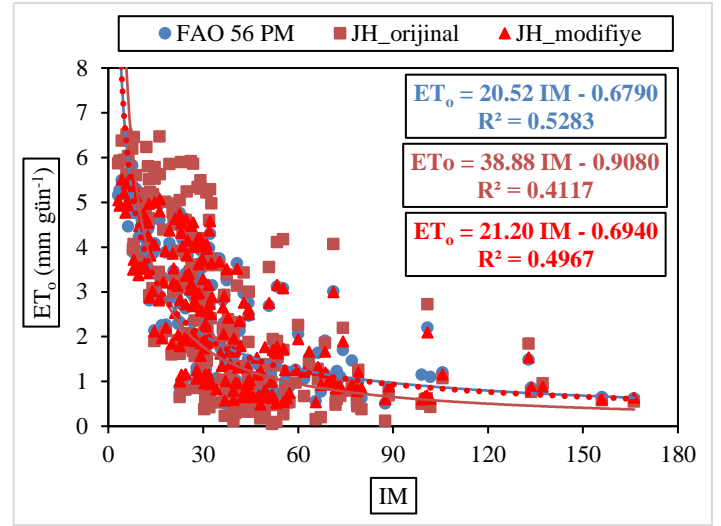


Şekil 4. Yarı Kurak – Nemli İklim Sınıfında Bulunan Şehirler İçin Aylık Ortalama  $ET_o$  Değerleri

(Figure 4. Monthly Average  $ET_o$  Values for Cities in Semi Arid – Humid Climate Class)

Yarı kurak – nemli iklim sınıfında bulunan Kastamonu, Bolu, Bayburt, Karabük, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat şehirleri için FAO-56 PM kullanılarak belirlenen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri sırasıyla 0.480 – 4.470 mm gün<sup>-1</sup>, 0.560 – 4.410 mm gün<sup>-1</sup>, 0.510 – 5.300 mm gün<sup>-1</sup>, 0.530 – 4.760 mm gün<sup>-1</sup>, 0.700 – 5.340 mm gün<sup>-1</sup>, 0.550 – 5.830 mm gün<sup>-1</sup>, 0.870 – 5.650 mm gün<sup>-1</sup> ve 0.820 – 4.490 mm gün<sup>-1</sup> aralıklarında değişmiştir. Aylık ortalama  $ET_o$  Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında maksimum seviyelere ulaşmıştır. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ise minimum düzeylere gerilemiştir. Bu durum Şekil 4’te verilen grafiklere aynen yansımıştır. En yüksek ve en düşük yıllık ortalama  $ET_o$  değerlerine sahip şehirler sırasıyla Amasya (3.002 mm gün<sup>-1</sup>) ve Bolu (2.217 mm gün<sup>-1</sup>) olmuştur. Kastamonu, Bolu, Bayburt, Karabük, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat şehirleri için JH\_orijinal ile tahmin edilen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri sırasıyla 0.121 – 5.514 mm gün<sup>-1</sup>, 0.158 – 5.196 mm gün<sup>-1</sup>, 0.050 – 5.607 mm gün<sup>-1</sup>, 0.327 – 6.454 mm gün<sup>-1</sup>, 0.093 – 5.948 mm gün<sup>-1</sup>, 0.192 – 6.200 mm gün<sup>-1</sup>, 0.345 – 6.513 mm gün<sup>-1</sup> ve 0.327 – 6.378 mm gün<sup>-1</sup> aralıklarında değerler almıştır. JH\_modifiye ile tahmin edilen  $ET_o$  değerleri ise sırasıyla 0.573 – 4.967 mm gün<sup>-1</sup>, 0.539 – 4.745 mm gün<sup>-1</sup>, 0.601 – 5.137 mm gün<sup>-1</sup>, 0.650 – 5.365 mm gün<sup>-1</sup>, 0.487 – 5.206 mm gün<sup>-1</sup>, 0.709 – 5.511 mm gün<sup>-1</sup>, 0.655 – 5.423 mm gün<sup>-1</sup> ve 0.792 – 5.511 mm gün<sup>-1</sup> aralıklarında değişmiştir.

Aylık kuraklık indeksindeki (IM) değişimin FAO-56 PM kullanılarak tahmin edilen  $ET_o$  değerleri ile açıklanabilme oranı %52.83 ( $R^2=0.5283$ ) olarak belirlenmiştir. Bu oran JH\_orijinal ve JH\_modifiye için ise sırasıyla %41.17 ( $R^2=0.4117$ ) ve %49.67 ( $R^2=0.4967$ ) olarak elde edilmiştir. Yarı kurak – nemli iklimden çok nemli iklime doğru gidildikçe kuraklık indeksinin arttığı,  $ET_o$  değerlerinin ise azaldığı Şekil 5’te açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Kuraklık İndeksi ve  $ET_o$  Arasındaki İlişki

(Figure 5. The Relationship Between Aridity Index and  $ET_o$ )

JH\_orijinal ve FAO-56 PM eşitlikleri ile tahmin edilen aylık ortalama  $ET_o$  değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 6’da verilmiştir. JH\_orijinal eşitliği ile doğruluk düzeyi en yüksek  $ET_o$  değerleri çok nemli iklim sınıfındaki Rize için elde edilmiştir (MAPE %19.357). Bu eşitlik ile nemli iklim sınıfındaki şehirler için yapılan tahminlerde MAE 0.537 – 0.677 mm gün<sup>-1</sup>, MAPE %20.356 – 31.288 ve RMSE 0.720 – 0.817 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Eşitliğin bu iklim sınıfında en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla Ordu (MAPE= %20.356) ve Zonguldak (MAPE= %31.288) olmuştur.

Tablo 6. JH\_orijinal Eşitliği ile Şehir Bazında Tahmin Edilen  $ET_o$  Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 6. Annual Averages and Errors amounts of  $ET_o$  Values Estimated on The Basis of City with JH\_orijinal Equation)

Şehir	FAO-56 PM (mm gün <sup>-1</sup> )	JH_orijinal (mm gün <sup>-1</sup> )	MAE (mm gün <sup>-1</sup> )	MAPE (%)	RMSE (mm gün <sup>-1</sup> )	Doğruluk Düzeyi
Rize	1.779	2.146	0.428	19.357	0.580	İyi
Giresun	2.179	2.701	0.623	24.393	0.817	Kabul edilebilir
Zonguldak	2.453	2.562	0.677	31.288	0.785	Kabul edilebilir
Bartın	2.327	2.727	0.537	20.446	0.741	Kabul edilebilir
Ordu	2.439	2.797	0.547	20.356	0.720	Kabul edilebilir
Düzce	2.309	2.952	0.716	25.099	0.980	Kabul edilebilir
Trabzon	2.027	2.275	0.493	23.792	0.614	Kabul edilebilir
Artvin	2.276	2.494	0.438	20.685	0.524	Kabul edilebilir
Samsun	2.331	2.512	0.585	26.560	0.713	Kabul edilebilir
Sinop	2.455	2.594	0.747	32.641	0.889	Kabul edilebilir
Kastamonu	2.238	2.309	0.421	27.398	0.514	Kabul edilebilir
Bolu	2.217	2.176	0.405	28.724	0.464	Kabul edilebilir
Bayburt	2.662	2.219	0.539	45.561	0.599	Kabul edilebilir
Karabük	2.503	2.910	0.529	19.542	0.766	İyi
Gümüşhane	2.710	2.467	0.445	32.226	0.506	Kabul edilebilir
Çorum	2.788	2.609	0.310	22.656	0.342	Kabul edilebilir
Amasya	3.002	2.918	0.480	24.861	0.528	Kabul edilebilir
Tokat	2.933	2.889	0.463	23.442	0.524	Kabul edilebilir

Yarı nemli iklim sınıfındaki şehirler için JH\_ orijinal eşitliği ile yapılan tahminlerde sırasıyla 0.438 – 0.747 mm gün<sup>-1</sup>, %20.685 – 32.641 ve 0.524 – 0.980 mm gün<sup>-1</sup> aralıklarında değişen MAE, MAPE ve RMSE değerleri elde edilmiştir. Bu iklim sınıfında Artvin %20.685 MAPE ile eşitliğin en iyi performans gösterdiği şehir olmuştur. Eşitliğin en kötü performans gösterdiği şehir ise %32.641 MAPE ile Sinop olmuştur. Yarı kurak – nemli iklim sınıfındaki şehirler için JH\_ orijinal eşitliği yapılan tahminlerde MAE 0.310 – 0.539 mm gün<sup>-1</sup>, MAPE %19.542 – 45.561 ve RMSE 0.342 – 0.766 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Bu iklim sınıfında eşitliğin en iyi ve

en kötü performans gösterdiği şehirler sırasıyla Karabük (MAPE= %19.542) ve Bayburt (MAPE= %45.561) olmuştur. JH\_ orijinal ile yapılan tahminlerde her bir iklim sınıfı için elde edilen yıllık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri ve hata miktarları Tablo 7’de verilmiştir. Eşitliğin en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği iklim sınıfları sırasıyla çok nemli (MAPE= %19.357) ve yarı kurak – nemli (MAPE= %28.051) olmuştur. Nemli ve yarı nemli koşullardaki performansı ise birbirine yakın olmuştur. Bu eşitlik ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin doğruluk düzeyi çok nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer koşullarda ise “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. JH\_ orijinal Eşitliği ile İklim Sınıfı Bazında Tahmin Edilen ET<sub>o</sub> Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 7. Annual Averages and Errors amounts of ET<sub>o</sub> Values Estimated on The Basis of Climate Class with JH\_ original Equation)

İklim Sınıfı	FAO-56 PM (mm gün <sup>-1</sup> )	JH_ orijinal (mm gün <sup>-1</sup> )	MAE (mm gün <sup>-1</sup> )	MAPE (%)	RMSE (mm gün <sup>-1</sup> )	Doğruluk Düzeyi
Çok nemli	1.779	2.146	0.428	19.357	0.580	İyi
Nemli	2.349	2.697	0.596	24.121	0.767	Kabul edilebilir
Yarı nemli	2.280	2.566	0.596	25.576	0.763	Kabul edilebilir
Yarı kurak – nemli	2.631	2.562	0.449	28.051	0.542	Kabul edilebilir

JH\_ modifiye ve FAO-56 PM eşitlikleri ile tahmin edilen aylık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 8’de verilmiştir. JH\_ orijinal eşitliğinde olduğu gibi JH\_ modifiye eşitliği ile de doğruluk düzeyi en yüksek ET<sub>o</sub> değerleri çok nemli iklim sınıfındaki Rize için elde edilmiştir (MAPE %2.298). Nemli iklim sınıfında bulunan şehirler için yapılan tahminlerde MAE 0.060 – 0.259 mm gün<sup>-1</sup>, MAPE %4.639 – 17.667 ve RMSE 0.066 – 0.321 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. JH\_ modifiye eşitliğinin bu iklim sınıfında en iyi performans

gösterdiği şehir %4.639 MAPE ile Bartın, en kötü performans gösterdiği şehir ise %17.667 MAPE Zonguldak olmuştur. JH\_ modifiye eşitliği kullanılarak yarı nemli iklim sınıfı için yapılan tahminlerde MAE 0.086 – 0.300 mm gün<sup>-1</sup>, MAPE %6.081 – 18.655 ve RMSE 0.101 – 0.349 mm gün<sup>-1</sup> aralıklarında değerler almıştır. Bu iklim sınıfında eşitliğin en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla %6.081 ve %18.655 MAPE değerleri ile Trabzon ve Sinop olmuştur.

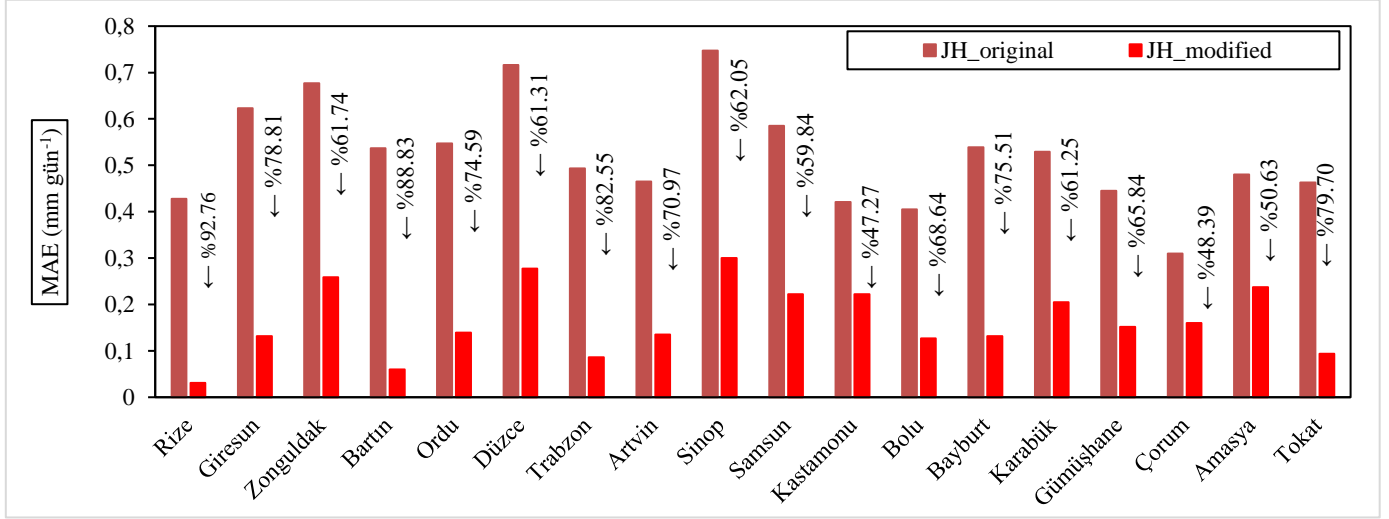
Tablo 8. JH\_ modifiye Eşitliği ile Şehir Bazında Tahmin Edilen ET<sub>o</sub> Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 8. Annual Averages and Errors amounts of ET<sub>o</sub> Values Estimated on The Basis of City with JH\_ modified Equation)

Şehir	FAO-56 PM (mm gün <sup>-1</sup> )	JH_ modifiye (mm gün <sup>-1</sup> )	MAE (mm gün <sup>-1</sup> )	MAPE (%)	RMSE (mm gün <sup>-1</sup> )	Doğruluk Düzeyi
Rize	1.779	1.775	0.031	2.298	0.043	Çok iyi
Giresun	2.179	2.311	0.132	6.941	0.159	Çok iyi
Zonguldak	2.453	2.208	0.259	17.667	0.321	İyi
Bartın	2.327	2.367	0.060	4.639	0.066	Çok iyi
Ordu	2.439	2.390	0.139	6.502	0.162	Çok iyi
Düzce	2.309	2.586	0.277	17.803	0.285	İyi
Trabzon	2.027	1.967	0.086	6.081	0.101	Çok iyi
Artvin	2.276	2.299	0.142	11.553	0.524	İyi
Samsun	2.331	2.127	0.222	14.063	0.261	İyi
Sinop	2.455	2.212	0.300	18.655	0.349	İyi
Kastamonu	2.238	2.459	0.222	11.925	0.260	İyi
Bolu	2.217	2.311	0.127	5.637	0.172	Çok iyi
Bayburt	2.662	2.601	0.132	7.458	0.155	Çok iyi
Karabük	2.503	2.744	0.205	12.908	0.288	İyi
Gümüşhane	2.710	2.560	0.152	9.645	0.189	Çok iyi
Çorum	2.788	2.729	0.160	9.117	0.219	Çok iyi
Amasya	3.002	2.765	0.237	11.371	0.247	İyi
Tokat	2.933	2.865	0.094	4.032	0.117	Çok iyi

JH\_modifiye eşitliği ile yarı kurak – nemli iklim sınıfı için yapılan tahminlerde MAE 0.094 – 0.5237 mm gün<sup>-1</sup>, MAPE %4.032 – 12.908 ve RMSE 0.117 – 0.288 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Eşitliğin bu iklim sınıfı koşullarında en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla Tokat (MAPE= %4.032) ve Karabük (MAPE= %12.908) olmuştur.

JH\_original eşitliği için belirlenen MAE değerleri bu eşitliğin Karadeniz Bölgesi koşullarına uygun kalibrasyonunun yapılması sonucunda şehir bazında %47.27 – 92.76 aralığında değişen oranlarda azalma göstermiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kalibrasyondan Sonra Şehir Bazında MAE Değerlerinde Gerçekleşen Azalma Oranları

Figure 6. Decrease Rates in MAE Values After Calibration on The Basis of City

JH\_modifiye ile yapılan tahminlerde her bir iklim sınıfı için elde edilen yıllık ortalama ET<sub>o</sub> değerleri ve hata miktarları Tablo 9’da verilmiştir. JH\_orijinal eşitliğinde olduğu gibi JH\_modifiye eşitliği de en iyi performansını çok nemli (MAPE= %2.298) iklim sınıfında göstermiştir. En kötü performansını gösterdiği iklim sınıfı ise yarı nemli (MAPE= %13.631) olmuştur. Nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıflarında birbirine yakın

performanslar göstermiştir. JH\_modifiye eşitliği ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin doğruluk düzeyi, bu eşitliğin en kötü performansını gösterdiği yarı nemli iklim sınıfı için “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfları için ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. JH\_modifiye Eşitliği ile İklim Sınıfı Bazında Tahmin Edilen ET<sub>o</sub> Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 9. Annual Averages and Errors amounts of ET<sub>o</sub> Values Estimated on The Basis of Climate Class with JH\_modifiye Equation)

İklim Sınıfı	FAO-56 PM (mm gün <sup>-1</sup> )	JH_modifiye (mm gün <sup>-1</sup> )	MAE (mm gün <sup>-1</sup> )	MAPE (%)	RMSE (mm gün <sup>-1</sup> )	Doğruluk Düzeyi
Çok nemli	1.779	1.775	0.031	2.298	0.043	Çok iyi
Nemli	2.349	2.319	0.147	8.937	0.199	Çok iyi
Yarı nemli	2.280	2.238	0.205	13.631	0.248	İyi
Yarı kurak – nemli	2.631	2.629	0.170	9.012	0.213	Çok iyi

İklim sınıfı bazında JH\_orijinal eşitliği için belirlenen MAE değerleri kalibrasyon işleminden sonra çok nemli, nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıfları için sırasıyla %92.76, %75.34, %65.60 ve %62.14 oranlarında azalma göstermiştir.

Genel olarak JH\_orijinal eşitliği ile tahmin edilen aylık ortalama ET<sub>o</sub> değerlerinin çok nemli, nemli ve yarı nemli koşullarda FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen değerlerden daha yüksek, yarı kurak – nemli koşullarda ise daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Oudin vd. (2005); Tabari vd. (2013); Poyen & Ghosh (2016) JH\_orijinal eşitliği ile tahmin edilen ET<sub>o</sub> değerlerinin nemli koşullarda gerçek değerlerden daha yüksek, kurak koşullarda ise daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun JH\_orijinal eşitliği için bir dezavantaj olduğunu, fakat kalibrasyon işleminden sonra

oluşturulan JH\_modifiye eşitliğinin nemli ve kurak koşullarda iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir. Karadeniz Bölgesinin iç kesimleri ile benzer iklim özellikleri gösteren Brezilya’nın yarı kurak – nemli bölgeleri için Sousa vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada FAO-56 PM yöntemine en yakın ET<sub>o</sub> değerlerinin sırasıyla Jensen Haise, Priestley Taylor ve Hargreaves yöntemleriyle elde edildiği bildirilmiştir. Benzer şekilde Samaras vd. (2014) Yunanistan koşullarında Makkink yönteminden sonra en iyi performans gösteren yöntemin Jensen Haise olduğunu ve bu yöntemin nemli bölgelerde tercih edilebileceğini ifade etmişlerdir. FAO-56 PM eşitliğinin karşılaştırma kriteri olarak dikkate alındığı bu çalışma kapsamında geliştirilen JH\_modifiye eşitliklerinin a ve b kalibrasyon katsayıları nemli iklimin hakim olduğu bölgeler için 0.005 – 0.015 ve 0.248 – 0.338 aralıklarında değerler almıştır.



Aynı katsayılar yarı nemli bölgeler için 0.019 ve 0.218, yarı kurak bölgeler için ise 0.016 ve 0.246 olarak belirlenmiştir. JH\_modifiye eşitliği ile nemli bölgelerde elde edilen aylık ortalama  $ET_0$  değerleri için 0.153 – 0.583 mm gün<sup>-1</sup> aralığında değişen MAE ve %5.600 – 16.900 aralığında değişen MAPE değerleri elde edilmiştir. Aynı değerler yarı nemli bölgeler için 0.224 mm gün<sup>-1</sup> ve %6.800, yarı kurak bölgeler için ise 0.204 mm gün<sup>-1</sup> ve %6.000 olarak belirlenmiştir. Zakeri vd. (2022) İran'ın kuzeyindeki nemli Mazandaran ve kurak Semnan şehirlerinde en iyi performansı gösteren tahmin yönteminin Jensen Haise olduğunu ifade etmişlerdir. Bu yöntem kullanılarak Mazandaran koşullarında tahmin edilen aylık ortalama  $ET_0$  değerleri için MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 1.299 mm gün<sup>-1</sup> ve 1.758 mm gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Aynı değerler Semnan şehri için sırasıyla 0.876 mm gün<sup>-1</sup> ve 1.165 mm gün<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Stephens & Stevart (1963) JH\_orijinal eşitliğini aylık ortalama  $ET_0$  tahminlerinde kullanılabilecek şekilde modifiye ederek, JH\_orijinal ile aynı formda olan yeni bir eşitlik geliştirmişlerdir. Bu yeni JH\_modifiye eşitliği Tellen (2017) tarafından Kamerun'un kurak – nemli koşullarında bazı tahmin yöntemleri ile birlikte test edilmiş ve FAO-56 PM yöntemine en yakın  $ET_0$  değerlerinin bu yöntem ile tahmin edildiğini bildirilmiştir. Bu yöntem için RMSE değeri 0.072 mm gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. İncelenen bu çalışmalar kapsamında elde edilen a ve b katsayıları ile MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları genel olarak Karadeniz Bölgesi için belirlenen değerler ile benzerlik göstermiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada öncelikle JH\_orijinal eşitliğinin Karadeniz Bölgesi koşullarındaki aylık ortalama  $ET_0$  tahminlerinde kullanılabilirlik düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra bu eşitliğin yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonu yapılarak, JH\_modifiye eşitlikleri geliştirilmiştir. De Martonne kuraklık indeksine göre, bölgenin doğusu çok nemli iklim sınıfında yer alırken, kıyı şeridi boyunca batıya doğru gidildikçe iklim nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan iç kesimlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. JH\_orijinal ve JH\_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen  $ET_0$  değerleri FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen  $ET_0$  değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şehir bazında JH\_orijinal eşitliği ile tahmin edilen  $ET_0$  değerleri için %19.357 – 45.561 aralığında değişen MAPE değerleri elde edilmiştir.  $ET_0$  değerlerinin doğruluğu “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde olsa da genel olarak JH\_orijinal eşitliği tüm iklim koşullarında kötü performans göstermiştir. JH\_modifiye eşitliğinin a ve b kalibrasyon katsayıları çok nemli, nemli, yarı nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıfı koşulları için sırasıyla 0.0114 – 0.2182, 0.0086 – 0.2806, 0.0078 – 0.2947 ve 0.0119 – 0.2795 olarak elde edilmiştir. Bu katsayıların kullanıldığı JH\_modifiye eşitliği en iyi performansını çok nemli (MAPE= %2.298), en kötü performansını ise yarı nemli (MAPE= %13.631) koşullarda göstermiştir. Eşitliğin nemli ve yarı kurak – nemli koşullardaki performansları ise birbirine yakın olmuştur (MAPE= %8.937 – %9.012). Bu eşitlik ile tahmin edilen  $ET_0$  değerlerinin doğruluk düzeyi yarı nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfı koşullarında ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir. Karadeniz Bölgesi iklim koşulları ile uyumlu JH\_modifiye eşitlikleri kullanılarak, doğruluk oranı yüksek aylık ortalama  $ET_0$  değerleri tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### Kaynakça

- Abtew, W. (1996). Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in South Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 32, 465-473. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1996.tb04044.x>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56. Erişim adresi: <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>. (Erişim tarihi: 06.04.2021)
- Angström, A. (1924). Solar terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, 121-126. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- Aydınşakir, K., Baştuğ, R. & Büyüktaş, D. (2003). Antalya yöresinde çim kıyas bitki su tüketimini veren bazı ampirik eşitliklerin tarla ve lizimetre koşullarında kalibrasyonu. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 107-119.
- Beyazgül, M., Kayam, Y. & Engelsman, F. (2000). Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of Western Turkey. *Hydrology*, 229(1-2), 19-26. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00196-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00196-1)
- Blaney, H. F. & Criddle, W. D. (1950). *Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data* Technical Paper 96. Washington: USA Soil Conservation Service Department of Agriculture.
- Canlı, Ş. (2014). *Menemen Ovasında Tarımsal Su Gereksinimi ve Sulama Sularının Bitki, Toprak ve Sulama Sistemleri Açısından Olası Etkileri*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Cobaner, M., Çıtakoğlu, H., Haktanır, T. & Yelkara F. (2015). Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi. *Dicle üniversitesi Mühendislik Fakültesi dergisi*, 7(2), 181-189.
- Çetin, Ö., Köksal, E. S., Yıldırım, Y. E. & Özyayın, K. A. (2014). Türkiye’de su tüketim rehberi çalışmaları kapsamında bitki su tüketimi ve bitki katsayılarının elde edilmesi. XII. Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, Türkiye, 40-45.
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l’indice d’aridité. *Annales de Géographie*, 51, 242-250. (in French)
- Dingman, S. L. (2008). *Physical Hydrology*. Long Grove, Illinois, USA: Waveland Press Inc.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1977). *Crop Water Requirements*. FAO, Irrigation and Drainage Paper No:24. Erişim adresi: <https://www.fao.org/3/s8376e/s8376e.pdf>. (Erişim tarihi: 06.04.2021)
- Grismer, M. E., Orang, M., Snyder, R. & Matyac, R. (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3), 180-184.
- Güngör, Y. & Erözel, A. Z. (2004). *Sulama*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Hamon, W. R. (1961). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87, 107-120. doi: <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0008673>
- Hargreaves, G. H. (1975). Moisture availability and crop production. *Transactions of the ASAE*, 18(5), 980-984. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.36722>

- Hargreaves, G. L. & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1, 96-99. doi: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>
- Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. & Diak, G. R. (2004). Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3), 461-476. doi: <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.49.3.461.54352>
- Jensen, M. E. & Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41. doi: <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000287>
- Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D. & Baştuğ, R. (2017). Kıyas bitki su tüketiminde kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, özel sayı, 144-161.
- Kodal, S. (1982). İç Anadolu'da Bitki Su Tüketiminin Saptanması için Uygun Yöntemin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Ankara.
- Lage, M., Bamouh, A., Karrou, M. & El Mourid, M. (2003). Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evaporation methods under Moroccan conditions. *Agronomie*, 23(7), 625-631. doi: <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2003040>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. London-England: Butterworths Scientific.
- Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11, 277-288.
- MGM, (2022). Van Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları, Van.
- Naorem, N. & Devi, T. K. (2014). Estimation of potential evapotranspiration using empirical models for Imphal. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 4(7), 119-123.
- Okkan, U. & Kıymaz, H. (2020). Questioning of empirically-derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model. *Water Supply*, 20(3), 1141-1156. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2019>
- Orta, A. H., Yüksel, A. N., Akçay, M. E., Erdem, T. & Balcı, B. (2001). Elma ağaçlarının farklı sulama yöntemi ve programları altındaki üretim özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15, 99-106.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., Anctil, F. & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303(1), 290-306. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Poyen, E. F. B., Ghosh, A. K. & Kundu, P. (2016). Review on different evapotranspiration empirical equations. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 2(3), 17-24.
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-18.
- Priestley, C. H. B. & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
- Romanenko, V. A. (1961). Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. *Ukrainian Hydrometeorological Research Institute*, 3, 12-25.
- Samaras, D., Reif, A. & Theodoropoulos, K. (2014). Evaluation of radiation-based reference evapotranspiration models under different Mediterranean climates in central Greece. *Water Resources Management*, 28(1), 207-225. doi: [10.1007/s11269-013-0480-3](https://doi.org/10.1007/s11269-013-0480-3)
- Sousa, I. F., Silva, V. P. R., Sabino, F. G., Aguiar Netto, A. O., Silva, B. K. N. & Azevedo, P. V. (2010). Reference evapotranspiration in the irrigated perimeters of the state of Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 633-644. doi: [10.1590/S1415-4366201000600010](https://doi.org/10.1590/S1415-4366201000600010)
- Stephens, J. C. & Stewart, E. H. (1963). *A Comparison of Procedures for Computing Evaporation and Evapotranspiration*, Publication 62, International Association of Scientific Hydrology. International Union of Geodesy and Geophysics, California, USA
- Şarлак, N. & Bağcı, S. Ç. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Konya havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772. doi: <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.408019>
- Tabari, H., Grismer, M. E. & Trajkovic, S. (2013). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31, 107-117. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-011-0295-z>
- Tellen, V. A. (2017). A comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in Yaounde, calculated by six empirical methods against the penmanmonteith formula. *Earth Perspectives*, 4(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.1186/s40322-017-0039-1>
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94. doi: <https://doi.org/10.2307/210739>
- Trajković, S. & Gocić, M. (2010). Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis – Series Architecture and Civil Engineering*, 8(2), 163-168. doi: <http://dx.doi.org/10.2298/FUACE1002163T>
- Turc, L. (1961). Water requirements assessment of irrigation, potential evapotranspiration: Simplified and updated climatic formula. *Annuaire Agronomie*, 12, 13-49.
- Wang, B., Ma, Y., Ma, W., Su, B. & Dong, X. (2019). Evaluation of ten methods for estimating evaporation in a small high-elevation lake on the Tibetan Plateau. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1033-1045. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2539-9>
- Zakeri, M. S., Mousavi, S. F., Farzin, S. & Sanikhani, H. (2022). Modeling of reference crop evapotranspiration in wet and dry climates using data-mining methods and empirical equations. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 6(1), 1-28. doi: <https://doi.org/10.22115/scce.2022.298173.1347>



# Free Vibration Analysis of Isotropic Plates Using Regressive Ensemble Learning

Oguzhan Das<sup>1\*</sup>, Duygu Bagci Das<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> National Defence University, Air Force NCO Higher Vocational School, Gaziemir, Izmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7623-9278), [droguzhandas@gmail.com](mailto:droguzhandas@gmail.com)

<sup>2</sup> Ege University, Department of Computer Programming, Bornova, Izmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4519-3531), [duygu.bagci.das@ege.edu.tr](mailto:duygu.bagci.das@ege.edu.tr)

(First recieved 26 June 2022 and in final form 28 July 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1135944)

**ATIF/REFERENCE:** Das, O. & Bagci Das, D. (2022). Free Vibration Analysis of Isotropic Plates Using Regressive Ensemble Learning. *European Journal of Science and Technology*, (38), 428-434.

## Abstract

The Finite Element Method (FEM) is a popular technique that is employed to analyze and understand the behavior of a structure. Although it has various advantages, there are some drawbacks such as developing accurate mathematical models, the computational cost for complex systems, and expertise. Thanks to recent advancements in computational science, those drawbacks can be eliminated by integrating artificial intelligence. This study presents an ensemble learning regressor-based technique to evaluate the fundamental natural frequencies of isotropic plate structures. For this purpose, Random Forest Regressor (RFR) has been considered. The isotropic plates have been taken into account as square and rectangular thin and thick plates whose materials have been selected as Structural Steel, Aernet 100, Al 7108, and Al 2024 since they are frequently used in various engineering fields. It has been evaluated that the proposed technique has a 0.9936 correlation score ( $R^2$ ) and 0.0019 mean square error (MSE). The average prediction accuracy has been obtained by 99.12% for the test set. Those indicated that the proposed approach is not only an appropriate model for such a problem but also predicts the fundamental natural frequency accurately. Considering its success (99.12%) and the execution speed (0.127 seconds), it is concluded that the proposed approach is an advantageous alternative technique to the other mathematical models.

**Keywords:** Vibration Analysis, Random Forest Regressor, Isotropic Plates, Artificial Intelligence, Natural Frequency.

## İzotropik Plakaların Regressif Topluluk Öğrenmesi Kullanarak Serbest Titreşim Analizi

### Öz

Sonlu Elemanlar Yöntemi bir yapının davranışını anlamak ve analiz etmek için kullanılan popüler bir tekniktir. Çeşitli avantajları olmasına rağmen doğru matematiksel modelin geliştirilmesi, kompleks sistemler için hesaplama bakımından maliyetli olabilmesi ve uzmanlık gerektirmesi yönünden bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bilgisayar biliminde yakın zamanlarda meydana gelen gelişmeler sayesinde bu tip olumsuzluklar yapay zeka kullanılarak giderilebilmektedir. Bu çalışma, izotropik plakaların temel frekanslarını elde etmek için topluluk öğrenmeli regresör tabanlı bir yöntem sunmaktadır. Bunun için Rastgele Orman Regresörü ele alınmıştır. Ele alınan ince ve kalın izotropik plakalar kare ve dikdörtgen geometride olup çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan Yapı Çeliği, Aernet 100, Al 7108 ve Al 2024 malzemeleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntemin 0.9936 korelasyon değeri ( $R^2$ ) ve 0.0019 ortalama karesel hata oranına sahip olduğu görülmüştür. Test seti için ortalama tahmin oranı ise %99.12 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki önerilen yaklaşım sadece bu tip bir problem için uygun olmakla kalmayıp aynı zamanda temel doğal frekansı yüksek doğrulukla tespit edebilmiştir. Önerilen modelin başarısı (%99.12) ve çalışma süresi (0.127 saniye) dikkate alındığında gerçek zamanlı tahmin sistemleri için matematiksel modellere kıyasla avantajlara sahip bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Titreşim Analizi, Rastgele Orman Regresörü, İzotropik Plakalar, Yapay Zeka, Doğal Frekans.

\* Corresponding Author: [droguzhandas@gmail.com](mailto:droguzhandas@gmail.com)

## 1. Introduction

Evaluation of dynamic properties of engineering structures is an essential task at the very beginning of the designing phase to understand the structural behavior and to prevent a possible catastrophic event during operation. The most common technique to obtain the dynamic characteristics is Finite Element Method (FEM) based analyses, which provide numerical outcomes that are accurate as those of experimental analyses. Employing FEM reduces the cost that is required to conduct experimental analyses and also enables the understanding of various features of a structure or a system. However, FEM also has some drawbacks such as developing accurate mathematical models, the computational cost for complex systems, and expertise to conduct FEM-based analyses and understand the results. Thanks to recent improvements in computer science, the concept of artificial intelligence is employed for various engineering purposes. In addition to the advancements in artificial intelligence, novel and/or improved FEM techniques are also emerged. Accordingly, researchers are utilized different artificial intelligence and FEM techniques to evaluate structural behavior under healthy and various damaged conditions. Some of those key studies have been briefly presented as follows.

Reddy et al. (2012), employed Artificial Neural Networks (ANN) to predict the natural frequency of composite plates having different stacking sequences. They found that their proposed approach successfully predicted the natural frequency by a correlation factor ( $R^2$ ) of 0.998. Avcar and Saplıoğlu (2015) used ANN to predict the first ten natural frequencies of isotropic beams under different dimension parameters and boundary conditions. Besides, they examined different ANN models considering activation function and the number of neurons as differentiating parameters. They concluded that the suitable activation function selection and number of neurons may differ from case to case. Rouzegar and Sharifpoor (2016) employed the Two-Variable Refined Plate Theory to conduct free vibration analysis of isotropic and orthotropic plates using FEM. They found that the presented technique was in good agreement with the true values and the results existed in the literature. Lieu et al. (2018) used isogeometric analysis to conduct bending and free vibration analyses of functionally graded plates (FGM) having a variable thickness. For such a purpose, they employed Generalized Shear Deformation Theory and Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) to represent geometry and to provide a meaningful solution. They found that the bending and vibration characteristics of FGM plates can be obtained by the employed method. Pathirage et al. (2018) examined the effectiveness of autoencoder neural networks and deep learning in identifying damage considering a steel frame structure. Their results indicated that the corresponding proposed approach successfully identified the damage with a correlation factor of 0.996. Nikoo et al. (2018) utilized Heuristic Search and ANN to obtain the natural frequencies of cantilever beams. For this purpose, they employed the genetic algorithm (GA), particle swarm optimization (PSO), and imperialist competitive algorithm (ICA). They found that the GA-ANN technique was superior to the other models with a correlation factor of 0.9291 and 0.010 mean square error value. Aktaş et al. (2019) considered ANN to solve the transcendental equation of longitudinal vibration of a bar, which was fixed from one end and had a mass on the other end. They concluded that the proposed ANN technique was in good agreement with the

analytical calculations. Liu and Yang (2019) employed ANN to measure the vibration frequency via the Kinect V2 sensor. They considered frame, beam, and plate structures to validate the success of the proposed approach. They found that ANN can provide accurate frequency measurement when compared with an industrial vibrometer. Le et al. (2019) considered the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) with GA and PSO to evaluate the buckling damage of steel columns subjected to axially compressive load. They concluded that the ANFIS-PSO technique slightly overperformed ANFIS-GA by a correlation factor of 0.929. Jung et al. (2020) employed Back-Propagated Linear Regression and ANN to evaluate the tensile properties of high strength steel. They claimed that employing a deep learning algorithm resulted in high accuracy in predicting the yield strength, yield ratio, and tensile strength. Cuong-Le et al. (2021) proposed PSO optimized Support Vector Machine (SVM) for damage identification in truss and frame structures. They also compared the proposed method with ANN, Deep Neural Networks (DNN), and ANFIS. They concluded that the proposed approach outperforms the other techniques and successfully identified both damage and the damage level for truss and frame structures. Kallannavar et al. (2021) employed ANN to examine the impact of moisture and temperature on the vibration of skew laminated composite sandwich plates. They found that ANN predicted the outcomes accurately. Hirane et al. (2021) proposed a High-Order Layerwise Finite Element Model to perform static and free vibration analysis of FGM sandwich plates. For this purpose, they considered sandwich plates with FGM face sheets and homogeneous core, isotropic FGM plates, and sandwich plates with homogeneous face sheets and FGM core structures. They concluded that the proposed model gave accurate results for both thin and thick FGM structures. Belarbi et al. (2021) presented an eight-node quadrilateral element to conduct a free vibration analysis of multilayer sandwich plates. They considered different parameters such as aspect ratio, boundary conditions, number of layers, modular ratio, core-to-face thickness ratio, skew angle, geometry, and ply orientations. They claimed that the proposed technique was superior to other traditional methods in terms of both simplicity and accuracy. Zang et al. (2022) employed Isogeometric Scaled Boundary Finite Element Method (IGSBFEM) for free vibration and static analyses of FGM plates. They also measured the impact of the aspect ratio and gradient index on the free vibration and static responses of FGM plates. They concluded that IGSBFEM was in good agreement with other techniques for both free vibration and static analyses. In addition, the proposed method posed an excellent performance on mesh adaptability and it was a shear-locking free approach.

The existing studies in the literature mainly focused on employing ANN as the machine learning technique to predict the static or dynamic properties of a structure. Although ANN is a powerful technique that has the capability of solving an engineering problem effectively, it is challenging to select the correct hyper-parameters such as activation function, number of hidden layers, number of neurons per hidden layer, learning rate, and momentum. Besides, it may suffer from computational costs as the number of hidden layers and neurons increases. Therefore, it is needed to develop alternative intelligent techniques to overcome such issues. Based on this motivation, this study utilizes Random Forest Regressor (RFR) technique to predict the fundamental natural frequencies of fully clamped isotropic plates. For this purpose, isotropic plates having different aspect ratios, thickness, and materials have been considered. The data

required to build the intelligent model was obtained by modeling all the structures using FEM in ANSYS Workbench 18.2 environment. To obtain the optimal intelligent model, parameter tuning has been performed considering the number of trees of the RFR. The flowchart of the study has been shown in Figure 1.

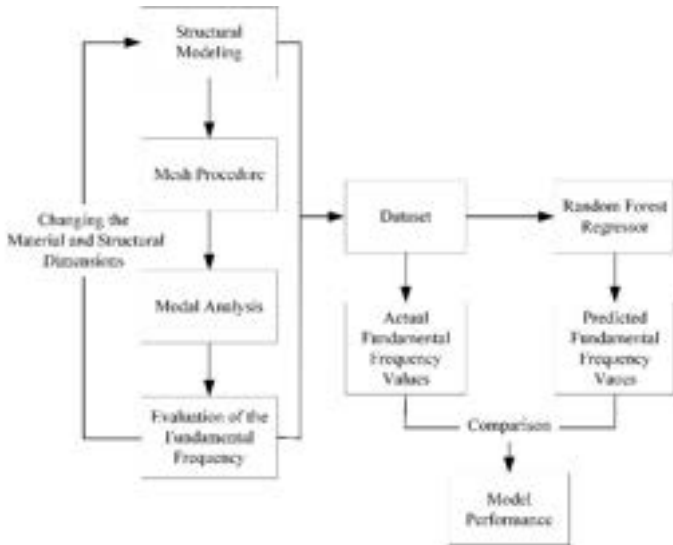


Figure 1. The Flowchart of the Study

The rest of the study has been structured as follows. In section 2, a summary of mathematical expressions of the FEM for free vibration analysis and RFR has been presented. Section 3 gives the convergence results of the developed ANSYS model and presents the performance of the RFR method in predicting the fundamental natural frequency of isotropic plates. The final section draws the key conclusions of the work.

## 2. Material and Method

### 2.1. Mathematical Expressions

The free vibration analyses of isotropic plates shown in Figure 2 have been conducted by employing the Finite Element Method via ANSYS Workbench 18.2 environment. As the finite element, the four-node quadrilateral element shown in Figure 3 has been considered.

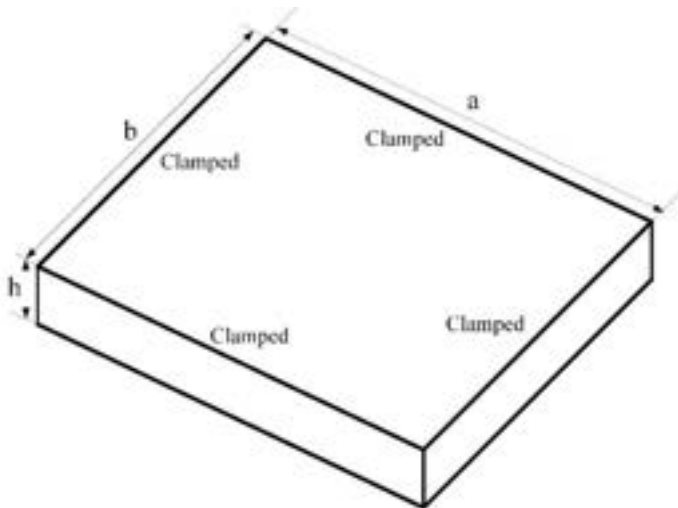


Figure 2. The Illustration of the Isotropic Plates

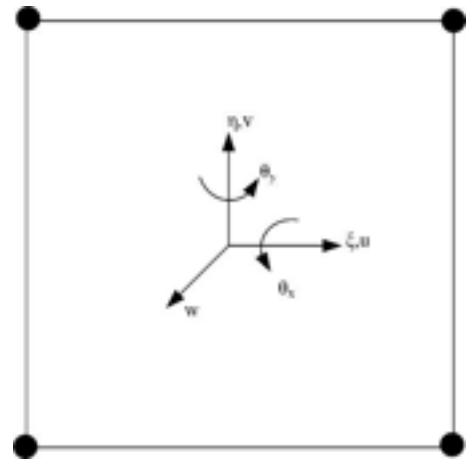


Figure3. The Four-Node Quadrilateral Element

The natural frequencies of those structures have been obtained basically by treating the equation of motion for an undamped conservative system derived by Lagrange equations given in Equation (1) as an eigenvalue problem, which is presented in Equation (2).

$$M\{\ddot{\delta}\} + K\{\delta\} = 0 \tag{1}$$

$$(M - \omega^2 K) = 0 \tag{2}$$

$M$  and  $K$  are the global mass and stiffness matrices,  $\delta$  is the generalized displacement vector, and  $\omega$  is the eigenvalues or in other words, natural frequencies of the structure. The global mass and stiffness matrices are evaluated by assembling element mass ( $m$ ) and stiffness ( $k$ ) matrices, which are obtained through kinetic ( $T$ ) and strain energy ( $U$ ) relations as follows (Petyt, 2010).

$$T = \{\ddot{\delta}_i\}^T m \{\ddot{\delta}_i\} \tag{3}$$

$$U = \{\delta_i\}^T k \{\delta_i\} \tag{4}$$

The displacement vector  $\delta_i$  of the  $i^{th}$  node of a finite element considering five degrees of freedom (DOF) per node can be written as (Petyt, 2010)

$$\{\delta_i\} = \{u_i, v_i, w_i, \theta_{x_i}, \theta_{y_i}\} \tag{5}$$

where

$$\begin{aligned} u &= u_0 + z\theta_y \\ v &= v_0 + z\theta_x \\ w &= w_0 \end{aligned} \tag{6}$$

The kinetic and strain relations can also be expressed as (Petyt, 2010)

$$T = \frac{1}{2} \rho \int_A (\dot{u}^2 + \dot{v}^2 + \dot{w}^2) dz dA \tag{7}$$

$$U = \frac{1}{2} \left( \int_A \{\epsilon\}^T C \{\epsilon\} dz dA + \int_A \{\tau\}^T \{\gamma\} dz dA \right) \tag{8}$$

where  $\varepsilon$  and  $\gamma$  are the strain values for normal and shear stress relations, and  $C$  is the material matrix that can be evaluated for an isotropic material as (Petyt, 2010)

$$C = \begin{bmatrix} \frac{E}{1-\nu^2} & \frac{E\nu}{1-\nu^2} & 0 \\ 0 & \frac{E}{1-\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \quad (9)$$

where  $E$  is the modulus of elasticity,  $G$  is the shear modulus, and  $\nu$  is the Poisson's ratio of the considered material (Petyt, 2010).

In Equation (8),  $\{\tau\}$  represents the shear stress that can be calculated by

$$\{\tau\} = qC_s\{\gamma\} \quad (10)$$

where  $q$  is the shear correction factor,  $C_s$  is the material matrix for shear stress, which is

$$C_s = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & G \end{bmatrix} \quad (11)$$

To obtain the global mass and stiffness matrices, it is required to use the relationship between the displacement equations given in Equation (6) and the shape functions of the four-noded quadrilateral element as follows.

$$u = \sum_i^4 N_i u_i, \quad v = \sum_i^4 N_i v_i, \quad w = \sum_i^4 N_i w_i \quad (12)$$

$$\theta_x = \sum_i^4 N_i \theta_{x_i}, \quad \theta_y = \sum_i^4 N_i \theta_{y_i}$$

where

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta) \quad (13)$$

All of the mathematical expressions indicated above change in accordance with the thickness of the structure. For thin structures, the shear components are negligible, and therefore, the rotations  $\theta_x$  and  $\theta_y$  are depended on the slope with respect to the displacement  $w$ . In addition, the kinetic and strain energy relations also change due to the assumptions made because of the behavior of the thin structure.

### 2.1. Random Forest Regressor

Random Forest Regressor (RFR) is an ensemble machine learning technique, which sums decision trees to lower the variance by taking the average of the results (Breiman, 2001). Thanks to this procedure, RFR constitutes a community of low correlated trees. RFR can be briefly explained in two steps. The first one is growing the trees by conducting observations on the sub-data, which is chosen randomly. In the next and final step, the grown trees are going to be assembled to obtain the forest. For regression problems, Random Forest assesses the result by averaging the predictions that are evaluated for each tree. Such an assessment can be expressed mathematically as

$$O(x) = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P o_i(x) + e \quad (14)$$

where  $o_i(x)$  represents the prediction made for each decision tree,  $O(x)$  is the prediction of each observation,  $P$  is the number of iterations, and  $e$  denotes the error.

### 3. Results and Discussion

To train and test the RFR model to predict the fundamental frequency of isotropic structures, the dataset comprising isotropic plates having different dimensions and material properties has been obtained. Before proceeding to gather the necessary data, a convergence analysis has been performed to validate the correctness of the FEM model built in ANSYS. For this purpose, a 10 m square plate with 0.05 m thickness has been considered. The same material from an existing literature study (Shojaee, 2012) has been considered for convergence analysis. The structure has been clamped from all edges for all analyses made within the scope of this study. For the meshing procedure, 500 mm mesh size has been considered for convergence analysis. The meshed structure indicating the element quality has been presented in Figure 4. It is seen from Figure 4 that almost perfect mesh quality (0.999) has been obtained. Table 1 shows the convergence results considering the first three non-dimensional natural frequencies ( $\omega_{nd}$ ), which can be calculated as follows.

$$\omega_{nd} = \left( \frac{\omega^2 a^4 \rho h}{\phi} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (15)$$

$$\phi = \frac{Eh^3}{12h(1-\nu^2)}$$

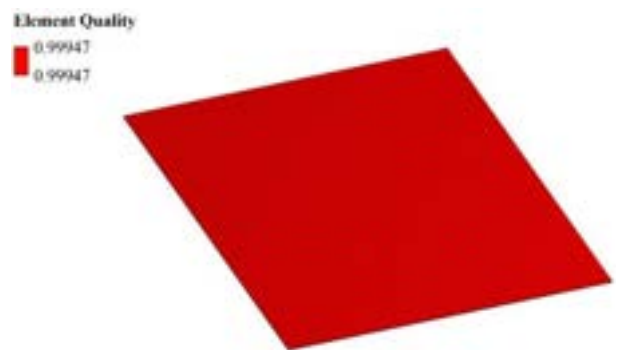


Figure 4. Meshed Structure and Element Quality

Table 1. Convergence Analysis Results

Natural Frequency	Present Study	Shojaee et al., 2012	Bui and Nguyen, 2011	Cheung et al., 1988
$\omega_{nd1}$	2.390	2.207	2.215	2.219
$\omega_{nd2}$	3.410	3.725	3.704	3.725
$\omega_{nd3}$	3.410	3.725	3.706	3.725

As seen in Table 1, the considered FEM model is in good agreement with the results of existing literature. For the rest of the analyses, the isotropic plates have been modeled in the same manner. For data acquisition, the fully clamped isotropic plates have been designed considering the dimension parameters given in Table 2 and material properties given in Table 3. Since the dimensions have varied, it has been considered to select the same mesh size – plate dimension ratio. Therefore, a mesh size of 5 mm has been considered for entire analyses.

Table 2. Dimension Parameters

Dimension	Initial Value (mm)	Interval (mm)	Final Value (mm)
<i>a</i>	100	100	500
<i>b</i>	100	100	500
<i>h</i>	5, 10, 20, 30, 40, 50 mm		

Table 3. Material Parameters

Material	Modulus of Elasticity (GPa)	Shear Modulus (GPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio
Structural Steel	200	76.92	8000	0.3
Aernet 100	194	74.60	7890	0.3
Al 7108	71	26.70	2770	0.33
Al 2024	73.1	27.50	2780	0.33

Considering the parameters given in Tables 2 and 3, a total of 364 analyses have been conducted. Therefore, the dataset has included 364 instances. To train and test the proposed technique, the two dimension related and one material input has been considered. The dimensional inputs are the aspect ratio (*a/b*) and the shortest length-thickness ratio (*b/h*), respectively. As for the input that represents the material properties the value of  $\varphi$  (see Equation (14) ) has been taken into account. All analyses have been conducted via Python 3.9. The analyses have been conducted on a computer with an Intel i5-8300H Dual-Core 2.30GHz processor and 16 GB RAM. Before proceeding with the training process, a hyperparameter tuning procedure has been conducted regarding the number of decision trees for the Random Forest Regressor.

Figures 5 and 6 show the convergence diagram of the Random Forest Regressor with respect to the correlation factor ( $R^2$ ) and mean square error (MSE), respectively.

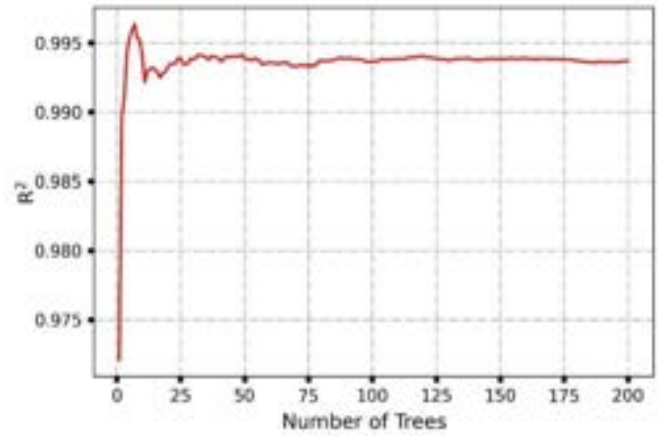


Figure 5. Convergence Diagram of Number of Trees and Correlation Factor

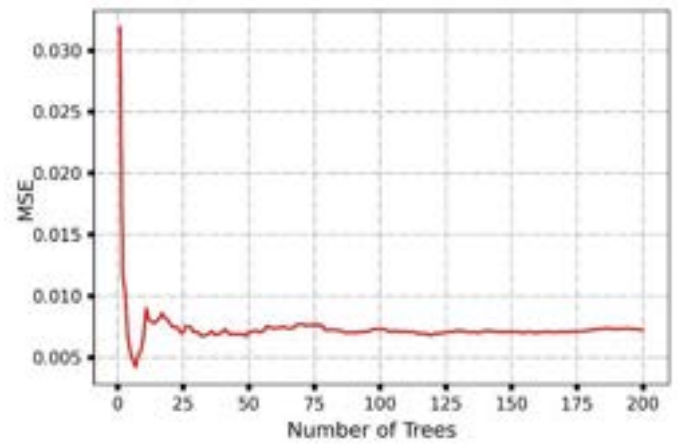


Figure 6. Convergence Diagram of Number of Trees and Mean Square Error

As seen from Figures 5 and 6, the performance of the Random Forest Regressor (RFR) has been optimized after approximately 100 trees. Therefore, the prediction model has been built by using 100 trees. To train and test the proposed approach, the train-test set ratio was chosen as 80-20%, which is the default setting.

Table 4 presents the performance metrics of RFR in predicting the fundamental natural frequency of isotropic plates. As seen from the results, the  $R^2$  score is almost perfect (0.993) and the mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), and mean absolute error (MAE) are quite low. These results indicate that the proposed approach is not only suitable for such a problem due to its high correlation factor score, but also it has predicted the fundamental frequency values with high accuracy considering the low error rates.

Table 4. Performance Metrics of the RFR Technique

Phase	$R^2$	MSE	RMSE	MAE
Training	0.9991	0.0008	0.0292	0.0155
Test	0.9936	0.0073	0.0852	0.0501

Since one of the most common machine learning algorithms used in this field is Artificial Neural Network (ANN), the performance of the Random Forest Regressor (RFR) has been compared with ANN considering a single hidden layer with 100

neurons, and Tanh, Sigmoid, and Rectified Linear Unit (ReLU) activation functions. The number of iterations for ANN is set automatically. Therefore, the algorithm has stopped iterating as convergence has been obtained. Table 5 gives the comparison results considering the test set.

Table 5. Comparison of the RFR Technique with Different ANN Models

Phase	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	MAE	Time (s)
RFR	0.9936	0.0073	0.0852	0.0501	0.127
ANN (Tanh)	0.8939	0.1212	0.3481	0.1995	4.935
ANN (ReLU)	0.8918	0.1235	0.3515	0.2182	0.905
ANN (Sigmoid)	0.7842	0.2466	0.4965	0.3022	5.972

It is seen from Table 5 that the RFR technique outperforms ANN in every aspect. RFR is not only the most correlated technique, but also it is the fastest and the most accurate method when compared with ANN.

Table 6 presents some numerical results indicating the prediction performance of the RFR technique considering the non-dimensional fundamental frequency domain.

Table 6. Prediction Performance of the RFR Technique for Randomly Selected Isotropic Plates

Material	a/b	b/h	Actual	Predicted	Difference (%)
Structural Steel	2	4	2.361	2.339	0.90
Structural Steel	3	2	2.264	2.265	0.08
Aernet 100	5	20	4.197	4.181	0.38
Al 7108	1	40	2.384	2.382	0.10
Al 7108	1	80	2.391	2.390	0.04
Al 2024	2	10	2.691	2.654	1.38

As seen in Table 6, the proposed technique successfully predicted the fundamental natural frequency of isotropic plates no matter which type of material and dimensions have been considered. Comparing all the predicted results with the test set indicated that the average prediction accuracy is 99.12%. Therefore, it can be concluded that the Random Forest Regressor is suitable to predict the fundamental natural frequency of isotropic plates as the input values mentioned above are considered. Another key result is the elapsed time during the execution of the proposed approach. It has been calculated that the training and testing procedure has taken only 0.127 seconds. Compared with the traditional methods and ANN-based techniques, the proposed approach is not only accurate but also significantly fast and therefore, reduces the computational cost required to conduct such an analysis.

#### 4. Conclusions

This study proposes an alternative intelligent approach, which employs the Random Forest Regressor to predict the fundamental natural frequency of isotropic plates having different materials and dimensions. According to the numerical analysis, the following conclusions have been drawn.

- The Random Forest Regressor is found to be suitable for predicting the fundamental frequencies of isotropic plates due to its high correlation factor (0.994) and small mean square error, root mean square error, and mean absolute error.
- In addition to its suitability, the Random Forest Regressor predicted the fundamental frequencies of isotropic plates with an average accuracy of 99.88% regardless of the material and structural dimensions. This makes the algorithm not only accurate but also robust and responsive to the possible changes in the properties of the structure.
- Since training and testing the proposed approach has taken only 0.127 seconds, it can be concluded that employing Random Forest Regressor reduces the computational cost that is required to conduct free vibration analyses.
- RFR outperforms ANN in not only in terms of the suitability for predicting the fundamental natural frequency of an isotropic plate but also in terms of execution speed and prediction accuracy.
- Due to the positive aspects of the Random Forest Regressor, it may be utilized for other engineering analyses as well.
- Future works may examine the performance of the proposed method considering a wider range of isotropic and composite materials, structural dimensions, and boundary conditions.

#### References

Aktaş, G. R., Emül, A., & Orhan, S. (2019). An Artificial Neural Network (ANN) Approach for Solution of the Transcendental Equation of Longitudinal Vibration. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(1), 161–170.

Avcar, M., & Saplioglu, K. (2015). An artificial neural network application for estimation of natural frequencies of beams. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6(6).

Belarbi, M. O., Zenkour, A. M., Tati, A., Salami, S. J., Khechai, A., & Houari, M. S. A. (2021). An efficient eight-node quadrilateral element for free vibration analysis of multilayer sandwich plates. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 122(9), 2360–2387.

Breiman, L. (2001). *Machine Learning*, 45(1), 5–32.

Bui, T. Q., & Nguyen, M. N. (2011). A moving Kriging interpolation-based Meshfree method for free vibration analysis of Kirchhoff plates. *Computers & Structures*, 89(3-4), 380–394.

Cheung, Y. K., Tham, L. G., & Li, W. Y. (1988). Free vibration and static analysis of general plate by spline finite strip. *Computational Mechanics*, 3(3), 187–197.

Cuong-Le, T., Nghia-Nguyen, T., Khatir, S., Trong-Nguyen, P., Mirjalili, S., & Nguyen, K. D. (2021). An efficient approach for damage identification based on improved machine learning using PSO-SVM. *Engineering with Computers*.

Hirane, H., Belarbi, M.-O., Houari, M. S., & Tounsi, A. (2021). On the layerwise finite element formulation for static and free vibration analysis of functionally graded sandwich plates. *Engineering with Computers*.

Jung, I. D., Shin, D. S., Kim, D., Lee, J., Lee, M. S., Son, H. J., Reddy, N. S., Kim, M., Moon, S. K., Kim, K. T., Yu, J.-H.,



- Kim, S., Park, S. J., & Sung, H. (2020). Artificial Intelligence for the prediction of tensile properties by using microstructural parameters in high strength steels. *Materialia*, 11, 100699.
- Kallannavar, V., Kattimani, S., Soudagar, M. E., Mujtaba, M. A., Alshahrani, S., & Imran, M. (2021). Neural network-based prediction model to investigate the influence of temperature and moisture on vibration characteristics of skew laminated composite sandwich plates. *Materials*, 14(12), 3170.
- Le, L. M., Ly, H.-B., Pham, B. T., Le, V. M., Pham, T. A., Nguyen, D.-H., Tran, X.-T., & Le, T.-T. (2019). Hybrid artificial intelligence approaches for predicting buckling damage of steel columns under axial compression. *Materials*, 12(10), 1670.
- Lieu, Q. X., Lee, S., Kang, J., & Lee, J. (2018). Bending and free vibration analyses of in-plane bi-directional functionally graded plates with variable thickness using isogeometric analysis. *Composite Structures*, 192, 434–451.
- Liu, J., & Yang, X. (2019). Artificial Neural Network for vibration frequency measurement using Kinect V2. *Shock and Vibration*, 2019, 1–16.
- Nikoo, M., Hadzima-Nyarko, M., Karlo Nyarko, E., & Nikoo, M. (2018). Determining the natural frequency of cantilever beams using ann and heuristic search. *Applied Artificial Intelligence*, 32(3), 309–334.
- Pathirage, C. S., Li, J., Li, L., Hao, H., Liu, W., & Ni, P. (2018). Structural damage identification based on autoencoder neural networks and Deep Learning. *Engineering Structures*, 172, 13–28.
- Petyt, M. (2010). *Introduction to finite element vibration analysis*. Cambridge University Press.
- Reddy, M. R. S., Reddy, B. S., Reddy, V. N., & Sreenivasulu, S. (2012). Prediction of natural frequency of laminated composite plates using artificial neural networks. *Engineering*, 04(06), 329–337.
- Rouzegar, J., & Abdoli Sharifpoor, R. (2016). Finite element formulations for free vibration analysis of isotropic and orthotropic plates using two-variable refined plate theory. *Scientia Iranica*, 23(4), 1787–1799.
- Shojaee, S., Izadpanah, E., Valizadeh, N., & Kiendl, J. (2012). Free vibration analysis of thin plates by using a NURBS-based isogeometric approach. *Finite Elements in Analysis and Design*, 61, 23–34.
- Zang, Q., Liu, J., Ye, W., Yang, F., Hao, C., & Lin, G. (2022). Static and free vibration analyses of functionally graded plates based on an isogeometric scaled boundary finite element method. *Composite Structures*, 288, 115398.



# The Effect of Lithium Toxicity on the Goldfish (*Carassius auratus*) Brain

Sama Amer Abbas El-Tekreti<sup>1\*</sup>, Aslı Çilingir Yeltekin<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Sama Amer Abbas El-Tekreti, University of Van Yuzuncu Yil, Faculty of Science, Department of chemistry, van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2480-4567), [samasama.90@yahoo.com](mailto:samasama.90@yahoo.com)

<sup>1</sup> Aslı Çilingir Yeltekin University of Van Yuzuncu Yil, Faculty of Scienc, Department of chemistry, van, Turkey, (ORCID:0000-0003-0071-7434) [aslicyeltelin@gmail.com](mailto:aslicyeltelin@gmail.com)

(First received 1 July 2022 and in final form 21 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1139370)

**REFERENCE:** El-Tekreti, S., Çilingir Yeltekin, A. (2022). The Effect of Lithium Toxicity on the Goldfish (*Carassius auratus*) Brain. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 435-439.

## Abstract

Although lithium is widely used as a standard in decreasing episodes of depression and mania, for its long-term stabilization and efficacy in reducing suicide risk, its use has recently declined due to side effects and the associated toxicity burden. We did this study with the *Carassius auratus* fish as a model to learn about the adverse effects and toxicity of lithium on the brain. The spectrophotometric approach was used to investigate the effects of a lithium dosage (50 mg/L) in *Carassius auratus* at various periods (24 h, 48 h, 72 h, and 96). As a result, the enzymes Catalase (CAT), Superoxide Dismutase (SOD), and Glutathione Peroxidase (GSH-Px) in the *Carassius auratus* brain were shown to be altered by lithium chloride (LiCl).

**Keywords:** Lithium, toxicity, *Carassius auratus*, CAT, SOD, GSH-Px

## Lityum Toksisitesinin Japon Balığı (*Carassius auratus*) Beynine Etkisi

### Öz

Lityum, depresyon ve mani ataklarını azaltmada yaygın olarak standart olarak kullanılmasına rağmen, uzun vadeli stabilizasyonu ve intihar riskini azaltmadaki etkinliği nedeniyle, kullanımı yan etkiler ve ilişkili toksisite yükü nedeniyle son zamanlarda azalmıştır. Bu çalışmayı, lityumun beyin üzerindeki olumsuz etkileri ve toksisitesini öğrenmek için model olarak *Carassius auratus* balığı ile yaptık. Lityum dozajının (50 mg/L) *Carassius auratus*'taki etkilerini çeşitli periyotlarda (24 saat, 48 saat, 72 saat ve 96) araştırmak için spektrofotometrik yaklaşım kullanıldı. Sonuç olarak *Carassius auratus* beynindeki Katalaz (CAT), Süperoksit Dismutaz (SOD) ve Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) enzimlerinin lityum klorür (LiCl) tarafından değiştirildiği gösterildi.

**Anahtar Kelimeler:** Lityum, Toksite, *Carassius auratus*, CAT, SOD, GSH-Px

\* Corresponding Author: [samasama.90@yahoo.com](mailto:samasama.90@yahoo.com)

## 1. Introduction

Lithium is the member of the alkali metal family. Lithium refers to a group of lithospheric elements in their geochemical characteristics. These elements'ions have enormous size. These elements include potassium, rubidium, and cesium. The top continental crust has 21 g/ton of lithium, while saltwater contains 0.17 mg/l (Pilson, 2012).

Lithium is increasingly used in batteries, alloys, and pharmaceuticals. Lithium is also known as a psychoactive drug, used since the 1950s as a mood stabilizer. It also has an effect on the physiology and organization of the body for some species (Aral & Vecchio-Sadus, 2008). In 2002, the worldwide depletion of pure lithium was projected to be at 5,000 tons (Kszos,2003).

Some research has revealed that dissolution of lithium may occur during ore processing, with tailing water containing 13 mg L/L. (Aral & Vecchio-Sadus, 2008). Li concentrations in major lakes range from 0.014 to 14 mg/L across the world. With its expanding application in several industries, lithium output has expanded dramatically in recent years (from 28 to 43 thousand tons between 2010 and 2017) (Labbé and Daw, 2012).

Lithium (Li) occurs naturally in soil and water, and plant absorption enters the food chain. According to research, lithium levels in blood plasma are roughly proportionate to lithium consumption (De Roos et al., 2001, Richelson,1977).

Because there are many sources of lithium in surface and groundwater from recycling facilities, chemical industraztion, and nuclear-related waste disposal areas, it affects embryonic development in fish (Stachel et al., 1993) and plasma membrane protein modeling in amphibian embryos ( Lazou and Beis, 1993). In oceans and coastal areas, factors (temperature, salinity, pH, and trophic environment) can influence the lithium accumulation capabilities of an organism (Ansari et al., 2004; Luoma, 1983).

Li has been demonstrated to impact levels of arachidonic acid (AA), one of the most prevalent fatty acids in the brain, which may explain its activity as a mood stabilizer. Free fatty acids such as AA play a role in active cellular transport (the movement of ions or molecules across the cell membrane) through their effect on compounds that affect osmosis, prompting researchers to study the formation of ions and ion transport proteins that are involved in active transport.

In a municipal wastewater treatment facility in Denmark, lithium concentrations were between 5 and 6 mg/kg. Li toxicity in fish was equivalent to uranium toxicity in zebrafish, which has a LC50 of 88 mg/L (Hamilton, 1995). The possible toxicity of lithium as a result of environmental exposure and therapeutic excess has already been investigated. A research on the toxicity of lithium discovered that Li may have a mechanism similar to copper in that it hampered energy generation and ion control (Aral & Vecchio-Sadus, 2008). Through the chloride cells in the gills of the fish, ion osmosis takes place, where these cells are the controllers of this process. These cells are partially covered by respiratory cells. Li is absorbed via the sodium channel in the gills (Grosell and Wood., 2002. Bury et al., 2003).

## 2. Material and Method

Carassius auratus were taken from van Lake (Turkey) and transferred to Van Yuzuncu Yil University. Two glass tanks with a capacity of 10.0 L were used and forty-eight fish (1.80

± 0.05 g) were distributed randomly. Fishes were housed for 5 days and fed regularly twice a day on a commercial diet without lithiu. Tanks containing fish were kept in a period of natural light and continuous ventilation. The water temperature was 25.0 ± 1 °C. Li treatments were performed on Carassius auratus in one tank. The concentration of LiCl was increased, and the final concentration of Lithium in one glass tank was 50 mg/L. (28 fish).The fish were divided into 20 fish into the control group and 28 fish with application group. In the 24, 48, 72 and 96 hours, fish were collected for sampling. When sampling, fish were drugged by MS 222 (0,1 g/L). Tissue was homogenized and stored at -18 °C until analyzed.

### 2.1. Biochemical Analysis

Using the randox-Ransod assay, superoxide dismutase (SOD) activity was measured at 37 °C, 505 nm and under UV spectrum (Shimadzu UV-1201, UV-Vis Japan) (Xia et al., 1995). Based on the decomposition of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) under 240 nm a UV spectrophotometer approach was used to evaluate CAT enzyme activity (Aebi, 1984). The Placer (1966) technique was used as a pink-violet absorption spectrophotometer under 532 nm, which was detected upon the interaction of thiobarbituric acid TBA and MDA. In order to determine the activity of GSH-Px in plasma, Randox-Ransod enzyme kit was used at 37 °C and 340 nm by the UV spectrum.

### 2.2. Statistical Analysis

To compare study groups, p<0.05 was used to determine statistically significant differences. The data were offered as mean values ± with a standard error of the mean (s.e.m). SPSS was used to do statistical analysis on all data (version 23.0 Inc ).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Results

#### Effects of Lithium Chloride Toxicity on SOD and GSH-Px Activity in Carassius auratus Brain

In Figures 1 and 2, the effects of lithium chloride on SOD and GSH-Px activity in the Carassius auratus brain exhibited a considerable increase when compared to the control group. Throughout the study, lithium chloride exhibited a noticeable influence on SOD and GSH-Px activity.

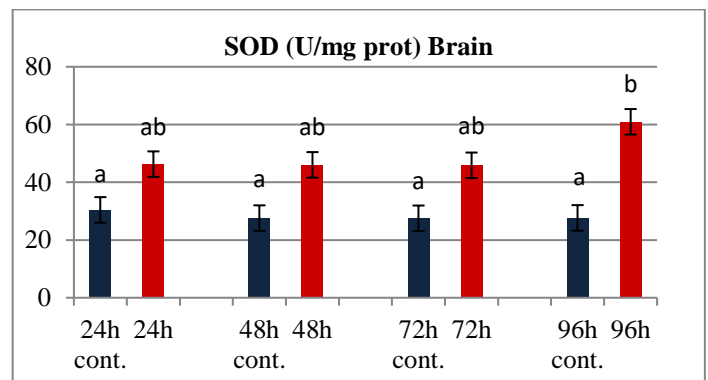


Figure 1. Effects of lithium chloride on SOD activity in Carassius auratus brain

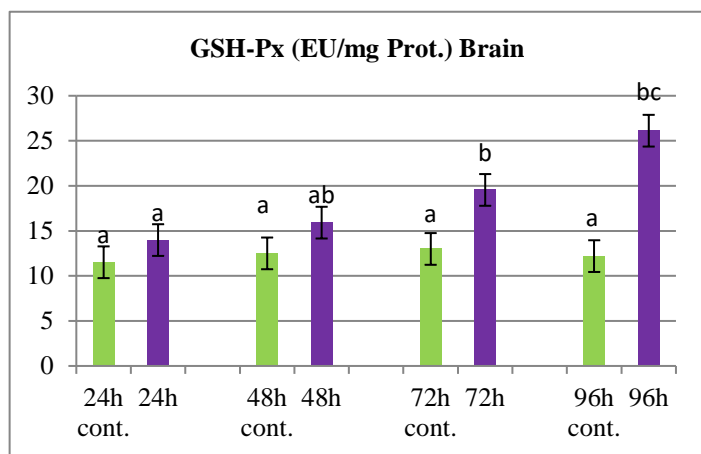


Figure2. Effects of lithium chloride on GSH-Px activity in *Carassius auratus* brain

### Effects of Lithium chloride toxicity on CAT and BChE activity in *Carassius auratus* tissue

CAT activity in the brain of *Carassius auratus* treated with lithium chloride was significantly lower than in the control group ( $p < 0.05$ ) (Figure. 3). In 96h, an increase in the activity of catalase was observed. BChE activity was decreased in the brains of fish exposed to lithium chloride ( $P < 0.05$ ) (Figure 4).

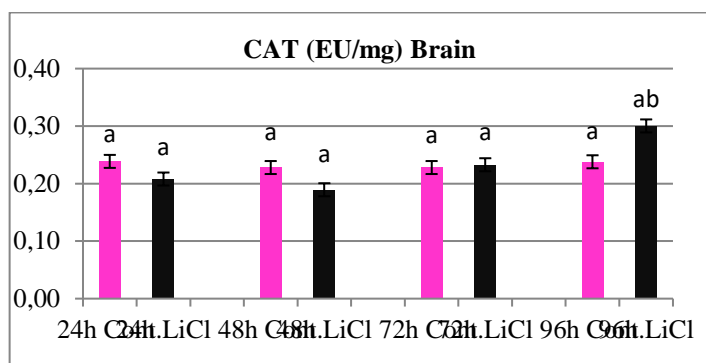


Figure3. Effects of lithium chloride on CAT activity in *Carassius auratus* brain

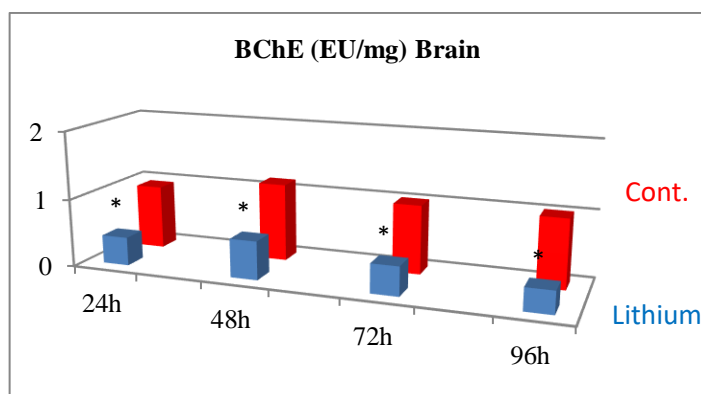


Figure4. Effects of lithium chloride on BChE activity in *Carassius auratus* brain

## 4. Discussion

Mineral-induced alterations in the physiology and survival of aquatic creatures under mineral stress are complicated because

they differ from mineral to mineral and species to species. The precise causes of mortality from heavy metal poisoning are many and are mostly determined by the metal content in the environment and time.

Fish have only been employed as experimental subjects in a few lithium behavioral experiments, but the results have already supplied some helpful information that may have been included in a general model of lithium action. When fish are given a regular dose of poison, their tolerance drops over time, and the toxin has more time to affect them.

Monitoring changes in enzyme activity in tissues is critical for determining fish physiological state and diagnosing fish illnesses. In this study, it was discovered that lithium chloride altered BChE, CAT, SOD, and GSH-Px enzyme activity in *Carassius auratus* brain tissue.

The goldfish has been found to be an excellent model for biological studies as it readily absorbs water-soluble substances. Its tissues balance over a short period with the solutions in which it swims. Mineral accumulation levels in fish tissues vary according to the species of fish, age patterns, physical and chemical features, and the chemical condition of the environment in which they reside (ThangaMalathi and Anuradhaf, 2020). Environmental pollutants can either boost or decrease the activity of antioxidant enzymes.

In our study reveals an increased level of SOD in brain tissues of *Carassius auratus* fish treated with lithium chloride indicating a detoxification mechanism against toxicity (Figure 1). This rise is owing to the cells' constant generation of  $O_2^-$  superoxide anion, as well as their stimulation and reactivation to create the enzyme (Oruç, 2010).

Dimitrova et al. (1994) found a comparable increase in superoxide dismutase activity in *Cyprinus carpio* after exposure to zinc and lead. Farombi et al. (2008) discovered that SOD activity rises in Butachlor-treated liver and kidneys in *Clarias gariepinus*. Stara et al. (2012) confirmed the SOD modification by seeing comparable changes in the muscles of the common carp *Cyprinus carpio* after treatment with Simazine.

In order to counteract the cell damage caused by poisoning in fish, the activity of antioxidant enzymes is either enhanced or decreased. Increased SOD activity in *Carassius auratus* implies an increased antioxidant state in an effort to counteract the effects of ROS. Anusuya and Hemalatha (2014) also discovered a time-dependent increase in superoxide dismutase activity in *Channa striatus* treated to 2, 4-D pesticide.

GSH-Px activity was elevated in the brain following lithium chloride exposure (Figure 2), which might be attributed to increased synthesis and enzyme stimulation by  $H_2O_2$  generated from  $O_2$ . (Ahmad et al., 2000). GSH-Px activation was shown to be increased in *Carpio* and *Ictalurus nebulosus* exposed to dichlorvos (Varga and Matkovic, 1997).

CAT is an active enzyme that is the first to exhibit changes once oxidative stress is induced (Jin et al., 2010). In our study, we observed a decreased in the CAT level in *Carassius auratus* brain at 24 hours due to oxidative stress caused by lithium chloride toxicity (Figure 3). Then the CAT level was increased in the brain after exposure to lithium chloride for 96 hours, the increases in these enzyme activity is likely in response to toxic stress and neutralize the effect of increased generation of reactive oxygen species (John et al., 2001). In the 7-day exposure group, groups treated with CBZ had higher CAT activity than the control group (Li, Zhi-Hua et al., 2010).

One of the neurotransmitter systems implicated in the pathophysiology of mood disorders is the cholinergic system. (Furey and Drevets, 2006). Cholinesterase biomarkers have been widely used in a variety of species. When organisms are exposed to harmful compounds, such as polycyclic aromatic hydrocarbons, organophosphates, and carbamates, these enzymes are activated. Cholinesterase inhibition has been examined in many organs and systems Specifically in brain tissue (Boer et al., 1993). Fish with higher enzyme activity, according to Murphy et al, exhibit increased enzyme inhibition following pesticide exposure. Our findings corroborate these conclusions. Because of their great sensitivity and presentation of the earliest identifiable evidence of sublethal stress response in organisms, biomarkers are effective indicators of pollution (Braunbeck et al.,1995). Because enzyme activity in target tissues contributes to neurotransmission, blocking cholinesterase in the nervous system or muscle harms organisms (Padilla, 1995).

According to research, lithium may interact with the cholinergic system selectively (Bhalla et al., 2007). Lithium has been demonstrated to increase seizures in the central nervous system caused by pilocarpine, physostigmine, neostigmine, and other cholinergic mimetics, which can be avoided by either anticholinergic or anticonvulsant medications (Chaudhary and Gupta, 2001).

Our study notice a significant inhibiting in BChE (Butyrylcholinesterase) activity in the brains of *Carassius auratus* fish when treated with lithium chloride compared to the control groups (Figure 4). As is known, the primary role of BChE regulating brain acetylcholine (ACh) levels (O'Brien,2016, Silver,1974). As a result, if the concentration of ACh is high, BChE will be more successful in compartmentalizing it. In this regard, it is worth noting that in our investigation, BChE activity levels in *Carassius auratus* were connected to AChE activity levels in the brain.

## 5. Conclusions

The results obtained showed that lithium compounds have a positive effect on the toxic metabolism in the fish brain by inhibiting the antioxidant activities.

The researchers discovered alterations in oxidative stress indicators and antioxidant defenses in the brain of *Carassius auratus* following long-term exposure to lithium chloride. According to the current findings, when *Carassius auratus* tissue is exposed to lithium chloride, antioxidant activity (SOD, GSH-Px, and CAT) and antioxidant gene expression are boosted in an attempt to counteract the effect of reactive oxygen species.

It is necessary to study the possible relationship between oxidative stress and the chemo physiological response of different aquatic organisms using the long exposure time in other studies. In terms of lithium applications, the biochemical processes associated with the functional expression of target genes and antioxidant defense in this work may make major contributions to the literature. Based on these findings, we feel that research into the harmful effects of lithium compounds and the enhancement of the antioxidant defense system should be broadened.

In the setting of BuChE inhibition in brain tissues, LiCl is very hazardous. At different amounts of exposure, LiCl had varying effects on brain functioning, including neurotransmission. Because of the very poisonous lithium chloride, they must be thoroughly monitored in the environment in order to limit the deleterious effects on creatures.

**ACKNOWLEDGMENT** This study was supported by the project of Van Yuzuncu Yil University, Scientific Research Projects with FBA-2021-9332 project.

## References

- Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.
- Ahmad, I., Hamid, T., Fatima, M., Chand, H. S., Jain, S. K., Athar, M., & Raisuddin, S. (2000). Induction of hepatic antioxidants in freshwater catfish (*Channa punctatus* Bloch) is a biomarker of paper mill effluent exposure. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1523(1), 37-48.
- Ansari, T. M., Marr, I. L., & Tariq, N. (2004). Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review. *Journal of Applied Sciences*, 4(1), 1-20.
- Anusuya, L., & Hemalatha, O. (2014). Effect of 2, 4-D pesticide on fish physiology and its antioxidant stress. *World Journal of Fish and marine Sciences*, 6(1), 98-100.
- Aral, H., & Vecchio-Sadus, A. (2008). Toxicity of lithium to humans and the environment—a literature review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 70(3), 349-356.
- Bhalla, P., Garg, M. L., & Dhawan, D. K. (2010). Protective role of lithium during aluminium-induced neurotoxicity. *Neurochemistry international*, 56(2), 256-262.
- Braunbeck, T., Hauck, C. R., Scholz, S., & Segner, H. (1995). Mixed function oxygenases in cultured fish cells: contributions of in vitro studies to the understanding of MFO induction. *Zeitschrift für angewandte Zoologie*, 81, 55-72.
- Bury, N. R., Walker, P. A., & Glover, C. N. (2003). Nutritive metal uptake in teleost fish. *Journal of experimental biology*, 206(1), 11-23.
- Chaudhary, G., & Gupta, Y. K. (2001). Lithium does not synergize the peripheral action of cholinomimetics as seen in the central nervous system. *Life Sciences*, 68(18), 2115-2121.
- De Boer, J. D., Stronck, C. J. N., Traag, W. A., & Van der Meer, J. (1993). Non-ortho and mono-ortho substituted chlorobiphenyls and chlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in marine and freshwater fish and shellfish from the Netherlands. *Chemosphere*, 26(10), 1823-1842.
- De Roos, N. M., de Vries, J. H., & Katan, M. B. (2001). Serum lithium as a compliance marker for food and supplement intake. *The American journal of clinical nutrition*, 73(1), 75-79.
- Dimitrova, M. S., Tishinova, V., & Velcheva, V. (1994). Combined effect of zinc and lead on the hepatic superoxide dismutase-catalase system in carp (*Cyprinus carpio*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 108(1), 43-46.
- Farombi, E. O., Ajimoko, Y. R., & Adelowo, O. A. (2008). Effect of butachlor on antioxidant enzyme status and lipid peroxidation in fresh water African catfish, (*Clarias gariepinus*). *International journal of environmental research and public health*, 5(5), 423-427.
- Furey, M. L., & Drevets, W. C. (2006). Antidepressant efficacy of the antimuscarinic drug scopolamine: a randomized, placebo-controlled clinical trial. *Archives of general psychiatry*, 63(10), 1121-1129.
- Grosell, M., & Wood, C. M. (2002). Copper uptake across rainbow trout gills: mechanisms of apical entry. *Journal of Experimental Biology*, 205(8), 1179-1188.

- Hamilton, H. (1995). The thermal cycling behaviour of lithium titanate. *Journal of nuclear materials*, 219, 274-283.
- Jin, Y., Zhang, X., Shu, L., Chen, L., Sun, L., Qian, H., ... & Fu, Z. (2010). Oxidative stress response and gene expression with atrazine exposure in adult female zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 78(7), 846-852.
- John, S., Kale, M., Rathore, N., & Bhatnagar, D. (2001). Protective effect of vitamin E in dimethoate and malathion induced oxidative stress in rat erythrocytes. *The Journal of nutritional biochemistry*, 12(9), 500-504.
- Kszos, L. A., & Stewart, A. J. (2003). Review of lithium in the aquatic environment: distribution in the United States, toxicity and case example of groundwater contamination. *Ecotoxicology*, 12(5), 439-447.
- Labbé, J. F., & Daw, G. (2012). Panorama 2011 du marché du lithium (Doctoral dissertation, Bureau de recherches géologiques et minières [BRGM]; Centre d'Economie de la Sorbonne [CES]).
- Lazou, A., & Beis, A. (1993). Lithium induces changes in the plasma membrane protein pattern of early amphibian embryos. *Biology of the Cell*, 77, 265-268.
- Li, Z. H., Velisek, J., Zlabek, V., Grabic, R., Machova, J., Kolarova, J., & Randak, T. (2010). Hepatic antioxidant status and hematological parameters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, after chronic exposure to carbamazepine. *Chemico-biological interactions*, 183(1), 98-104.
- Luoma, S. N. (1983). Bioavailability of trace metals to aquatic organisms—a review. *Science of the total environment*, 28(1-3), 1-22.
- Murphy, H. M., & Jenkins, G. P. (2010). Observational methods used in marine spatial monitoring of fishes and associated habitats: a review. *Marine and Freshwater Research*, 61(2), 236-252.
- O'Brien, R. D. (2016). *Toxic phosphorus esters: Chemistry, metabolism, and biological effects*. Elsevier.
- Oruç, E. Ö. (2010). Oxidative stress, steroid hormone concentrations and acetylcholinesterase activity in *Oreochromis niloticus* exposed to chlorpyrifos. *Pesticide biochemistry and physiology*, 96(3), 160-166.
- Padilla, S. (1995). Regulatory and research issues related to cholinesterase inhibition. *Toxicology*, 102(1-2), 215-220.
- Pilson, M. E. (2012). *An Introduction to the Chemistry of the Sea*. Cambridge University Press.
- Placer, Z. A., Cushman, L. L., & Johnson, B. C. (1966). Estimation of product of lipid peroxidation (malonyl dialdehyde) in biochemical systems. *Analytical biochemistry*, 16(2), 359-364.
- Richelson, E. (1977). Lithium ion entry through the sodium channel of cultured mouse neuroblastoma cells: a biochemical study. *Science*, 196(4293), 1001-1002.
- Silver, A. (1974). *The biology of cholinesterases*.
- Stachel, S. E., Grunwald, D. J., & Myers, P. Z. (1993). Lithium perturbation and gooseoid expression identify a dorsal specification pathway in the pregastrula zebrafish. *Development*, 117(4), 1261-1274.
- Stara, A., Machova, J., & Velisek, J. (2012). Effect of chronic exposure to simazine on oxidative stress and antioxidant response in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 33(2), 334-343.
- ThangaMalathi, S., & Anuradha, V. (2020). Lithium Induced Toxicity Profile of Oxygen Consumption, Haematological Parameters and Biochemical Profiles of *Channa punctatus* and *Oreochromis niloticus*. *Nature Environment & Pollution Technology*, 19(2).
- Varga, S. I., & Matkovic, B. (1997). Organophosphate effects on antioxidant system of carp (*Cyprinus carpio*) and catfish (*Ictalurus nebulosus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 117(1), 83-88.
- Xia, Z., Dickens, M., Raingeaud, J., Davis, R. J., & Greenberg, M. E. (1995). Opposing effects of ERK and JNK-p38 MAP kinases on apoptosis. *Science*, 270(5240), 1326-1331.



# The Role of Tourism, Energy Consumption, Urbanization, and Economic Growth on Ecological Footprint: The Turkish Case

Gulden Boluk<sup>1\*</sup>, Murat Guven<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Akdeniz University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8901-8503), [guldenboluk@akdeniz.edu.tr](mailto:guldenboluk@akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Statistics, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0001-5604-4369), [muratguven@sakarya.edu.tr](mailto:muratguven@sakarya.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 11 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1030941)

**ATIF/REFERENCE:** Boluk, G. & Guven, M. (2022). The Role of Tourism, Energy Consumption, Urbanization, and Economic Growth on Ecological Footprint: The Turkish Case. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 440-449.

## Abstract

This study aims to analyze the impacts of tourism, energy consumption, urbanization, and economic growth on the environmental quality in Turkey for the period from 1963 to 2015. Apart from the previous empirical EKC studies, we test the validity of the tourism-induced environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by using a more comprehensive ecological quality indicator named Ecological Footprint. For this purpose, we employ FMOLS and DOLS estimators to estimate our model and CCR estimator to check the robustness of the FMOLS and DOLS estimation results. Moreover, we use the VECM approach to detect the causality between variables. Our results reveal that neither tourism-induced EKC nor tourism-led growth is confirmed for Turkey. Empirical results also show that energy usage, urbanization, and international tourism arrival lead to environmental degradation in Turkey. Hence, the Turkish government should design a more efficient policy that accelerates the transition to renewable energy in the economy, including in the tourism sector. Moreover, Turkey needs to benefit from the advantages of a circular economy and smart tourism.

**Keywords:** Tourism induced EKC, ecological footprint, sustainable tourism, urbanization, time series analysis.

## Turizm, Enerji Tüketimi, Kentleşme ve Ekonomik Büyümenin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Rolü: Türkiye Örneği

### Öz

Bu çalışma, 1963-2015 dönemi için Türkiye'de turizm, enerji tüketimi, kentleşme ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Önceki ampirik EKC çalışmalardan farklı olarak, Ekolojik Ayak İzi olarak adlandırılan daha kapsamlı bir ekolojik kalite göstergesi kullanarak turizm-kaynaklı çevresel Kuznets eğrisi (EKC) hipotezinin geçerliliğini test etmekteyiz. Bu amaçla, modelimizi tahmin etmek için FMOLS ve DOLS tahmincilerini ve FMOLS ve DOLS tahmin sonuçlarının sağlamlığını kontrol etmek için CCR tahmincisini kullanmaktayız. Ayrıca, değişkenler arasındaki nedenselliği tespit etmek için VECM yaklaşımını kullanmaktayız. Sonuçlarımız, Türkiye için hem turizm-kaynaklı EKC hem de turizme dayalı büyümenin doğrulanmadığını ortaya koymaktadır. Ampirik sonuçlar ayrıca enerji kullanımı, kentleşme ve uluslararası turist gelişlerinin Türkiye'de çevresel bozulmaya yol açtığını göstermektedir. Bu nedenle, Türk hükümeti turizm sektörü de dahil olmak üzere ekonomide yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandıran daha verimli bir politika tasarlamalıdır. Ayrıca Türkiye'nin döngüsel ekonominin ve akıllı turizmin avantajlarından faydalanması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Turizm kaynaklı EKC, ekolojik ayak izi, sürdürülebilir turizm, kentleşme, zaman serisi analizi.

\* Corresponding Author: [guldenboluk@akdeniz.edu.tr](mailto:guldenboluk@akdeniz.edu.tr)

## 1. Introduction

Tourism is one of the largest industries in the world, and it promotes economic growth (hereafter EGR) and tourism activities have a multiplier effect on the economy (Shaheen et al., 2019). World Travel&Tourism Council (WTTC) reports that global tourism contributed to 10.3 percent of global GDP (around USD 9 trillion) and created 330 million jobs in 2019 (WTTC, 2020). While tourism creates employment, foreign exchange inflow, and output increase in the economies, it also adversely affects the environment. The tourism sector mainly relies on a stable climate and pleasant environmental conditions. However, it also leads to (Nathaniel et al, 2021, UNCC, 2017). Development in the tourism sector is linked to climate change through various channels; for example, an increased number of visitors raises the energy demand for transportation, catering, restaurants, heating or cooling, accommodation activities, etc. Tourism activities lead to energy utilization directly from primary energy sources like oil and coal and indirectly from electricity obtained from oil and natural gas (Danish & Wang, 2018). According to the United Nations Climate Change (UNCC), the tourism sector emits 5 % of global carbon dioxide emissions, and accommodation is responsible for 20 % of carbon emissions from the tourism sector (UNCC, 2017). These data indicate that tourism has deteriorating impacts on environmental pollution, which exacerbates concerns about tourism sustainability and sustainable economic growth. United Nations (UN) declared the year 2017 to be the International Year for Sustainable Tourism for Development to ensure more responsible tourism and draw attention to the contribution of sustainable tourism to development (Nair, 2017).

As the 6<sup>th</sup> most popular tourism destination, the tourism sector is the most dynamic and fastest-growing sector in the Turkish economy (OECD, 2021). As a result of ambitious reforms in many areas, such as the finance and energy sectors, Turkey's economic and social performances have been impressive since 2000. Turkey has exhibited positive EGR (around 1,8 %) during the 2020 Covid 19 pandemic (TurkStat, 2021). The tourism industry supports economic development by accelerating the foreign currency inflow to Turkey and creating around 2 million jobs (7.4 % of total employment). According to the Association of Turkish Travel Agencies (2020), the contribution of the travel and tourism industry to GDP in Turkey was 3.8 % in 2018 (TÜRSAB, 2020). When an indirect and induced contribution is taken into account, this contribution reaches approximately 12 % of the economy. Using input-output modeling, however, Bölük & Karkacier (2019) highlighted that Turkish tourism is highly integrated with food manufacturing, transportation, agriculture, and energy sectors. Hence, since the environment in Turkey is expected to be disturbed, the interaction between the tourism industry, energy utilization, and environmental quality should be analyzed.

Only a few previous studies examining the role of tourism on the environment in Turkey, like most studies in literature, have focused on CO<sub>2</sub> emissions as a representative of environmental degradation, and air pollution-based implications may be misleading (Lee and Chen, 2021). Moreover, these studies either tested the causal relationship between tourism, GDP, and CO<sub>2</sub> emissions or the link between TOTEN and the tourism sector (i.e., Katircioglu, 2014; De vita et al., 2015, Eyupoglu&Uzar, 2020). The current study differs from previous literature at some points and provides essential contributions. First, in this study,

environmental degradation has been evaluated more powerful and comprehensive indicator entitled EFP, which comprises five substantial areas in addition to air pollution: “*cropland, grazing land, fishing ground, forest area, built-up land*” (Ulucak & Bilgili, 2018) for Turkey. Using more than 600 data points, EFP gives more accurate information about the active pressure of human activities (consumption and production) on natural resources. Second, most tourism-induced EKC evaluates the impact of inbound and/or international tourism on pollution and generally ignores the role of energy consumption (hereafter TOTEN). As emphasized by some researchers (See Dinda, 2004; Marrero, 2010; Danish et.al., 2017 among the others) although energy is the vital factor in shaping the inverted-U shaped relation, which indicates the validity of the EKC hypothesis, few empirical studies analyzed the role of energy in tourism-induced EKC modeling. However, we incorporate the TOTEN into the model to better understand the interaction between tourism, energy, and environmental issues and avoid the omitted variable bias. Third, in most tourism-induced EKC models, causalities between variables were investigated by assuming a linear relationship. However, the EKC hypothesis constitutes the theoretical background of linkages between tourism and EGR, and argues quadratic or cubic functional relationship. Therefore, we examine the inverted U-shaped relationship between EGR and EFP (EKC hypothesis). Fourth, although many studies skip applying a robustness test in the literature, we employ Canonical Cointegrating Regression to control the robustness of the fully modified ordinary least squares and dynamic ordinary least squares estimates. Fifth, few studies on the interaction between tourism and the environment in Turkey generally evaluate the worsening in CO<sub>2</sub> emissions. According to the author's best knowledge, there is only one research paper (See Godil et al.,2020) that investigates the role of tourism on EFP. However, key pollutant factors, namely TOTEN and urbanization, have been neglected for Turkey in this study. Hence there is an obvious limitation of tourism impacts on EFP and results are mixed. Sixth, our results would be useful to understand the effects of urbanization better since there are also controversial results on whether urbanization threatens environmental sustainability (See Shahbaz et al., 2016; Tupy; 2015; Zhou et al., 2012). Therefore, this is the first attempt to empirically analyze the role of energy and urbanization in the tourism-induced EKC relationship in Turkey. In this respect, the results of the current study would provide important implications for sustainable tourism and sustainable growth for Turkey and tourism-induced economies in the world.

The remaining section of the present study is organized as follows. Section two presents a brief literature review. While the data and empirical methodologies are illustrated in Section three, findings and discussions are presented in section four. The final section offers conclusion and discusses the policy implications.

## 2. Literature Review

Many studies in the literature focus on the nexus between tourism, economic growth, and environmental quality. These studies can be reviewed in three branches. In the first branch, it has been empirically tested whether the tourism industry accelerates the long-run GDP increase (e.g. human and physical capital, export) under the tourism-led growth (TLG) hypothesis since the 1970s (Kongbuamai et al., 2020; Hye & Khan,2012). Generally, foreign exchange earnings from the tourism industry are used to import capital and intermediate goods, resulting in



accelerated EGR. The causality relationships between tourism and EGR discuss four arguments: TLG, economic-driven tourism, bidirectional causality, and no causality (Nepal et al., 2019). In earlier studies, Ghali (1976) analyzed whether tourism activities boost Hawaii's economy or not and concluded that income per capita would be 17% lower without the tourism industry. Similarly, Hye & Khan (2013) provided evidence supporting the TLG hypothesis for Pakistan. The link between tourism and EGR was also examined for country groups. For example, while Skerritt & Huybers (2005) analyzes the role of tourism sector on GDP for 37 developing countries, Fayissa et al. (2007) tested TLG for 47 African countries. As highlighted by Nunkoo et al. (2019), research papers on tourism industry and EGR have exceeded 364 scientific publications so far. Despite a large number of research papers, there is a lack of consensus on the exact nature of relationships among tourism, EGR, and the environment. Therefore, this area of research is mixed and still needs more scientific proof. After the pioneering study of Grossman & Krueger (1993), many studies have begun to analyze the relationship between EGR and environmental pollution in the framework of EKC. As known EKC constitutes the theoretical basis of environmental degradation-EGR nexus. This hypothesis proposes that pollution level first increases with economic growth and then lessens with the enhancing economic progress in an inverted U-shape link. EKC has gained importance after the study of Grossman and Krueger (1993) because it is supposed to solve the environmental pollution and/or deterioration problem as a concept. If EKC is valid, then environmental degradation will disappear soon once the countries reach a certain level of EGR<sup>†</sup>.

Later the EKC hypothesis has been linked with the TLG hypothesis and started to be called as "tourism-induced EKC hypothesis" (Kongbuamai et al., 2020). For example, Danish & Wang (2018) investigated the dynamic relationship between the tourism industry, EGR, and CO<sub>2</sub> emissions for BRICS countries from 1995 to 2014. Authors found that tourism encourages EGR; however tourism sector deteriorates the environment. Bella (2018) tested the tourism-induced EKC for France and validated the EKC hypothesis between GHGs and international tourist arrivals. Apart from these studies tourism industry has also been found to mitigate CO<sub>2</sub> emissions or EFP in some countries and/or regions (See Ozturk et al., 2016; Katircioglu et al., 2018).

Since energy usage is at the heart of the growth and climate change debates, many studies have started to discuss the link between TOTEN and EGR. In this second branch of EKC studies, the interaction between environmental pollution, EGR, and aggregate TOTEN has been examined by adding some additional explanatory variables like financial development, trade, total factor productivity, urbanization, foreign direct investment, information and communication technologies, natural gas or coal consumption, etc. for some countries or country groups (see Akbostancı et al., 2009; Apergis & Payne, 2009; Pao & Tsai, 2011, Luzzati & Orsini, 2009, Sarkodie & Strezov, 2018; Dong et al., 2018; Amri, 2018, among the others). Since renewable energy technologies are considered as environment-friendly sources, the role of renewable energy on growth and quality of environment has been started to be discussed in recent EKC studies (See

Apergis & Payne, 2010; Sadorsky, 2009; Marrero, 2010; Danish et al., 2017; Gill et al., 2018; Yao et al., 2019; Sugiawan & Managi, 2016). These studies point out that TOTEN (fossil or renewable energy) has a crucial role in both validations of EKC and mitigating environmental pollution. Similarly, since the tourism industry has a vital role in climate change because of the energy usage for transportation, heating, cooling, cooking, etc., resulting in more CO<sub>2</sub> emissions, some studies in this branch examined the role of international arrivals on environmental pollution. For instance, Danish & Wang (2018) analyzed the dynamic relationship between tourism, energy, and CO<sub>2</sub> emissions for BRICS countries over the period 1995-2014 and found evidence in favour of EKC validation and economy driven tourism industry. By using panel data analysis Shaheen et al. (2019) examined the dynamic linkage between international tourism, TOTEN and CO<sub>2</sub> emissions for top ten tourism induced countries over the period of 1995-2016. Authors found evidence validating the EKC hypothesis and feedback relationship between tourism income and TOTEN. By adding health expenditures into the model, Zaman et al. (2016) examined the role of tourism development and TOTEN and CO<sub>2</sub> for developed and developing countries and found evidence supporting the EKC hypothesis, that growth led to tourism and tourism-induced emissions. Gamage et al. (2017) showed tourism development exacerbates the environmental pollution in Sri Lanka. Udemba (2019) empirically proved that tourism in energy consuming and environment pollutant industry for China. However, Dogan et al. (2017) found no evidence in validating the EKC hypothesis, but the author's results showed that tourism and TOTEN deteriorated CO<sub>2</sub> emissions in OECD countries. Bozkurt et al. (2016) analyzed the role of tourism, energy, and trade openness for BRICS countries over the period from 1995 to 2011 and found that tourism and TOTEN increases the emissions. Instead of focusing on tourism-induced countries, Qureshi et al. (2017) examined the dynamic relationship among the CO<sub>2</sub>, energy, health, and wealth at the province level (80 international destinations from 37 countries) by employing a panel GMM estimator. According to the results, inbound tourism increases the energy demand, GDP, FDI inflow, trade, and CO<sub>2</sub> emissions in these provinces. On the contrary, some authors found no evidence that tourism is a pollutant industry. For example, using the ARDL bounds test and data over the 1980-2016 period, Liu et al. (2019) have no significant impact on air pollution in Pakistan. De Vita et al. (2015) found that EKC is confirmed for Turkey and international tourist arrivals increase the emissions. Using Fourier ADL and ARDL testing, Eyupoglu & Uzar (2020) demonstrated that environmental quality is essential for tourists in the decision process of destination, and tourism increases the CO<sub>2</sub> emissions in Turkey. Some authors investigated the role of TOTEN, international tourism, and GDP on CO<sub>2</sub> emissions at the sectoral level. For example, Jebli & Hadhri (2018) showed that energy utilization and international tourism mitigates the GHGs level emitted from the transportation level in the top ten international destinations.

Apart from the first two branches, studies in the third branch employed the EFP proposed by Rees (1992) and Wackernagel (1994) since EFP is supposed to be a more comprehensive indicator of environmental sustainability than CO<sub>2</sub> emissions. For

<sup>†</sup> In order not to take up too much space, we do not provide detailed information and discussions about EKC hypothesis. Dinda (2004), Shahbaz and Sinha (2018)

and Mitic et al. (2019) provide detailed literature overview of theoretical and empirical EKC studies.

example, Katircioglu et al. (2018) investigated the role of international tourist arrivals and energy utilization on EFP for the top ten tourism destinations. Taking urbanization as a control variable in the model, the author found evidence supporting the tourism induced-EKC for these countries and TOTEN, and urbanization negatively affects the EFP level. Using the quantile ARDL model over the period of 1986-2018, Godil et al. (2020) investigated the asymmetric effect of tourism, financial development, and globalization on EFP in Turkey. The authors found no evidence supporting the EKC hypothesis, but all explanatory variables, including tourism, deteriorate the EFP. Using nonlinear ARDL, Khoi et al. (2021) found a detrimental effect of tourism on EFP for Singapore over the 1978-2016 period. Adding a new variable, namely country-specific risk, and employing a quantile regression approach for 123 countries from 1992 to 2016, Lee & Chen (2021) tested the economic, tourism, and country risk-induced EKC and confirmed validation of EKC for grazing land and forest land. Qureshi et al. (2019) analyzed the impacts of both inbound and outbound tourism in both EFP and different kinds of GHG emissions (namely CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, and NO<sub>x</sub>). The results show that while inbound tourism leads to biodiversity loss and increases CO<sub>2</sub> emissions, there is no relation between outbound tourism and EFP, and food management practices improve ecological diversity. While these studies support the detrimental impact of tourism on the environment, some empirical studies (See Kongbuamai et al., 2020, Ozturk et al., 2016, Mikayilov et al., 2019, among the others) did not find any significant impact of tourism activities on environmental degradation.

### 3. Data and Econometric Methodology

#### 3.1. Data

This study uses annual time series data covering a very long period from 1963-2015 for Turkey. The time period of this study was determined by the data availability. Our dependent variable, which represents environmental deterioration, is EFP. The independent variables are tourism-the number of international arrivals (T), and urbanization-urban population growth (annual %) (URBAN). In addition to these explanatory variables, we use two control variables: GDP-a proxy for EGR (EGR)-is collected as the GDP, constant 2010 US\$ and aggregate energy consumption (TOTEN) (kg oil equivalent). EFP was elaborated from Global Footprint Network (2021). GDP, TOTEN, and urbanization were derived from World Bank (2021), "development indicators". Tourism data have been compiled from TÜRSAB (2021) and World Bank (2021).

#### 3.2. Model Constructions

Following literature summarized in detail in the literature review, this study examines how tourism, TOTEN, and urbanization affect environmental degradation in Turkey. To achieve this goal, the EKC hypothesis is tested, which argues that there is an inverse-U relationship between environmental degradation and income level. For this purpose, we model the relationship between EFP, tourism, TOTEN, urbanization, GDP, and GDP<sup>2</sup> for Turkey within the time series (Enders, 2014) framework as follows:

$$EFP = f(GDP, GDP^2, T, TOTEN, URBAN) \quad (1)$$

Where EFP, GDP, GDP<sup>2</sup>, T, TOTEN, and URBAN represent the ecological footprint, Gross Domestic Product, Gross

Domestic Product square, tourism sector, total energy, and urbanization in Turkey. We carry out the equation (1) in the logarithmic form as follows:

$$LEFP_t = \beta_0 + \beta_1 LGDP_t + \beta_2 LGDP_t^2 + \beta_3 LT_t + \beta_4 LTOTEN_t + \beta_5 LURBAN_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Where  $t=1963, 1964... 2015$ .

In equation (2), subscript t indicates time.  $\beta_0$  and  $\varepsilon_t$  are intercept and the error term.  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  and  $\beta_5$  denote the coefficients of LGDP, LGDP<sup>2</sup>, LT, LTOTEN and LURBAN, respectively. Based on the EKC hypothesis, the expected coefficients for LGDP and LGDP<sup>2</sup> are  $\beta_1 > 0$  and  $\beta_2 < 0$  respectively. If the coefficients of LGDP and LGDP<sup>2</sup> are as expected, there is an inverse-U relationship between EFP, and income level, and it is argued that the EKC hypothesis exists. Moreover, the expected coefficients for LT, LTOTEN, LURBAN are  $\beta_3 > 0, \beta_4 > 0$  and  $\beta_5 > 0$ , respectively. Tourism development could increase LEFP by stimulating energy usage in tourism-related activities such as traveling, food consumption, entertainment, etc. Urbanization could be harmful to environment since a higher level of urbanization can lead to greater use of energy and other natural resources such as forest, land, water, etc. As known, greater use of energy sources leads to increased GHG emissions and environmental deterioration.

### 3.3. Methodology

We first test the stationarity of the variables to determine the order of integration. Considering the order of integration, we avoid the spurious regression problem. Hence, we use Augmented Dickey-Fuller (hereafter ADF) by Dickey & Fuller (1979, 1981), Dickey-Fuller Generalized Least Squares (hereafter DF-GLS), and Elliot, Rothenberg & Stock (hereafter ERS) by Elliott et al. (1996), Phillips Perron (hereafter PP) by Phillips & Perron (1988), Kwiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin (hereafter KPSS) by Kwiatkowski et al. (1992) under the null hypothesis of unit root (null hypothesis of stationarity for KPSS) in our study. After unit root tests, we employ the Maki (2012) cointegration test under the null hypothesis of no cointegration since traditional cointegration tests do not consider structural breaks and are likely to give misleading results. In addition, The cointegration test of Maki (2012) performs better than other cointegration tests of Gregory & Hansen (1996) & Hatemi-J (2008) since Maki accounts for up to five breaks while Gregory & Hansen and Hatemi-J account for one and two breaks, respectively.

In Maki (2012) cointegration test, there are four different models to test the cointegration that allows the structural breaks as following :

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \beta' x_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta_i' x_t D_{i,t} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \gamma t + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta_i' x_t D_{i,t} + \varepsilon_t \quad (5)$$

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \gamma t + \sum_{i=1}^k \gamma_i t D_{i,t} + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta'_i x_t D_{i,t} + \varepsilon_t \quad (6)$$

Where  $t = 1, 2, \dots, T$ .  $y_t$  along with  $x_t = (x_{1t}, \dots, x_{mt})'$  are observable  $I(1)$  variables.  $\varepsilon_t$  represents the equilibrium error. In these equations,  $y_t$  and  $x_t = (x_{1t}, \dots, x_{mt})'$  are scalar and  $(m \times 1)$  vector, respectively. It is assumed that  $z_t = (y_t, x_t)' = z_{t-1} + e_t$ ,  $e_t$  is i.i.d, generates an  $(n \times 1)$  vector  $z_t$ . Positive definite variance covariance matrix,  $\Sigma$ , with mean zero, and  $E|e_t|^s < \infty$  for some  $s > 4$ .  $\mu, \mu_i, \gamma, \gamma_i, \beta' = (\beta_1, \dots, \beta_m)$  and  $\beta'_i = (\beta_{i1}, \dots, \beta_{im})$  denote the true parameters. When  $t > T_{Bi}$  ( $i = 1, \dots, k$ ),  $D_{i,t}$  takes

the value of 1 and 0 otherwise, where  $k$  and  $T_{Bi}$  represent the maximum number of breaks and time period of breaks, respectively. Equation (2) is the model with level shifts. Equation (4) is the regime shifts model allowing for structural breaks of  $\beta$  with  $\mu$ . Equation (5) is the regime shifts model with a trend. Lastly, Equation (6) includes structural breaks of levels, trends, and regressors.

To obtain long-run results from equation (2), we use Fully Modified Ordinary Least Squares (hereafter FMOLS) by Phillips & Hansen (1990) and Dynamic Ordinary Least Squares (hereafter DOLS) by Saikkonen (1992) and Stock & Watson (1993). To overcome the problems due to the long-run correlation between the cointegrating equation and stochastic regressor innovations, the FMOLS estimator uses a semi-parametric correction and follows an efficient mixture normal asymptotic that permits standard Wald tests (Phillips & Hansen, 1990). Moreover, the cointegration regression in DOLS is augmented by leads and lags of the error term in the cointegration equation. Thus, the error term of the result of the cointegrating equation becomes orthogonal to the stochastic regressor innovations (Saikkonen, 1992; Stock & Watson, 1993). Moreover, we employ the VECM approach (Johansen, 1988) based on VAR (Sims, 1980) to test the direction of the causality. This approach limits the long-run behavior of the endogenous variable so that it converges to their cointegrating relationships. At the same time, it allows for short-run adjustment dynamics. Error Correction Term is used as a cointegration term due to the correction of deviation from long-run equilibrium by means of partial short-run adjustments (Brüggemann et al., 2006). Our VECM models is defined as in Etokakpan et al.(2020) by:

$$(1-L) \begin{bmatrix} LEFP_t \\ LGDP_t \\ LGDP_t^2 \\ LT_t \\ LTOTEN_t \\ LURBAN_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^n (1-L) \begin{bmatrix} \beta_{11,i} \beta_{12,i} \beta_{13,i} \beta_{14,i} \beta_{15,i} \beta_{16,i} \\ \beta_{21,i} \beta_{22,i} \beta_{23,i} \beta_{24,i} \beta_{25,i} \beta_{26,i} \\ \beta_{31,i} \beta_{32,i} \beta_{33,i} \beta_{34,i} \beta_{35,i} \beta_{36,i} \\ \beta_{41,i} \beta_{42,i} \beta_{43,i} \beta_{44,i} \beta_{45,i} \beta_{46,i} \\ \beta_{51,i} \beta_{52,i} \beta_{53,i} \beta_{54,i} \beta_{55,i} \beta_{56,i} \\ \beta_{61,i} \beta_{62,i} \beta_{63,i} \beta_{64,i} \beta_{65,i} \beta_{66,i} \end{bmatrix} x_{t-1} + \begin{bmatrix} LEFP_{t-1} \\ LGDP_{t-1} \\ LGDP_{t-1}^2 \\ LT_{t-1} \\ LTOTEN_{t-1} \\ LURBAN_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} ECT_{t-1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{4t} \\ \varepsilon_{5t} \\ \varepsilon_{6t} \end{bmatrix}$$

Where  $(1-L)$  and  $ECT_{t-1}$  denoted the difference operator and Error Correction Term, respectively. In addition,  $\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \varepsilon_{3t}, \varepsilon_{4t}, \varepsilon_{5t}$  and  $\varepsilon_{6t}$  represent the error terms. In this model, if  $ECT_{t-1}$  is negative and statistically significant, then this indicates long-run causality between variables. We also perform Canonical Cointegrating Regression (hereafter CCR) by Park (1992) as a

robustness test to control the consistency of FMOLS and DOLS results.

### 4. Results

We firstly provide basic descriptive statistics in Table 1. LEFP the values from 17.69646 to 21.56695, and the mean value of the variable LEFP is 18.70858. The mean value of LGDP is 26.53341, the highest LGDP value is 27.71521 and the lowest is 25.34426. The mean values of LT, LTOTEN, and LURBAN are 15.20463, 24.53316, and 1.176656, respectively.

Table 1. Descriptive Statistics

	LEFP	LGDP	LT	LTOTE N	LURBA N
Mean	18.7085	26.5334	15.2046	24.53316	1.176656
SD	8	1	3	24.61717	1.172893
Maximu m	18.7123	26.5353	15.3104	25.58834	1.824852
Minimum	0	7	7	23.24493	0.721565

We perform five different unit root tests as mentioned in the section of methodology. The tests for stationarity of the variables using ADF, DF-GLS, PP, ERS, KPSS unit root tests are given in Table 2. Table 2 shows that we do not reject the null hypothesis of unit root in all variables for ADF, DF-GLS, PP, and ERS unit root tests except for LEFP for ADF and PP unit root test, and we reject the null hypothesis of stationarity in all variables for the KPSS unit root test. In addition, Table 2 also presents that we reject the null hypothesis of unit root in first difference of all variables for ADF, DF-GLS, PP, and ERS unit root tests and we do not reject the null hypothesis of stationarity in first difference of all variables for KPSS unit root test. According to these results, all variables used in this paper have integration of order one.

Table 2. Unit Root Tests Results

Variables	ADF	DF-GLS	PP	ERS	KPSS
LEFP	-3.849***	-1.726	-3.718***	3.006	0.874***
LGDP	-0.264	3.277	-0.264	903.298	0.995***
LT	-1.678	1.647	-1.678	393.772	0.989***
LTOTEN	-1.701	2.502	-1.865	959.319	0.984***
LURBAN	-1.478	-1.334	-1.270	6.451	0.708**
ΔLEFP	-8.461***	-8.269***	-46.799***	0.608***	0.500
ΔLGDP	-7.002***	-6.987***	-7.003***	0.949***	0.064
ΔLT	-7.442***	-7.459***	-7.443***	1.057***	0.192
ΔLTOTEN	-6.638***	-6.618***	-6.623***	0.961***	0.242

Notes: i. \*\*, \*\*\* show 5% and %1 level of significance. ii. Δ denotes first differences.

Hence, we can check the cointegration relationship for the variables. In this regard, we employ the Maki (2012) Cointegration Test to investigate the cointegration for our model depending on the number of breaks from 1 to 5 in each case of Level shifts, Level shifts with trend, Regime shifts, and Trend and Regime shifts and illustrate the results in Table 3.

Table 3 shows that we reject the null hypothesis of no cointegration in all numbers of breaks for our model. Therefore, we find a long-run relationship across the variables and employ the level of the variables in the rest of the paper. After capturing cointegrating relationships across the variables, we estimate our models employing FMOLS and DOLS and illustrate the results in Table 4.

Table 3. Maki (2012) Cointegration Test results

Number of Breaks	Test statistic	Break dates
<b>m ≤ 1</b>		
Level shifts	-8.282(-5.650) <sup>a</sup>	1981
Level shifts with trend	-9.130(-5.913) <sup>a</sup>	1981
Regime shifts	-10.010(-6.520) <sup>a</sup>	1981
Trend and Regime shifts	-10.192(-6.911) <sup>a</sup>	2009
<b>m ≤ 2</b>		
Level shifts	-8.282 (-5.839) <sup>a</sup>	1981; 2010
Level shifts with trend	-9.130(-6.055) <sup>a</sup>	1981; 2010
Regime shifts	-11.196(-7.244) <sup>a</sup>	1981; 2009
Trend and Regime shifts	-12.568(-7.638) <sup>a</sup>	1981; 2009
<b>m ≤ 3</b>		
Level shifts	-8.282(-5.992) <sup>a</sup>	1981; 1990; 2010
Level shifts with trend	-9.130(-6.214) <sup>a</sup>	1981; 1998; 2010
Regime shifts	-16.285(-7.803) <sup>a</sup>	1976;1981; 2009
Trend and Regime shifts	-12.568(-8.254) <sup>a</sup>	1975;1981; 2009
<b>m ≤ 4</b>		
Level shifts	-8.282(-6.132) <sup>a</sup>	1981;1990;2007;2010
Level shifts with trend	-9.130(-6.373) <sup>a</sup>	1981;1998; 2007;2010
Regime shifts	-16.691(-8.292) <sup>a</sup>	1976;1981;2000;2009
Trend and Regime shifts	-12.568(-8.871) <sup>a</sup>	1975;1981;1996;2009
<b>m ≤ 5</b>		
Level shifts	-8.282(-6.306) <sup>a</sup>	1966;1981;1990;2007;2010
Level shifts with trend	-9.130(-6.494) <sup>a</sup>	1969;1981;1998;2007;2010
Regime shifts	-16.847(-8.869) <sup>a</sup>	1976;1981;1995;2000;2009
Trend and Regime shifts	-12.568(-9.482) <sup>a</sup>	1975;1981;1989;1996;2009

Notes: <sup>a</sup> denotes Maki(2012) Critical values for 5% level of significance.

Table 4 illustrates that the coefficients of LGDP are significantly negative while the coefficients of LGDP<sup>2</sup> are significantly positive. This shows that tourism induced EKC hypothesis between LGDP and LEFP has not been validated for Turkey (U -shaped relationship). This result implies that, environmental degradation (represented by LEFP) will not start to decrease when real LGDP increases up to a certain threshold. This result is in line with the similar findings provided by the Godil et al. (2020) for Turkey. Moreover, the coefficients of LT and LTOTEN are significantly positive in both estimations except for the coefficient of LT in FMOLS estimation. Hence, our results confirm that international tourism arrivals exacerbate the environmental deterioration. The development of the tourism sector requires more natural resources and fossil fuels with a high negative impact on the environment. Moreover, LURBAN is found to be positive and statistically significant. Hence, urbanization creates heavy pressure on grazing land, cropland, forest area, and fishing grounds in Turkey.

After identifying the long-run relationship between variables in this model, we investigate the causal interactions between LEFP and their determinants. For this purpose, we perform the VECM Granger Causality test to determine the direction of causality for the short and long run. The results of the VECM Granger Causality test are summarized in Table 5 and displayed in Figure 1 and Figure 2 as well. These figures are shown in Appendix 1 part in order not to take up much space in the text. For our focus variable LEFP in Table 6, ECT<sub>t-1</sub> of LEFP is

negative and statistically significant at %1 level of significance. This result indicates the presence of long-run granger causality for EFP.

Table 4. FMOLS and DOLS Estimation Results

Variables	FMOLS		DOLS	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
LGDP	-20.2121* [-1.8286]	0.0739	-155.494* [-2.0596]	0.0639
LGDP <sup>2</sup>	0.34397* [1.8426]	0.0718	2.48138* [1.9842]	0.0727
LT	0.09486 [0.4581]	0.6491	2.41561** [2.4156]	0.0343
LTOTEN	2.62895** [2.2005]	0.0328	20.1617** [2.2837]	0.0433
LURBAN	0.34499*** [1.9398]	0.0586	1.5214*** [3.3831]	0.0061
Constant	246.3789* [1.8268]	0.0742	1866.65* [2.0509]	0.0649

Notes: i. \*, \*\*, \*\*\* show 10%, 5%, %1 level of significance.  
ii. Pharanthesis indicates t statistics.

Moreover, Table 5 indicates a unidirectional causality running from LGDP to both LEFP and LURBAN but no causal relationship between LEFP and T in the long-run. Our results suggest that measures taken to improve environmental quality will not harm the EGR in Turkey. Moreover, since we have found no causal relationship between LGDP and TOTEN, our findings do not support the growth hypothesis (energy stimulates the EGR) for Turkey both in the short-run and long-run. Hence, efforts to save energy resources will not slower the EGR in the country. Similarly, our results indicate that there is no empirical evidence in favor of TLG hypothesis for Turkey. These results are in line with Ozturk et al. (2016) and Godil et al. (2020); however, contradict with results of Katircioglu(2014), Katircioglu et al. (2018), Isik and Shahbaz (2015), Kongbuamai et al., (2020).

Table 5. VECM Granger Causality Results for Empirical Model

Variables	Direction of Causality				
	Short run				
	ΔLEFP	ΔLGDP	ΔLT	ΔLTOTEN	ΔLURBAN
ΔLEFP	-	-6.8684***	-0.7754	3.4111	0.0773
ΔLGDP	0.0077	-	-0.0003	0.1881	0.0025
ΔLT	-0.0408	-0.2988	-	0.8514	-0.3099
ΔLTOTEN	0.0018	-0.1213	0.0016	-	-0.0149
ΔLURBAN	-0.0314	-1.2993***	-0.0166	0.7176	-
Long run					
ECT <sub>t-1</sub>	-	-0.0064	0.0861	0.0032	0.0872*

Notes: \*, \*\*, \*\*\* show 10%, 5%, %1 level of significance.

As a complementary diagnostic test for the VECM Granger Causality test, we present the VEC residual heteroskedasticity test and VEC residual serial correlation test for residual (Lütkepohl, 2005). The results of these diagnostic tests for our model are illustrated in Table 6.

*Table 6. Diagnostic Tests for Empirical Model*

Diagnostic Tests		Empirical Model	
VEC Residual Serial Correlation LM Tests		Test Statistic	p-value
Lags	1	1.326601	0.1559
	2	0.928650	0.5662
	3	1.030773	0.4332
	4	1.268805	0.1951
VEC Residual Heteroskedasticity Tests		Chi-sq	p-value
		202.3158	0.1219

Table 6 reveals that serial correlation and heteroskedasticity do not affect our estimation. Therefore, these results indicate that our empirical model investigating the impact of LGDP, LGDP<sup>2</sup>, LT, LTOTEN, and LURBAN on LEFP is appropriate. Finally, we apply CCR as a robustness test to control the validation of FMOLS and DOLS results and show CCR Estimation Results in Table 7.

*Table 7. Robustness Test (CCR) Results*

Variables	Coefficient	t-statistic	p-value
LGDP	-20.63399*	-1.708417	0.0943
LGDP <sup>2</sup>	0.348428*	1.713427	0.0934
LT	0.163267	0.757652	0.4525
LTOTEN	2.690716**	2.056461	0.0454
LURBAN	0.404726**	2.297288	0.0262
Constant	251.8060*	1.710069	0.0940

*Notes: \*, \*\*, \*\*\* show 10%, 5%, 1% level of significance.*

Table 7 indicates that CCR Estimation Results confirm the results of FMOLS and DOLS Estimations. That is to say, the coefficient of LGDP is significantly negative, and the coefficient of LGDP<sup>2</sup> is significantly positive. However, the coefficient of LT is insignificantly positive as in FMOLS estimation. Table 7 also indicates that the coefficients of LTOTEN, and LURBAN in our model are significantly positive.

## 5. Conclusion

Two critical gaps in environmental economics arise. First, most studies use CO<sub>2</sub> emissions when testing the EKC hypothesis, representing only a part of environmental degradation. This is also the case for the tourism-induced EKC hypothesis. Second, there is no study analyzing the role of LT, LTOTEN, LURBAN, and EGR on environmental quality with EFP for Turkey. Therefore, to better understand the validity of the EKC hypothesis with a more comprehensive indicator, this study tests the EKC hypothesis by using LEFP for Turkey during the 1963-2015 period by controlling LT, LTOTEN, and LURBAN. The tourism sector is one of the critical sectors in the Turkish economy and leads to increase in LTOTEN and resource use. Although most studies have focused on the causality between LT and EGR, the current paper fills the gap by highlighting the rationale for integrating tourism development within the tourism-induced EKC model.

The main empirical findings and some policy recommendations can be summarised as follows.

Firstly, our results do not provide empirical support to EKC, revealing that a long-run relationship exists between tourism development, income level, and LEFP in Turkey. This means that environmental degradation is not expected to decrease at a higher level of income. EGR itself can not enable Turkey to mitigate environmental degradation. Results from the long-run estimators

indicate that LT, EGR, LTOTEN, and LURBAN are the vital determinants of environmental degradation. It seems that LGDP is increasing, and economic development is accelerating at the expense of the country's environmental quality. According to the causality analysis, our results confirm the unidirectional causality running from LGDP to both LEFP and LURBAN but no causal relationship between other variables in the long-run. Hence measures taken to improve environmental quality and energy conservation policies will not harm the EGR in Turkey.

Secondly, tourism seems to deteriorate the pollution and/or environmental quality since most tourism-related activities involve energy directly in the form of crude oil, natural gas, and coal or indirectly in the form of electricity mainly generated from fossil fuels. Since tourism worsens environmental degradation, policymakers in Turkey can promote environmental awareness to tourism service providers and support green tourism, alternative tourism, green hotels, green transportation, eco-tourism, etc. Moreover, environmental awareness should be promoted in both tourism facilities and tourism service providers such as green hotels, green restaurants, and green transportation. There is a need for a policy to adopt a circular economy (CE) strategy in the tourism sector. In this context, implementing waste management strategies like the zero-waste approach and recycling of waste should be sped up in the tourism industry. Additionally, accelerating digital transformation in the tourism sector (e.g., Cloud computing, big data analysis, blockchain, artificial intelligence, etc.) will increase efficiency in the tourism value chain and reduce the pressure on natural resources. Hence, the implementation of policies that will accelerate the penetration of CE principles and productivity-enhancing technologies into the tourism industry will contribute to the sustainable tourism goal of the United Nations.

Thirdly, since LTOTEN increases the LEFP, our results highlight the crucial role of renewable energy in protecting the environment in Turkey. Policymakers should take necessary actions to accelerate the transition from fossil fuels to alternative energy sources such as solar, wind, and biomass. Moreover, the government should ensure incentives such as tax reductions and/or tax exemptions, subsidies, green certificates, net metering, green certificates, etc., for more significant deployment of renewable energy in the country. Renewable energy incentives should be enlarged in many subsectors of the economy to achieve sustainable economic development. Renewable energy incentive policies should be supported by energy efficiency policies as well. Hence a shift in energy mix towards environmentally friendly technologies would be significant to ensure sustainable tourism and sustainable EGR.

Fourthly, urbanization also creates pressure on natural resources, which their usage causes environmental deterioration. Indeed, urbanization creates extraordinary demand for natural resources and creates exceptional stress on a natural system, such as degraded water, destruction of habitats, degraded land, deforestation, and biodiversity loss. This destructive impact of higher urbanization should be limited through proper planning and design. For example, smart cities can be developed, and public transportation can be promoted to increase energy efficiency, energy saving. More attention should be given to reducing the generation of solid waste public awareness in the country. Moreover, a circular economy system should be implemented to ensure sustainable cities and EGR.

## References

- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S. & Tunç, G.I. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861-867.
- Akadiri, S.S., Alola, A.A.& Akadiri, A.C. (2019). The role of globalization, real income, tourism in environmental sustainability target. Evidence from Turkey. *Science and Total Environment*, 687, 423-432.
- Amri, F. (2018). Carbon dioxide emissions, total factor productivity, ICT, trade, financial development, and energy consumption: testing environmental Kuznets curve hypothesis for Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33691–33701.
- Apergis, N., & Payne, J.E. (2009). CO<sub>2</sub> emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286.
- Apergis N.,& Payne J.E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656-660.
- Bella, G. (2018). Estimating the tourism induced environmental Kuznets curve in France. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(12), 2043-2052.
- Bozkurt, C., Akan Y.& Okumus, I. (2016). Environmental Kuznets Curve Hypothesis in BRICTS: The role of tourism, 14th International Scientific Conference on Economic and Social Development Belgrade, Serbia, 13-14 May 2016.
- Bölük, G.,& Karkacier O. (2019). Structural Analysis of Interaction Between Tourism, Energy, and other Aggregated Sectors in Turkey: Input-Output Model (In Turkish). *International Journal of Management, Economics and Business*, 15(2),390-408.
- Brüggemann, R., Lütkepohl, H., & Saikkonen, P. (2006). Residual autocorrelation testing for vector error correction models. *Journal of Econometrics*, 134 (2), 579-604.
- Danish, & Wang, Z. (2018). Dynamic Relationship between tourism, economic growth and environmental quality. *Journal of Sustainable Tourism*, 26 (11), 1928-1943.
- Danish, Zhang, B., Wang, B., & Wand, Z. (2017). Role of renewable energy and non-renewable energy consumption on EKC: Evidence from Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 156,855-864.
- De Vita, G., Katircioglu, S., Altinay, L., Fethi, S., & Mercan, M. (2015). Revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis in a tourism development context, *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 16652-16663.
- Dickey, D. A.& Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of American Statistician Association*, 74(366a), 427–431.
- Dickey, D. A.,& Fuller, W. A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica*. 49(4), 1057.
- Dinda, S.(2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*,49, 431-455.
- Dogan, E., Seker, F., & Bulbul, S.(2017). Investigating the impacts of energy consumption, real GDP, tourism, and trade on CO<sub>2</sub> emissions by accounting for crosssectional dependence: A panel study of OECD countries. *Current Issues in Tourism*. 20 (16), 1701-1719.
- Dogan, E., & Aslan, A. (2017). Exploring the relationship among CO<sub>2</sub> emissions, real GDP, energy consumption and tourism in the EU and candidate countries: Evidence from panel models robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 77, 239-245.
- Dong, K., Sun, R., Li, H.,& Liao, H. (2018). Does natural gas consumption mitigate CO<sub>2</sub> emissions: testing the environmental Kuznets curve hypothesis for 14 Asia-Pacific countries. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 94, 418-429.
- Elliott, G., Rothenberg, T.J., & Stock, J.H., (1996). Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. *Econometrica*, 64(4), 813.
- Enders W.(2014). *Applied Econometric Time Series (Fourth Ed.)*. Unites States: John Wiley&Sons.Inc.
- Etokakpan, M.U., Osundina, O.A., Bekun, F.V.,& Sarkodie, S.A.(2020). Rethinking electricity consumption on economic growth nexus in Turkey: environmental pros and cons. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(31), 39222-39240.
- Eyupoglu, E.,& Uzar, U., (2020). The impact of tourism on CO<sub>2</sub> emission in Turkey. *Current Issues Tourism*, 23(13), 1631-1645.
- Fayissa, B., Nsiah, C., &Tadasse, B. (2007). The Impact of Tourism on Economic Growth and Development in Africa. *Department of Economics and Finance Working Paper Series, August 2007*. Murfreesboro, TN 37132.
- Game, S.K.N., Kuruppuge, R.H.,& ul Haq, T. (2017). Energy consumption, tourism development, and environmental degradation in Sri Lanka. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*,12(10), 910-916.
- Ghali, M.A. (1976). Tourism and economic growth: An empirical study. *Economic Development and Cultural Change*,24(3), 527–538.
- Gill, A.R., Viswanathan, K.K., & Hassan, S. (2018). A test of environmental Kuznets curve (EKC) for carbon emission and potential of renewable energy to reduce greenhouse gases (GHG) in Malaysia. *Environment Development and Sustainability*, 20,1103-1114.
- Global Footprint Network. (2021). <https://www.footprintnetwork.org/>.
- Godil, D.I., Sharif, A., Rafique, S., &Jermisittiparsert, K. (2020). The asymmetric effect of tourism, financial development, and globalization on ecological footprint in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40109-40120.
- Gregory, A.W., & Hansen, B.E.(1996). Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts. *Journal of Econometrics*, 70(1), 99-126.
- Grossman, G.M., & Krueger, A.B. (1993). *Environmental impacts of a North American free trade agreement*, in Garber, P., ed., *The Mexico-US Free Trade Agreement*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Grossman, G.M.,& Krueger, A.B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-357.
- Hatemi-J.A. (2008). Tests for cointegration with two unknown regime shifts with an application to financial market integration. *Empirical Economics*, 35(3), 497-505.
- Hye, Q. M. A., & Khan R.E.A. (2013). Tourism-Led Growth Hypothesis: A Case Study of Pakistan. *Asia Pacific Journal of Tourism*, 12,1-11.

- IMF, (2019). *World Economic Outlook Database, October 2019*. International Money Fund, [www.imf.org](http://www.imf.org),2019 (accessed 16.6.2021).
- Isik, C., & Shahbaz, M. (2015). Energy consumption and economic growth: A panel data approach to OECD countries. *International Journal of Energy Science*, 5(1), 1-5.
- Jebli, M.B., & Hadhri W. (2018). The dynamic links between CO<sub>2</sub> emissions from transport, real GDP, energy use and international tourism. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 25(6), 568-577.
- Katircioglu, S. (2014). International tourism, energy consumption, and environmental pollution: The case of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 36, 180-187.
- Katircioglu, S., Korhan, K. Gokmenoglu, K.K., & Eren, B.M., (2018). Testing the role of tourism development in ecological footprint quality: evidence from top 10 tourist destinations. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33611–33619.
- Khoi N.H., Le N.H., Ngoc B.H., (2021). The effect of tourism development on the ecological footprint in Singapore: evidence from asymmetric ARDL method. *Current Issues in Tourism*, 1-16.
- Kongbuamai, N., Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., & Liu, Y. (2020). Determinants of the ecological footprint in Thailand: the influences of tourism, trade openness, and population density. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40171-40186.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45 (1), 1-28.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P.C.B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54 (1-3), 159-178.
- Lee, C-C., & Chen, M-P. (2021). Ecological Footprint, tourism development, and country risk: international evidence. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123671.
- Lee, J. W., & Brahmaasrene, T. (2013). Investigating the influence of tourism on economic growth and carbon emissions: Evidence from panel analysis of the European Union. *Tourism Management*, 38, 69–76.
- Liu, Y., Kumail, T, Ali, W., & Sadiq, F. (2019). The dynamic relationship between CO<sub>2</sub> emission, international tourism, and energy consumption in Pakistan: a cointegration approach. *Tourism Review*, 74(4), 761-779.
- Luzzati, T., & Orsini, M. (2009). Investigating the energy-environmental Kuznets curve. *Energy*, 34(3), 291-300.
- Maki, D. (2012). Tests for cointegration allowing for an unknown number of breaks. *Economic Modelling*, 29(5), 2011-2015.
- Marrero, G.A (2010). Greenhouse gases emissions, growth, and the energy mix in Europe. *Energy Economics*, 32(6), 1356-1363.
- Mikayilov, J., Mukhtarov, S., Mammadov, J., & Azizov, M. (2019). Re-evaluating the environmental impacts of tourism: does EKC exist? *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 19389–19402.
- Mitic, P., Kresoja, M., & Minovic, J. (2019). A Literature Survey of the Environmental Kuznets Curve. *Economic Analysis*, 51(1), 109-127.
- Nair, S. (2017). *2017 International Year of Sustainable Tourism for Development*, <https://www.jagranjosh.com/current-affairs/2017-international-year-of-sustainable-tourism-for-development-1483516683-1> (accessed 16.02.2020).
- Nathaniel, S.P., Barua S., & Ahmed Z. (2021). What drives ecological footprint in top ten tourist destinations? Evidence from advanced panel techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38322-38331.
- Nepal, R., al Irsyad, M.I., & Nepal, K. S. (2019). Tourist arrivals, energy consumption and pollutant emissions in a developing economy—implications for sustainable tourism. *Tourism Management*, 72, 145-154.
- Nunkoo, R., Seetanah, B., & Jaffur, R.Z.K. (2019). Tourism and economic growth: a meta-regression analysis. *Journal of Travel Research*, 59, 1–20.
- OECD (2021). Turkey, <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/f3b16239-en/index.html?itemId=/content/component/f3b16239-en>.
- Ozturk, I., Al-Mulali U., & Saboori B. (2016). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis: the role of tourism and ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 1916–1928.
- Pao H-T., & Tsai C-M. (2011). Modeling and forecasting the CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450-2458.
- Paramati, S.R. Md., Alam, Md.S., & Chen, C-F. (2017). The Effects of Tourism on Economic Growth and CO<sub>2</sub> Emissions: A Comparison between Developed and Developing Economies. *Journal of Travel Research*, 56(6), 712–724.
- Park, J.Y. (1992). Canonical Cointegrating Regressions. *Econometrica*, 60(1), 119.
- Phillips, P.C.B., & Hansen, B.E. (1990). Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Process. *Review of Economic Studies*, 57(1), 99.
- Phillips, P., & Perron, P., 1988. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Rees, W.E., (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out, *Environment and Urbanization*, 4(2): 121-130.
- Qureshi, M.I., Elashkar, E.E., Shoukry, A.M., Aamir, A., Mahmoods, N.H.N., Rasli, A.M., & Zaman, K. (2019). Measuring the ecological footprint of inbound and outbound tourists: evidence from a panel of 35 countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 1949–1967.
- Qureshi, M.I., Hassan, M.A., Hishan, S. S., Rasli A. M., & Zaman, K. (2017). Dynamic linkages between sustainable tourism, energy, health, and wealth: Evidence from top 80 international tourist destination cities in 37 countries. *Journal of Cleaner Production*, 158, 143-155.
- Sarkodie, S.A., & Strezov, V. (2018). Empirical study of environmental Kuznets curve and environmental sustainability curve hypothesis for Australia, China, Ghana, and USA. *Journal of Cleaner Production*, 201, 98-110.
- Sadorsky, P. (2009) Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456-462.
- Saikkonen, P. (1992). Estimation and testing of cointegrated systems by an autoregressive approximation. *Economic Theory*, 8(01), 1-27.
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A.T., Ahmed, K., & Jabran, M.A. (2016). How urbanization affects CO<sub>2</sub> emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 57, 83–93.

- Shahbaz, M., & Sinha, A. (2018). Environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: a literature survey. *Journal of Economic Studies*, 46(1), 106-168.
- Shaheen, K., Zaman, K., Batool, R., Khurshid, M.A., Aamir, A., Shoukry, A.M., Sharkawy, M.A., Aldeek, F., Khader, J.& Gani, S. (2019). Dynamic linkages between tourism, energy, environment, and economic growth: evidence from top 10 tourism-induced countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31273–31283.
- Shakouri, B., Yazdi, S.K., & Ghorchebigi, E., (2017). Does tourism development promote CO<sub>2</sub> emissions? *Anatolia*. 28(3), 444-452.
- Skerritt, D., & Huybers, T., (2005). The effect of international tourism on economic development: An empirical analysis. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 10 (1), 23-43.
- Stock, J.H., & Watson, M.W., 1993. A Simple Estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61(4), 783.
- Sugiawan Y., & Managi S. (2016). The environmental Kuznets curve in Indonesia: Exploring the potential of renewable energy. *Energy Policy*, 98, 187-198.
- Sunlu, U. (2003). Environmental impacts of tourism. In : Camarda D. (ed.), Grassini L. (ed.). Local resources and global trades: Environments and agriculture in the Mediterranean region. Bari : CIHEAM, 2003. p. 263-270 (*Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 57*).
- Tupy, M.L. (2015). *Urbanization is good for the environment.*, <https://www.cato.org/blog/urbanization-good-environment>. (accessed 22.08.2021).
- Turkstat, 2021. Statistics, national accounts, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) (accessed 25.08.2021).
- TÜRSAB (2021). Statistics, *Association of Turkish Travel Agencies (TURSAB)*, <https://www.tursab.org.tr/>, (accessed 02.04.2021).
- Udemba, E.N. (2019). Triangular nexus between foreign direct investment, international tourism, and energy consumption in the Chinese economy: accounting for environmental quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 24819–24830.
- Ulucak, R., & Bilgili, F. (2018). A Reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and, low income countries. *Journal of Cleaner Production*, 188,144-157.
- Wackernagel, M., (1994). Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: a Toll for Planning toward Sustainability. The University of British Columbia (PhD Thesis).
- World Bank. (2021). <https://data.worldbank.org/indicator>.
- WTTC. (2020). *Economic Impact Reports*, World Travel&Tourism Council, <https://wttc.org/Research/Economic-Impact#:~:text=US%248.9%20trillion%20contribution%20to,28.3%25%20of%20global%20service%20exports>, (accessed 22.09.2020).
- UN. ( 2020). *The Role of Fossil Fuels in a Sustainable Energy System*, <https://www.un.org/en/chronicle/article/role-fossil-fuels-sustainable-energy-system> (18.09.2020).
- UNCC. (2017). *2017 Is International Year of Sustainable Tourism for Development*, United Nations Climate Change, <https://unfccc.int/news/2017-is-international-year-of-sustainable-tourism-for-development> (accessed 15.09.2020).
- Yao, S, Zhang, S., & Zhang, X. (2019). Renewable energy, carbon emission and economic growth: A revised environmental Kuznets Curve perspective. *Journal of Cleaner Production*, 235,1338-1352.
- Zaman, K., Shahbaz, M., Loganathan, N.,& Raza, S.A. (2016). Tourism development, energy consumption and Environmental Kuznets Curve: Trivariate analysis in the panel of developed and developing countries. *Tourism Management*, 54, 275-283.
- Zhou, W., Zhu, B., Chen, D., Griffy-Brown, C., Ma, Y.,& Fei, W. (2012). Energy consumption patterns in the process of China's urbanization. *Population and Environment*, 33(2–3), 202–220.

## Appendix

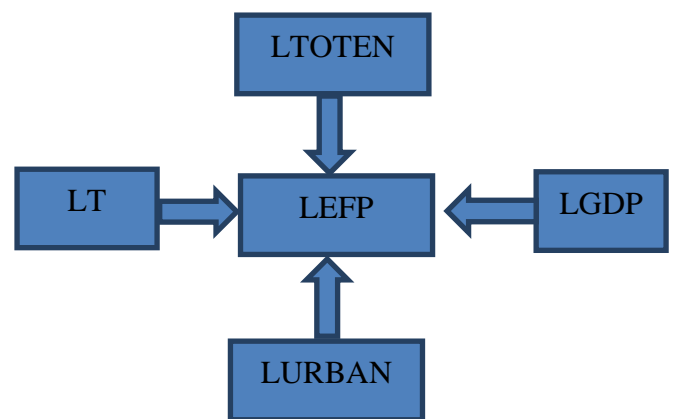


Fig.1 Granger Causality in the long run

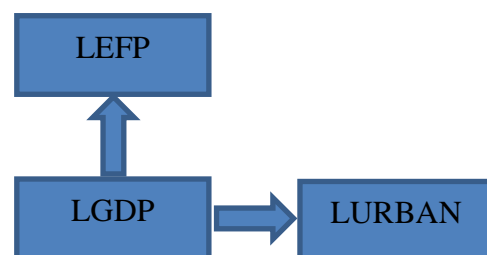


Fig.2 Granger Causality in the short run





# Prediction of Metacognition Awareness of Middle School Students: Comparison of ANN and ANFIS with Statistical Techniques

Seda Göktepe Körpeoğlu<sup>1\*</sup>, Sevda Göktepe Yıldız<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Mathematical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7146-0846), [sgoktepe@yildiz.edu.tr](mailto:sgoktepe@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup> Biruni University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0573-7904), [sgoktepe@biruni.edu.tr](mailto:sgoktepe@biruni.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 17 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 9 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1144623)

**ATIF/REFERENCE:** Göktepe Körpeoğlu, S. & Göktepe Yıldız, S. (2022). Prediction of Metacognition Awareness of Middle School Students: Comparison of ANN and ANFIS with Statistical Techniques. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 450-461.

## Abstract

Problem-solving skill is one of the most important skills that an individual should have today. Reflection can best be observed in the problem-solving process because reflective thinking occurs when a particular problem is perceived. Since reflective thinking features are related to the individual's own thinking processes, it has the feature of being a predictive variable for metacognition. This study's main goal is to create models that predict middle school students' mathematical metacognition awareness through reflective thinking characteristics towards mathematical problem solving utilizing Artificial Neural Network (ANN) and the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Mathematics academic achievement scores, cumulative grade point average (GPA), and reflective thinking characteristics of students towards mathematical problem solving were used as input parameters while constructing the ANN and ANFIS model, and mathematical metacognition awareness of students served as the only output parameter. In addition, the system was trained using 70% of the data to build the ANFIS model. Feed-forward backpropagation with the Levenberg-Marquardt learning algorithm was used to train the network for ANN model. Statistically, there is no significant difference between the students' actual metacognitive awareness scores and the artificial ANFIS and ANN metacognitive awareness scores. These findings showed that the created models performed successfully in predicting the mathematical metacognitive awareness of middle school students through their academic achievement (general and mathematics) and reflective thinking features for problem-solving. This study serves as an excellent example of how artificial intelligence can be used to anticipate certain educational traits of students. Different applications of artificial intelligence in the area of education can be obtained by varying the methodologies employed in the research.

**Keywords:** ANN, ANFIS, Artificial Intelligence, Mathematical Metacognition Awareness, Reflective Thinking Skill, Problem Solving.

## Ortaokul Öğrencilerinin Üstbilis Farkındalıklarının Yordanması: YSA ve ANFIS'in İstatistiksel Yöntemlerle Karşılaştırılması

### Öz

Problem çözme becerisi, günümüzde bireyin sahip olması gereken en önemli becerilerden birisidir. Yansıtma en iyi problem çözme sürecinde gözlemlenebilir çünkü yansıtıcı düşünme belirli bir problem algılandığında ortaya çıkar. Yansıtıcı düşünme özellikleri bireyin kendi düşünme süreçleri ile ilgili olduğundan üst bilis için yordayıcı bir değişken olma özelliğine sahiptir. Bu çalışmanın temel amacı, Yapay Sinir Ağı (YSA), Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanarak matematiksel problem çözmeye yönelik yansıtıcı düşünme özellikleri aracılığıyla ortaokul öğrencilerinin matematiksel üstbilis farkındalıklarını tahmin eden modeller oluşturmaktır. YSA ve ANFIS modelleri oluşturulurken öğrencilerin matematik dersi başarı puanları, kümülatif genel not ortalamaları ve matematiksel problem çözmeye yönelik yansıtıcı düşünme özellikleri girdi parametreleri olarak ve matematiksel üstbilis farkındalıkları çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Ayrıca sistemde, ANFIS modelini oluşturmak için verilerin %70'i kullanılarak eğitilmiştir. Yapay sinir ağını eğitmek için Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması ile ileri beslemeli geri yayılım kullanılmıştır. İstatistiksel olarak, öğrencilerin gerçek üstbilis farkındalık puanları ile yapay olarak elde edilen ANFIS ve ANN üstbilis farkındalık

\* Corresponding Author: [sgoktepe@yildiz.edu.tr](mailto:sgoktepe@yildiz.edu.tr)

puanları arasında anlamlı bir fark yoktur. Bu bulgular, oluşturulan modellerin ortaokul öğrencilerinin akademik başarıları (genel ve matematik) ve problem çözmeye yönelik yansıtıcı düşünme özellikleri aracılığıyla matematiksel üstbilişsel farkındalıklarını yordamada başarılı performans gösterdiğini kanıtlamaktadır. Ayrıca çalışma, öğrencilerin eğitimsel bazı özelliklerini tahmin etmek için yapay zekanın nasıl kullanılabileceğinin bir örneğidir. Araştırmada kullanılan metodolojiler çeşitlendirilerek eğitim alanında farklı yapay zeka uygulamaları gerçekleştirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** YSA, ANFIS, Yapay Zeka, Matematiksel Üstbiliş Farkındalığı, Yansıtıcı Düşünme Becerisi, Problem Çözme.

## 1. Introduction

When the literature on reflective thinking is examined, it is seen that there is great confusion in the definitions made. It can be said that this situation is due to its use in different fields and the breadth of the word meaning. It is seen that the concept of reflection is used synonymously with the concepts of problem-solving, reflective judgment, reasoning, questioning, reviewing, reflective thinking, critical reflection, and reflective practice (Moon, 1999). The concept of “reflective learning” was first used by Vilhelm von Humboldt about 200 years ago. Humboldt revealed the expansion of learning how to learn as well as learning (Fichtner, 2005). In addition, reflection was introduced by John Dewey in 1933 with the approach of learning by doing. Dewey (1933) defines reflective thinking as an active and deliberate process in which knowledge and beliefs are taken into account and related ideas are sequenced by reasoning. Reflective thinking has different aspects from the processes we apply in the name of thinking in that it includes activities such as hesitation, doubting the situation, mental difficulty, being surprised and searching, questioning, hunting, and finding material to remove doubt (Dewey, 1933). Schön (1987) considered projection in two ways: reflection during action and reflection upon action. Reflection on action is evaluating every aspect of the action after the action has taken place, looking back, and thinking about the action in a systematic and deliberate way. In-action reflection is the process that focuses on solving the problems that arise while performing the action instantly and includes the reorganization of the action (Schön, 1987). According to Heppner, problem-solving and coping with problems are synonymous. The concept of problem-solving in real life has been considered as the act of directing cognitive and emotional processes to a goal with the aim of adapting to internal or external requests or calls (Katkat and Mızrak, 2003). In Schonfeld's theory of problem-solving, there are some stages in solving mathematical problems: analysis of the problem, selection of appropriate mathematical information, planning, implementing of the plan, and checking the answer (Harskamp and Suhre, 2007). Problem-solving skill is one of the most important skills that an individual should have today. In this sense, it is predicted that reflective thinking will contribute to the problem-solving process. Reflection can best be observed in the problem-solving process because reflective thinking occurs when a particular problem is perceived (Shermis, 1992).

Since reflective thinking features are related to the individual's own thinking processes, it has the feature of being a predictive variable for metacognition. In the early 1970s, John Flavell introduced the concept of metacognition, basing this concept on the term meta-memory he had conceived before (Ayдын and Ubuz, 2010). The assumption that the concept of metacognition consists of monitoring and regulation components was first put forward by Flavell (1976). In the following years, Flavell further developed his studies and defined the concept of metacognition as knowledge about objects or events perceived cognitively (Flavell, 1979). In later years, Flavell further developed the definition of metacognition and defined it as the

individual's knowledge of his own cognitive processes and using this knowledge to control his cognitive processes (Flavell, 1987). When the literature is examined, it is seen that the concept of metacognition is considered as a framework and this framework is defined as a structure consisting of certain components. Metacognitive knowledge, metacognitive control, and metacognitive experience are the three components of this framework (Özsoy, 2008). Metacognitive knowledge can be explained as knowledge of cognition, metacognitive control can be explained as regulation of cognition and metacognitive experience can be explained as a sense of knowing or perception of learning (Özsoy, 2008; Karakelle and Şentürk, 2006). The strategy knowledge required to successfully complete cognitive strategies can be explained as metacognitive knowledge (Karakelle and Saraç, 2007). Metacognitive knowledge is divided into three: procedural (procedural) knowledge, descriptive (declarative) knowledge, and state (conditional) knowledge (Schraw and Moshman, 1995). Knowledge of how to successfully complete a cognitive task is procedural knowledge (Özsoy and Günindi, 2011). An example of procedural knowledge is the sentence “I know how to solve a radical number problem”. An individual's knowledge of his own abilities, metacognitive goals, and factors that will affect his performance is explanatory information (Montgomery, 1992). An example of explanatory information is the sentence “I know whether I can solve a radical number problem”. Information about when, why, and why to use descriptive and procedural knowledge is situational knowledge (Woolfolk, 2004). An example of situational information is the sentence “I can choose the strategy I will use when solving a radical number problem and I know why I use that strategy”. The metacognitive control component is divided into three: planning, monitoring, and evaluation. Planning consists of selecting appropriate strategies, and resources before starting a task (Yıldız et al., 2009). Before starting to work, features such as paying attention, setting goals, estimating, and scheduling are included in planning (Schraw and Moshman, 1995). The sentence “I prepare for the subject to be covered before the mathematics lesson” can be given as an example of planning. Monitoring is about being aware of one's own performance while performing a cognitive task (Özsoy and Günindi, 2011). In addition, features such as identifying performance errors and making predictions about future performance are included in monitoring (Schraw, 2009). The sentence “I think about how I can use what I have learned about square root numbers in other subjects” can be given as an example for monitoring. Evaluation is concerned with the individual's evaluation of the efficiency of the learning process and learning outcomes (Everson and Tobias, 1998). The sentence “After studying the subject of permutation, I will give myself a test on that subject” can be given as an example for the evaluation. The metacognitive awareness of the students, in general, may not adequately reflect their metacognitive awareness for a specific lesson. Since mathematics is separate from other disciplines by its nature, metacognition can be evaluated separately for the mathematics course.

With the use of conventional mathematical techniques, it is doubtful that a model based on randomly chosen and

unpredictable processes can be successful. However, even without precise quantitative data, a fuzzy inference approach that applies fuzzy if-then rules has a decent chance of simulating the qualitative aspects of human understanding and reasoning (Sugeno, 1985; Garcia et al., 1997). The fuzzy logic technique designed by Zadeh is one of the most successful artificial intelligence methods (Zadeh, 1996).

Artificial Neural Networks (ANN) provide a number of advantages, including as imitating the human brain and doing tasks while learning. Additionally, ANN may organize itself while performing tasks, which is not achievable for conventional computer systems. Moreover, ANN can run in parallel, whereas regular computer programs cannot. Furthermore, ANN is quite quick, whereas human brain processing is considerably slower than ANN (Kukreja, 2016). Whereas ANN has a great number of benefits, it also has certain drawbacks. For instance, the ANN has no fixed method of operation. The final product's quality can frequently be unexpected and inappropriate. Additionally, the majority of ANN algorithms do not offer a repair or guidance for issues found in the final output (Sharma et al., 2012). Overfitting is another significant problem with ANNs: in the output, they produce greater error values than they did in their training sets (Dongare, 2012). Considering these drawbacks, ANN is still widely utilized in the present to resolve a wide range of scientific issues for its beneficial equivalents.

The primary benefit of the neuro-fuzzy system is that it combines the advantages of neural networks with fuzzy logic, therefore removing the drawbacks of both. While neural networks deal with implicit knowledge acquired through learning, fuzzy logic deals with the knowledge that may be acquired and comprehended explicitly (Singh et al., 2012). ANFIS integrates the qualitative approach of fuzzy logic and the adaptability of neural networks into one system (Jagtap and Pillai, 2014). Along with its benefits, it also has certain drawbacks. In a fuzzy system, membership criteria and rules are developed through a process of trial and error. To understand the proper membership function and rules for a sophisticated system and arrive at a well-founded solution, a significant amount of time is needed. Additionally, the fuzzy system's generalization potentiality is relatively low (Singh et al., 2012). Therefore, in this study, the metacognition awareness of middle school students has been predicted using both the ANFIS and ANN approaches. The trial data have also been used to validate the proposed models. As long as the models function satisfactorily, they can serve as guiding principles for the creation of additional models for artificial intelligence-based prediction systems for education.

## **2. Materials and Method**

In this study, mathematical metacognitive awareness of middle school students was evaluated and compared with the designed fuzzy logic and artificial intelligence-based models. The inputs of the study were determined as the students' mathematics achievement scores and cumulative grade point average (GPA), their reflective thinking towards mathematical problem solving, and the output was their mathematical metacognition awareness. To predict students' mathematical metacognitive awareness, artificial neural networks (ANN), and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) models were established and comparisons were made.

For this purpose, this research is in the general survey model and is descriptive in nature. In the general survey model, in a universe consisting of many elements, research is conducted on the entire universe or a group of samples or samples to be taken from it in order to reach a general judgment about the universe (Büyüköztürk, 2012). In survey research, researchers are more concerned with how ideas and characteristics are distributed among the individuals in the sample rather than why they arise (Fraenkel and Wallen, 2006).

### **2.1. Participants**

The participants of the research are 266 middle school students studying at different grade levels in the European side of Istanbul. Of the participants, 87 (33%) were fifth graders, 30 (11%) were sixth graders, 60 (23%) were seventh graders, and 89 (33%) were eighth graders. In this study, the convenience sampling method was used. The convenience sampling approach is used to include individuals who meet certain functional requirements, such as easy accessibility, geographic proximity, and voluntary participation in studies (Johnson and Christensen, 2014).

### **2.2. Data Collection Tools**

Three data collection tools were used for the research. The characteristics of each of the data collection tools are given below.

#### **2.2.1. Information Form**

In this form, there are parts related to the personal information of the students. Grade level, gender, mathematics course score, GPA information is included. GPA and mathematics achievement scores were used for this research. The reason is that these two variables are suitable for evaluation with fuzzy logic.

#### **2.2.2. Mathematical Metacognition Awareness Scale**

This measurement tool was developed by Kaplan and Duran (2016) to reveal the mathematical metacognition awareness of middle school students (Kaplan and Duran, 2016). Students' metacognitive awareness is multifactorial variables that cannot be observed directly. At the end of the analysis, the Cronbach Alpha reliability coefficient of the 23-item scale was calculated as .905. As a result of the explanatory factor analysis, it was determined that the items forming the scale were grouped under three factors and the total variance rate explained by these factors was 43.12%. Eight items collected in the first factor were named "mathematical knowledge", eight items collected in the second factor were named "mathematical monitoring", and the last factor consisting of seven items was named "mathematical determination". As a result of confirmatory factor analysis, it was determined that the three-factor model had sufficient fit indices. As a result, the scale is a valid and reliable measurement tool that can be used in middle school mathematics courses. In the present study, Cronbach's  $\alpha$  was calculated as 0.82 for the whole scale, and 0.81, 0.83, 0.88 for each factor, respectively.

#### **2.2.3. Reflective Thinking Skills Scale for Problem Solving**

This measurement tool was developed by Kızılkaya and Aşkar (2009) to be used in determining the reflective thinking skills of students for problem-solving (Kızılkaya and Aşkar, 2010). By examining the actions that reveal reflective thinking,

three dimensions of reflective thinking: questioning, reasoning and evaluation were determined. The scale includes 14 items. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett tests were performed to determine the suitability of the data for factor analysis. The KMO value was “0.872” and the Bartlett’s Test of Sphericity value was 1084.329 ( $p < 0.01$ ). As a result of the confirmatory factor analysis within the framework of the validity studies of the problem-solving reflective thinking skill scale, the fit indices were GFI= 0.92, AGFI= 0.89, NNFI= 0.93, CFI= 0.95, RMSR= 0.08, RMSEA = 0.071. calculated. Cronbach Alpha values were examined for the reliability proofs of the factors. According to the results of the analysis, the value of the questioning factor was 0.73, the value of the reasoning factor was 0.71, and the value of the evaluation factor was 0.69. This value was calculated as 0.83 for all scale items. In the present study, Cronbach’s  $\alpha$  was calculated as 0.79 for the whole scale, and 0.70, 0.71, 0.70 for each factor, respectively.

### 3.1. Development of ANN and ANFIS Prediction Model

#### 3.1.1. The fundamental design of artificial neural network (ANN)

Highly parallel computer systems called artificial neural networks (ANNs) are modeled after biological neural networks (Majumder, 2015). In simulating the structure of the human biological brain, artificial neural networks (ANNs) were originally developed in the 1950s (Viotti et al., 2002). A signal pattern provided to the network as an input can be internally represented by an ANN. The strength of network connections connected with each neuron is dynamically changed to facilitate this automated processing or “learning” (Hepner, et al., 1990).

Input neuron layers (or nodes, units) make up an artificial neural network, together with one or more hidden neuron layers and an output neuron layer in the final layer. Figure 1 illustrates the general design of an ANN. Each connection has a weight that is a numeric value. Eq. (1) can be used to express the output,  $h_i$ , from neuron  $i$ 's final layer in the hidden layer (Khan, 2018).

$$h_i = \sigma \left( \sum_{j=1}^N V_{ij}x_j + T_i^{hid} \right) \quad (1)$$

in which  $\sigma$  is the activation function,  $N$  is the number of input neurons,  $V_{ij}$  are the weights,  $x_j$  are the inputs of the input neurons, and  $T_i^{hid}$  are the threshold terms of the hidden neurons.

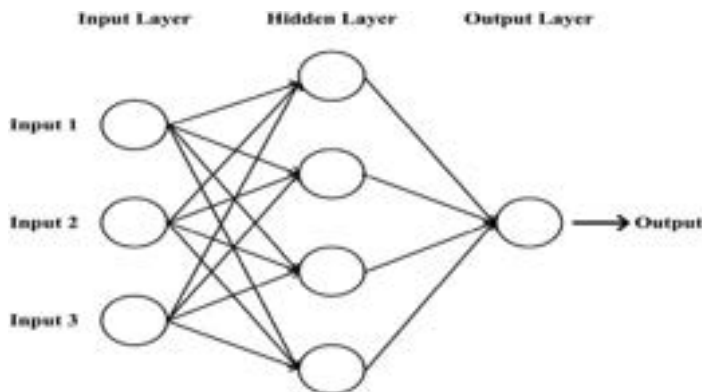


Figure 1. The general structure of a neural network (Sarkar, et al., 2021).

The output of a given input is predicted by ANN using a learning technique. The two main categories of ANN learning are supervised learning and unsupervised learning. Training is required in supervised learning to help the system predict the outcome. In order to reduce errors, weights are modified in the training to desirable values. Examples of previous data are presented during such training sessions, and the ANN system receives inputs and related outputs. In contrast, unsupervised training lacks any precedent examples in its database, and ANN attempts to predict the outcome using patterns and trends (Zou, 2008)

#### 3.1.2. Development of ANN Model

We used the MATLAB NN toolbox for this study. The students’ achievement grades and GPA, and their reflective thinking towards mathematical problem solving were the input variables for the feed-forward neural network. The output variable in the output layer was decided to be their mathematical metacognition awareness. The network was designed utilizing 3 neurons for the input layer, 10 neurons for the hidden layer, and 1 neuron for the output layer. This is known as a 3-10-1 structure. In contrast to the hidden layer and output layer, where log-sig and purelin transfer functions, respectively, have been utilized, the input layer did not use a transfer function. The network was trained using a feed-forward backpropagation method and the Levenberg-Marquardt learning algorithm. 266 datasets altogether were used to build the ANN prediction model. The system was trained using 70% of the datasets (186 datasets), while the other 30% were equally allocated for testing and validation (Hossain et al., 2017). To compare the results with the experimental and ANFIS model projected outcomes, all 30% were chosen in this study as the test set. The datasets used to test the model were also chosen at random in order to test the ANN prediction model.

#### 3.1.3. The Fundamental Design of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

In our daily lives, we must deal with a variety of unpredictable situations. The fuzzy inference approach makes it possible to describe unclear situations as rules during the decision-making process. Therefore, many issues have been solved with it (Lochan and Roy, 2015; Karaboga and Kaya, 2019). Neuro-fuzzy systems often have the advantage of making things simpler than when using standard neural networks because they combine ANN and fuzzy networks (Walia, 2015).

The architecture of ANFIS consists of five layers: the fuzzy layer, the product layer, the normalized layer, the de-fuzzy layer, and the overall output layer. Figure 2 displays every one of those five layers. The fuzzy inference method can be thought of as having two inputs ( $v$  and  $d$ ) and one output ( $f$ ), for simplicity. Below is a brief description of each of the five ANFIS algorithm layers (Walia, 2015).

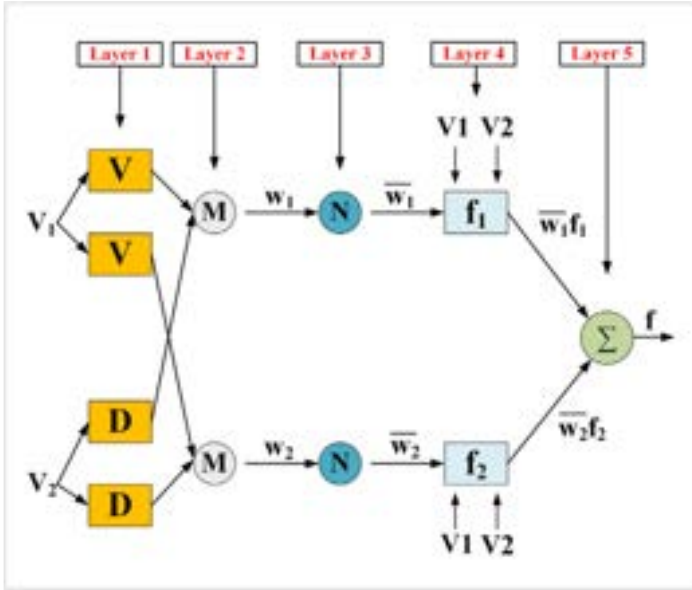


Figure 2. The architecture of ANFIS (Sarkar, et al., 2021).

Each node in layer one's fuzzy, adaptive layer is a fuzzy node. The system's inputs are v and d in this layer, while O<sub>1</sub> is layer 1's ith node's output. As shown by Eqs. (2) and (3), all of the adaptive nodes are square nodes with square functions.

$$O_{1,i} = \mu_{v,i}(V) \text{ for } i = 1,2. \tag{2}$$

$$O_{1,j} = \mu_{d,j}(V) \text{ for } j = 1,2. \tag{3}$$

The output functions in this equation are represented by O<sub>1,i</sub> and O<sub>1,j</sub>, whereas the membership functions are represented by μ<sub>v,i</sub> and μ<sub>d,j</sub>. Selecting a triangle function

$$\mu_{v,i}(V) = \max \left[ \min \left( \frac{v - a_i}{b_i - a_i}, \frac{c_i - v}{c_i - b_i} \right), 0 \right] \tag{4}$$

The parameters of triangular membership functions are {a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub>, c<sub>i</sub>}. Once more, if we want μ<sub>v,i</sub>(V) to have a bell form.

$$\mu_{v,i}(V) = \frac{1}{1 + \left\{ \left( \frac{v - c_i}{a_i} \right)^2 \right\} b_i} \tag{5}$$

Layer 2 investigates the weights of each membership function using the input value v<sub>i</sub> from Layer 1 as its starting point. The output is calculated using the product of all incoming signals at the fixed, M-labeled nodes of this layer. This layer's output can be expressed in Eq (6).

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{v,i}(V) \cdot \mu_{d,j}(D), \quad i = 1,2. \tag{6}$$

## 4. Results

### 4.1. Data Prediction by ANN Model

The ANN model illustrated in Figure 3, whose network type is feed-forward backpropagation, is tested with 3 neurons.

Layer 3 nodes are identified by the letter N, which denotes normalization to the firing strength from layer 1. Precondition matching of fuzzy rules is done in this layer. This layer's output is shown as  $\bar{w}_i$ , which is

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \tag{7}$$

Layer 4's output values come from the inference of rules. The result is a normalized firing rule strength-based first-order polynomial. Node function representation of the weighted output:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i v + q_i d + r_i), \quad i = 1,2. \tag{8}$$

O<sub>4,i</sub> is the output, and the linear or consequent parameters are p<sub>i</sub>, q<sub>i</sub> and r<sub>i</sub>.

The output layer, layer 5, adds up all the values from layer 4's input layer and converts all categorization results from fuzzy to solid values. Eq.(9) performs the averaging of all the input signals.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2. \tag{9}$$

ANFIS calculates the membership function parameters, which alter as the dataset is learned in order to keep track of the input and output data. ANFIS fine-tunes all the variables that can be changed to deal with actual circumstances. The hybrid network can be trained via a hybrid algorithm to increase convergence (Kamel and Hassan, 2009). Both a forward pass and a backward pass are parts of a hybrid learning method. Node outputs continue to advance in the forward pass up to layer 4, and the least squares algorithm helps the system identify the result. Error signals are transported backward and the premise parameters are updated by gradient descent during the backward pass (Denai et al., 2004).

### 3.1.4. Development of ANFIS Model

The fuzzy toolbox of MATLAB was used to model the data for the ANFIS modeling. The students' achievement grades and GPA, and their reflective thinking towards mathematical problem solving were used as the input parameters, while the single output parameter was their mathematical metacognition awareness. The ANFIS model was trained using 1000 training epochs. For the output side, the linear type of membership function (MF) was chosen, whereas the trimf type was used for the input side. The three linguistic variables Low (L), Medium (M), and High (H) were chosen as the input parameters. Of the 266 datasets, 186 datasets (or 70%) were used to train the model, and the remaining 80 datasets (or 30%) were used to test the model. Random selection was used to determine which datasets will be used to test the model.



Figure 3. The proposed feed-forward NN model.

The fuzzy sets for the input variables and the output variable in the fuzzy logic model are defined as shown in Table 1. Then, all variables' membership functions are created. After testing out many types, the best type is typically selected. Figure 4 displays the proposed model's membership functions.

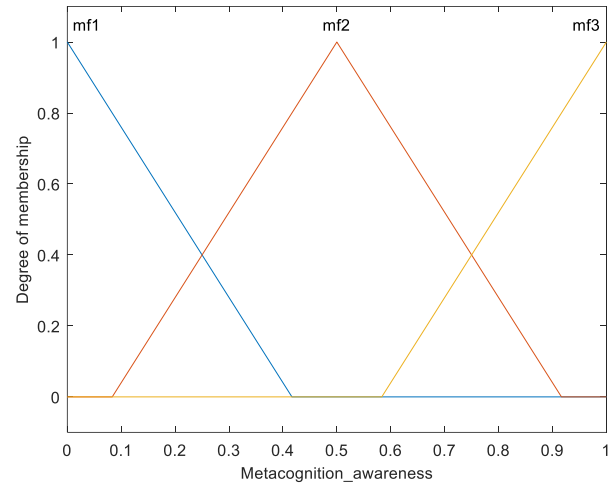
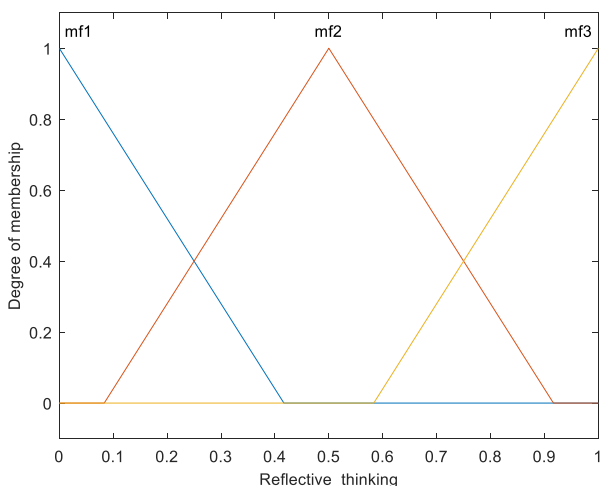
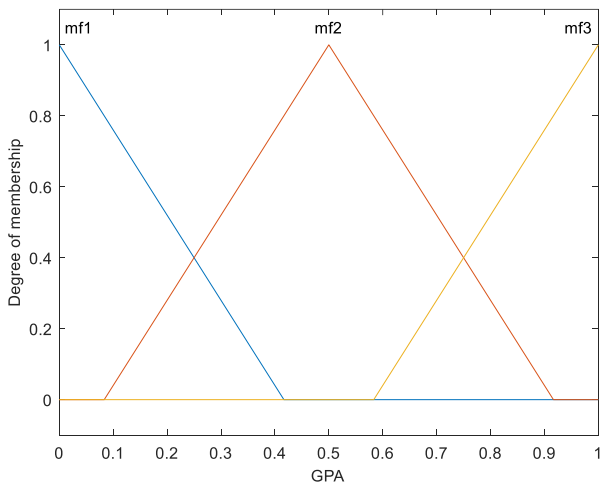
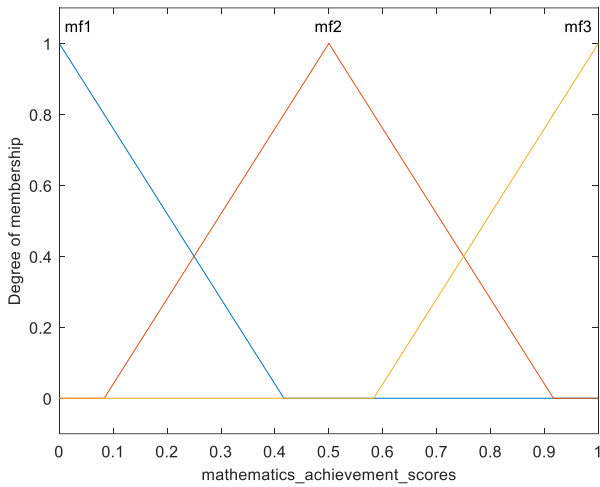


Figure 4. Membership functions.

Table 1. Fuzzy sets of the variables.

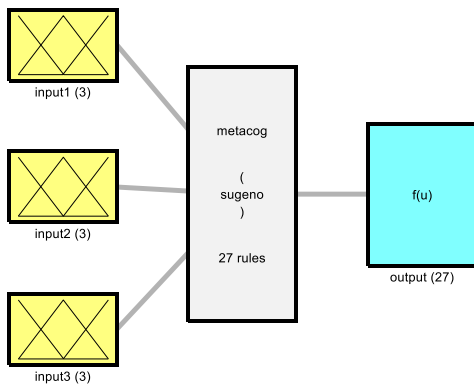
Fuzzy sets of input variables			Fuzzy sets of the output variable
MAS	GPA	RTC	MMA
Low	Low	Low	Low
Medium	Medium	Medium	Medium
High	High	High	High

\*MAS: Mathematics achievement scores  
 RTC: Reflective thinking characteristics  
 MMA: Mathematical metacognition awareness

#### 4.2. Data Prediction by ANFIS Model

Figure 5 illustrates the fundamental architecture of the ANFIS model used in this research. The system creates 27 "and" based rule bases for three input parameters made up of three membership functions (mfs). They are then transformed into a crisp output using the same quantity of output mfs. On the other hand, the rule viewer shown in Figure 6 has shown the ANFIS model's capacity for data prediction. Within the data range, the model is capable of predicting every output value for every input parameter. The rule viewer also allows the inputs to be chosen in accordance with a specific necessary output. In reaction to the input variables (The students' achievement grades and GPA, and their reflective thinking towards mathematical problem solving), the model can predict the output data (their mathematical metacognition awareness) and vice versa. To anticipate the second parameter when one parameter changes little, the model might be

modified.



System metacog: 3 inputs, 1 outputs, 27 rules

Figure 5. ANFIS model structure.

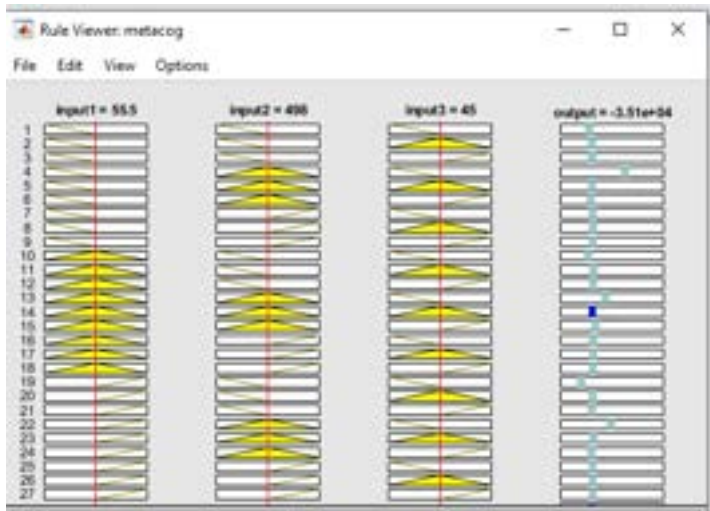


Figure 6. Rule viewer of the ANFIS prediction model.

### 4.3. Comparison Between Actual and Model-predicted Results

It was examined whether there was a statistically significant difference between the actual scores calculated through the students' answers to the Mathematical Metacognition Awareness Scale and the artificial scores estimated by ANN and ANFIS approaches. Paired samples t-test was used to determine the differentiation between real and artificial results. In addition, when interpreting the correlation between the results, an evaluation was made as low if the correlation coefficient is between 0.00-0.30, moderate if it is between 0.30-0.70, and high if it is between 0.70-1.00 (Büyüköztürk, 2012). All real and artificial scores are given in the Appendix Paired samples t-test was used to examine the differentiation between the real scores obtained from the scale and the artificial scores obtained with the ANFIS approach.

Table 2. Paired Samples t-test results between real scores and ANFIS scores

Metacognitive Awareness Score	N	Mean	SD	df	t	p
Real Scores	266	78.83	19.19	265	.411	.681
ANFIS Scores	266	77.64	45.96			

According to the analysis results in Table 2, there is no statistically significant difference between the real scores obtained from the scale and the artificial scores obtained with the ANFIS approach [ $t(265)=.411$ ;  $p>.05$ ]. This result shows that there is no difference between the artificial metacognitive awareness scores estimated by ANFIS and the real scores. Therefore, the real scores and the artificial ANFIS scores are close to each other, and the ANFIS model predicts results close to students' real metacognitive awareness scores.

Table 3. Paired Samples correlations results between real scores and ANFIS scores

	N	Correlation	Sig.
Real & ANFIS Scores	266	.155	.011

There is a statistically significant and low correlation between students' real and artificial ANFIS scores ( $r=.115$ ;  $p<.05$ ).

Paired samples t-test was used to examine the differentiation between the real scores obtained from the scale and the artificial scores obtained with the ANN approach.

Table 4. Paired Samples t-test results between real scores and ANN scores

Metacognitive Awareness Score	N	Mean	SD	df	t	p
Real Scores	266	78.83	19.19	265	-.173	.863
ANN Scores	266	79.00	9.29			

According to the analysis results in Table 4, there is no statistically significant difference between the real scores obtained from the scale and the artificial scores obtained with the ANN approach [ $t(265)=-.173$   $p>.05$ ]. This result shows that there is no difference between the artificial metacognitive awareness scores estimated by ANN and the real scores. Therefore, the real scores the artificial ANN scores are close to each other, and the ANN model predicts results close to students' real metacognitive awareness scores.

Table 5. Paired Samples correlations results between real scores and ANN scores

	N	Correlation	Sig.
<b>Real &amp; ANN Scores</b>	266	.499	.000

There is a statistically significant and moderate correlation between the real and artificial ANN scores of the students ( $r=.499$ ;  $p<.05$ ).

Paired samples t-test was used to examine the differentiation between the artificial scores obtained with the ANN and ANFIS approaches.

Table 6. Paired Samples t-test results between ANN and ANFIS scores

Metacognitive Awareness Score	N	Mean	SD	df	t	p
<b>ANN Scores</b>	266	79.00	9.29	265	.494	.622
<b>ANFIS Scores</b>	266	77.64	45.96			

According to the analysis results in Table 6, there is no statistically significant difference between the artificial scores obtained with the ANN and ANFIS approaches [ $t(265)=.494$ ;  $p>.05$ ]. This result shows that there is no difference between the artificial metacognitive awareness scores estimated by ANN and ANFIS approaches. Therefore, the scores obtained through ANN and ANFIS are close to each other.

Table 7. Paired Samples correlations results between ANN and ANFIS scores

	N	Correlation	Sig.
<b>ANN &amp; ANFIS Scores</b>	266	.210	.001

There is a statistically significant and low correlation between the artificial ANN and ANFIS scores of the students ( $r=.210$ ;  $p<.05$ ).

## 5. Discussion and Conclusion

The research's findings not only met its main goals, but also create a new opportunity for the metacognition awareness of middle school students. The generated ANFIS, and ANN models and their comparison have demonstrated that the models are appropriate for usage in the real world. The following conclusion can be reached based on the analyses:

Metacognitive awareness scores were calculated by using ANN and ANFIS approaches, which are artificial intelligence methods, and students' mathematics achievement scores, GPA, and reflective thinking features for mathematical problem solving. These scores are not the actual scores of the students, but the scores obtained artificially by ANN and ANFIS. In this study, it is aimed to estimate the metacognitive awareness scores of students by using artificial intelligence on some of their characteristics without answering any scale. After the model extraction stages, the artificially obtained metacognitive awareness scores of the participants were reached. No research  
*e-ISSN: 2148-2683*

has been found on the application of ANN and ANFIS approaches, which are artificial intelligence techniques, to the field of education. However, at the end of the research, the models obtained through ANN and ANFIS for the prediction of some characteristics of students prove the main idea that artificial intelligence, which is also included in the literature, can be used to obtain tacit knowledge (Singh et al., 2012; Jagtap and Pillai, 2014).

Results from ANN and ANFIS models were compared with statistical techniques. ANN results and actual results, ANFIS results and actual results were compared in pairs. In addition, the results obtained from the ANN and ANFIS models were compared. Statistically, there is no significant difference between the students' actual metacognitive awareness scores and the predicted ANFIS and ANN metacognitive awareness scores. The average of the real and artificial metacognitive awareness scores of the students is very close to each other. Therefore, both ANN and ANFIS models predict results close to students' actual metacognitive awareness scores. What makes ANFIS different and the main reason for using it for this research is that neuro-fuzzy systems have the advantage of making it simpler than using standard neural networks because they combine ANN and fuzzy networks (Walia, 2015). The fact that there was no significant difference between the real scores and the artificial scores obtained from ANFIS in this study proves that the ANFIS approach, one of the artificial intelligence methods, gives accurate results. In the study, both selected artificial intelligence techniques were compared. The lack of significant difference between the ANFIS and ANN scores of the participants shows that artificial intelligence techniques work in harmony and give consistent results. Since reflective thinking occurs when a particular problem is perceived, reflection can best be observed in the problem-solving process (Shermis, 1992). In addition, since reflective thinking features are related to the individual's own thinking processes, it has the feature of being a predictive variable for metacognition (Aydn & Ubuz, 2010). Based on this information in the literature, the research was based on the idea that students' metacognitive awareness could be predicted through their reflective thinking features for problem solving. The fact that there is no significant difference between the real results and the artificial results at the end of the research, and that there are meaningful results in relation to it, shows that the correct variables are determined.

This research presents new results in the context of Turkey by examining the metacognitive awareness of middle school students with artificial intelligence methods. Considering the efforts to integrate artificial intelligence applications into the education system in Turkey, it is expected that knowing some characteristics of students without the need for any scale or data collection tool will bring a very different dimension to the research and education community.

## 6. Limitations and Future Research Directions

The only topic covered in this research is how well middle school students' mathematical metacognition awareness through academic achievement scores (mathematics and general) and reflective thinking characteristics towards mathematical problem solving. However, taking into account other characteristics would provide a clearer understanding of how the middle school



students' mathematical metacognition awareness be. Additionally, working with more data enhances the ANFIS and ANN models' capacity for prediction. In addition, it may be beneficial to explore the relationships among variables that influence students' mathematical metacognition awareness (e.g., the effects of gender/grade level differences).

## References

- Aydın, U., & Ubuz, B. (2010). Turkish version of the junior metacognitive awareness inventory: The validation study. *Education and Science*, 35(157), 30-45.
- Büyükköztürk, Ş. (2012). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı. Pegem Akademi.
- Denai, M. A., Palis, F., & Zeghib, A. (2004, October). ANFIS based modelling and control of non-linear systems: a tutorial. In 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583) (Vol. 4, pp. 3433-3438). IEEE.
- Dewey, J. (1933). *How We Think. A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*, Boston etc. (DC Heath and Company) 1933.
- Dongare, A.D., Kharde, R.R., & Kachare, A.D. (2012). Introduction to artificial neural network (ANN) methods, *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, 2, 189-194.
- Everson, H. T., & Tobias, S. (1998). The ability to estimate knowledge and performance in college: A metacognitive analysis. *Instructional Science*, 26, 65-79.
- Fichtner, B. (2005). Reflective learning. In *Activity and Sign* (pp. 179-190). Springer, Boston, MA.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Flavell, J. H. (1987). *Speculations about the nature and development of metacognition*. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation and, understanding* (pp. 21-29). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2006). *How to design and evaluate research in education*. McGraw-Hill International Edition.
- García, F. J., Izquierdo, V., de Miguel, L. J., & Perán, J. R. (1997). Fuzzy identification of systems and its applications to fault diagnosis systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 30(18), 693-700.
- Harskamp, E. G., & Suhre, C. J. M. (2007). Schoenfeld's problem solving theory in a student controlled learning environment. *Computers & Education*, 49, 822-839.
- Hassan, T. S. K. M. M. (2010). Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) for fault classification in the transmission lines. *Online J. Electron. Electr. Eng.(OJEEE)*, 2, 2551-2555.
- Hepner, G., Logan, T., Ritter, N., & Bryant, N. (1990). Artificial neural network classification using a minimal training set-Comparison to conventional supervised classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(4), 469-473.
- Hossain, I., Choudhury, I. A., Mamat, A. B., & Hossain, A. (2017). Predicting the colour properties of viscose knitted fabrics using soft computing approaches. *The Journal of the Textile Institute*, 108(10), 1689-1699.
- Jagtap, P., & Pillai, G. N. (2014, February). Comparison of extreme-ANFIS and ANFIS networks for regression problems. In *2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)* (pp. 1190-1194). IEEE.
- Johnson, R. B., & Christensen, L. B. (2014). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches* (5th ed.). CA: Sage.
- Kaplan, A., & Duran, M. (2016). Ortaokul öğrencilerine yönelik matematiksel üstbiliş farkındalık ölçeği: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 32, 1-17.
- Karaboga, D., & Kaya, E. (2019). Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 52(4), 2263-2293.
- Katkat, D., & Mızrak, O. (2003). Öğretmen Adaylarının Pedagojik Eğitimlerinin Problem Çözme Becerilerine Etkisi. *Milli Eğitim Dergisi*, 158.
- Khan, G. M. (2018). Artificial neural network (ANNs). In *Evolution of Artificial Neural Development* (pp. 39-55). Springer, Cham.
- Kızılkaya, G., & Aşkar, P. (2010). Problem çözmeye yönelik yansıtıcı düşünme becerisi ölçeğinin geliştirilmesi. *Eğitim ve Bilim*, 34(154), 82-92.
- Kukreja, H., Bharath, N., Siddesh, C. S., & Kuldeep, S. (2016). An introduction to artificial neural network. *Int J Adv Res Innov Ideas Educ*, 1, 27-30.
- Lochan, K., & Roy, B. K. (2015). Control of two-link 2-DOF robot manipulator using fuzzy logic techniques: a review. In *Proceedings of fourth international conference on soft computing for problem solving* (pp. 499-511). Springer, New Delhi.
- Majumder, M. (2015). Artificial neural network. In *Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberrations* (pp. 49-54). Springer, Singapore.
- Montgomery, D. E. (1992). Young children's theory of knowing: The development of a folk epistemology. *Developmental Review*, 12, 410-430.
- Moon, J. (1999). *Reflection in learning & professional development, theory and practice*. London: Kogan Page Inc.
- Sarkar, J., Prottoy, Z. H., Bari, M. T., & Al Faruque, M. A. (2021). Comparison of ANFIS and ANN modeling for predicting the water absorption behavior of polyurethane treated polyester fabric. *Heliyon*, 7(9), e08000.
- Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, 7(4), 351-371.
- Schraw, G. (2009). *Measuring metacognitive judgments*. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education*. (pp. 415-429). New York: Routledge.
- Schön, D. (1987). *Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions*. San Francisco: Jossey Bass.
- Sharma, V., Rai, S. & Dev, A. (2012). A comprehensive study of artificial neural networks, *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Software Eng.*, 2, 278-284.
- Shermis, S. S. (1992). *Critical thinking: helping students learn reflectively*. Bloomington: EDINFO Press.
- Singh, R., Kainthola, A., & Singh, T. N. (2012). Estimation of elastic constant of rocks using an ANFIS approach. *Applied Soft Computing*, 12(1), 40-45.
- Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information sciences*, 36(1-2), 59-83.
- Özsoy, G. (2008). Üstbiliş. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 6(4), 713-740.

Özsoy, G., & Günindi, Y. (2011). Okulöncesi öğretmen adaylarının üstbilişsel farkındalık düzeyleri. *İlköğretim Online*, 10(2), 430-440.

Viotti, P., Liuti, G., & Di Genova, P. (2002). Atmospheric urban pollution: applications of an artificial neural network (ANN) to the city of Perugia. *Ecological Modelling*, 148(1), 27-46.

Walia, N., Singh, H., & Sharma, A. (2015). ANFIS: Adaptive neuro-fuzzy inference system-a survey. *International Journal of Computer Applications*, 123(13).

Woolfolk, A. (2004). *Educational psychology*. Boston: Pearson, Allyn and Bacon.

Yıldız, E., Akpınar, E., Tatar, N., & Ergin, Ö. (2009). İlköğretim öğrencileri için geliştirilen biliş üstü ölçeği'nin açılımlayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 9(3), 1573-1604.

Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets. In *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh* (pp. 394-432).

Zou, J., Han, Y., & So, S. S. (2008). Overview of artificial neural networks. *Artificial Neural Networks*, 14-22.

## Appendix

Student	Actual Score	ANFIS Score	ANN Score
S1	114	88	89
S2	93	91	91
S3	101	83	86
S4	112	112	96
S5	95	95	83
S6	83	74	81
S7	105	100	94
S8	66	74	80
S9	108	110	75
S10	89	86	90
S11	114	90	89
S12	100	88	89
S13	92	91	89
S14	88	70	74
S15	91	87	88
S16	75	74	70
S17	59	58	54
S18	89	88	95
S19	90	82	85
S20	86	80	84
S21	92	87	88
S22	80	78	78
S23	90	81	84
S24	74	87	88
S25	86	81	83
S26	102	91	90
S27	73	81	84
S28	66	69	77
S29	76	73	66
S30	49	67	72
S31	75	89	89
S32	72	79	83
S33	73	81	84
S34	69	80	76
S35	83	89	89
S36	60	57	64
S37	63	76	81
S38	90	88	84
S39	62	64	63
S40	98	95	91
S41	82	74	80

S42	91	74	81
S43	72	72	66
S44	96	91	90
S45	61	75	80
S46	65	66	63
S47	49	63	73
S48	54	75	75
S49	49	63	73
S50	74	91	92
S51	30	63	76
S52	89	78	84
S53	86	88	89
S54	85	84	82
S55	87	67	69
S56	66	70	73
S57	77	77	74
S58	85	85	87
S59	65	88	87
S60	87	75	75
S61	64	77	70
S62	80	95	96
S63	36	37	50
S64	66	70	74
S65	61	67	72
S66	102	94	92
S67	77	76	81
S68	60	73	81
S69	50	50	50
S70	39	43	72
S71	87	79	73
S72	57	69	65
S73	78	79	83
S74	103	106	108
S75	40	79	83
S76	74	78	82
S77	48	50	46
S78	53	70	73
S79	87	78	82
S80	63	89	88
S81	69	79	81
S82	52	67	70
S83	79	72	79
S84	115	93	94
S85	82	75	78
S86	67	81	73
S87	87	69	80
S88	65	76	83
S89	62	65	73
S90	77	77	70
S91	75	90	89
S92	81	75	78
S93	90	92	77
S94	62	62	61
S95	59	76	78
S96	66	68	74
S97	67	80	73
S98	91	98	91
S99	83	70	72
S100	66	66	76
S101	72	62	69
S102	85	85	77
S103	80	84	73
S104	67	68	75
S105	81	88	88

S106	92	76	72
S107	92	76	79
S108	75	77	73
S109	67	72	73
S110	99	80	76
S111	86	93	75
S112	90	75	82
S113	40	44	66
S114	58	78	85
S115	81	76	79
S116	103	80	83
S117	66	71	71
S118	100	97	76
S119	86	88	89
S120	75	89	89
S121	72	79	83
S122	73	81	84
S123	69	80	76
S124	83	89	89
S125	60	57	64
S126	63	76	81
S127	90	88	84
S128	62	64	63
S129	98	95	91
S130	82	74	80
S131	91	74	81
S132	72	72	66
S133	96	91	90
S134	61	75	80
S135	65	66	63
S136	49	63	73
S137	54	75	75
S138	49	63	73
S139	74	91	92
S140	30	63	76
S141	89	78	84
S142	86	88	89
S143	85	84	82
S144	87	67	69
S145	66	70	73
S146	77	77	74
S147	85	85	87
S148	65	88	87
S149	87	75	75
S150	84	78	85
S151	62	73	75
S152	106	91	94
S153	70	89	90
S154	84	90	91
S155	61	83	85
S156	77	76	81
S157	73	73	74
S158	93	89	90
S159	88	75	73
S160	115	90	94
S161	112	95	90
S162	102	102	91
S163	106	85	87
S164	84	68	71
S165	85	88	88
S166	81	77	81
S167	115	72	78
S168	82	75	71
S169	67	76	80

S170	69	78	82
S171	104	103	78
S172	83	78	73
S173	79	78	73
S174	79	80	77
S175	74	73	77
S176	34	33	56
S177	115	86	87
S178	65	85	76
S179	80	77	73
S180	109	75	79
S181	118	62	73
S182	93	78	74
S183	78	73	81
S184	84	99	93
S185	91	81	73
S186	111	76	81
S187	23	83	84
S188	71	104	77
S189	46	81	68
S190	86	73	80
S191	116	85	85
S192	85	-54	72
S193	113	60	74
S194	72	88	88
S195	115	79	83
S196	98	80	83
S197	106	70	77
S198	77	79	82
S199	87	85	85
S200	109	77	110
S201	104	75	74
S202	106	97	72
S203	103	93	97
S204	114	78	73
S205	115	78	73
S206	53	93	92
S207	96	79	83
S208	71	54	73
S209	100	89	86
S210	94	87	87
S211	61	78	72
S212	91	87	85
S213	115	127	96
S214	115	72	74
S215	96	77	76
S216	68	61	72
S217	110	131	96
S218	102	70	81
S219	82	83	84
S220	101	72	89
S221	94	53	78
S222	71	316	63
S223	98	88	89
S224	84	84	77
S225	97	127	95
S226	77	27	78
S227	89	71	78
S228	103	94	94
S229	64	-12	57
S230	88	243	68
S231	69	94	79
S232	48	169	59
S233	75	67	72

S234	91	94	92
S235	69	84	73
S236	67	263	73
S237	81	80	84
S238	71	75	78
S239	75	52	78
S240	66	-514	67
S241	86	94	73
S242	57	65	76
S243	43	83	74
S244	56	75	71
S245	63	61	79
S246	62	82	78
S247	55	17	76
S248	57	89	84
S249	75	7	72
S250	58	111	66
S251	59	51	75
S252	60	70	72
S253	81	75	77
S254	98	47	68
S255	52	45	71
S256	103	78	83
S257	46	70	77
S258	101	80	75
S259	70	79	71
S260	67	77	76
S261	72	75	84
S262	64	87	88
S263	59	81	74
S264	37	81	72
S265	67	96	70
S266	62	82	74



# Aşı Okuryazarlığı ve Covid-19 Pandemisinde Yaşama Yansıyan Tereddüt, Aşı reddi ve Aşı karşıtlığı Üzerine Bir Araştırma

Gülşah Kinali<sup>1</sup>, Betül Kübra Örg ev<sup>2</sup>, Cemil Örg ev<sup>3</sup>, Bayram Topal<sup>4</sup>, Hasan Şahin<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7974-5571), [gulshahkinali@subu.edu.tr](mailto:gulshahkinali@subu.edu.tr)

<sup>2</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5214-2188), [b.oregev@gmail.com](mailto:b.oregev@gmail.com)

<sup>3</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4199-1915), [corg ev@subu.edu.tr](mailto:corg ev@subu.edu.tr)

<sup>4</sup> Sakarya Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3521-4266), [btopal@sakarya.edu.tr](mailto:btopal@sakarya.edu.tr)

<sup>5\*</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8915-000X), [h.sahin@btu.edu.tr](mailto:h.sahin@btu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 21 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 10 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1146670)

**ATIF/REFERENCE:** Kinalı, G., Örg ev, B. K., Örg ev, C., Topal, B. & Şahin, H. (2022). Aşı Okuryazarlığı ve Covid-19 Pandemisinde Yaşama Yansıyan Tereddüt, Aşı Reddi ve Aşı Karşıtlığı Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 462-472.

## Öz

Bu araştırma Türkiye’de gerek kamu gerekse vakıf üniversitelerinde görev yapan akademik personelin aşı okuryazarlığı seviyesini tespit etmek ve demografik özellikleri ile ilişkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Ayrıca, Covid-19 salgını ve bu salgına karşı en önemli araç olan aşı konusundaki yaşama yansıyan tereddüt, aşı reddi ve aşı karşıtlığı incelenmekte; yanlış, yanıltıcı ve bilinçsiz söylenti ve tereddüt algılarının azaltılmasına katkı sağlayacak önerilerde bulunulması hedeflenmiştir. Çalışmada 448 akademisyen ile çevrimiçi anket yapılmıştır. Katılımcıların %58,5’ini Y kuşağı, %35’ini X kuşağı oluşturmaktadır. Fonksiyonel beceriler ve iletişimsel/eleştirel beceriler olmak üzere iki alt boyuttan oluşan ölçekte elde edilen yüksek puan Covid-19 aşı okuryazarlığının yüksek düzeyde olduğunu ifade etmektedir. Katılımcıların demografik özelliklerine göre aşı okuryazarlığı ilişkisinde anlamlı bir fark bulunamamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, Aşı, Aşı Okuryazarlığı, Akademik Personel, Aşı Reddi, Aşı Tereddüdü

## A Study on Vaccine Literacy and Hesitance Reflected on Life in the Covid-19 Pandemic, Vaccine Rejection and Anti-Vaccine Opposition

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the Vaccine Literacy Level of Academic Staff working in both Public and Foundation Universities in Turkey and to determine their relationship with their demographic characteristics. In addition, examining the Covid-19 epidemic and the hesitation, vaccine rejection and opposition to the vaccine, which is reflected in the life about the vaccine, which is our most important weapon against this epidemic; It is aimed to make suggestions that will contribute to the reduction of false, biased and unconscious rumors and hesitation perceptions In the study, an online survey was conducted with 448 academicians. Y generation constitutes 58.5% of the participants and X generation constitutes 35%. A high score obtained in the scale consisting of two sub-dimensions, functional skills and communicative/critical skills, indicates a high level of COVID-19 vaccine literacy. No significant difference was found in the vaccine literacy relationship according to the demographic characteristics of the participants.

**Keywords:** COVID-19, Vaccination, Vaccine Literacy, Academic Staff, Vaccine Refusal, Vaccine Hesitatio.

\* Sorumlu Yazar: [h.sahin@btu.edu.tr](mailto:h.sahin@btu.edu.tr)

## 1. Giriş

Sağlık okuryazarlığı, “bireylerin sağlıkları ile ilgili doğru kararları verebilmelerine imkan sağlayacak temel sağlık bilgilerini kazanma ve bu bilgileri analiz edip kullanma, hizmetlere zamanında erişebilme derecesi” olarak tanımlanmaktadır. Sağlık okuryazarlığı, kişilerin sağlık hizmeti sağlayıcıları ile etkili etkileşim kurma kabiliyetlerini geliştirirken kendilerine ve aile bireyelerine gerekli sağlık hizmetlerini sağlamada daha başarılı olurlar [26]. Özellikle, sağlık okuryazarlığı düşük bireyler aşı gibi koruyucu sağlık hizmetleri kullanma konusunda da yetersiz kalırlar [14]. Ayrıca düşük düzeyde sağlık okuryazarı olan bireyler, aşılamanın başarıya ulaşmasında koruyucu davranışların benimsenmesinin azalmasına sebep olabilmektedir [4].

Genel eğitim düzeyi ile sağlık okuryazarlığının paralel olduğu söylenemez. Belirli bilgileri nereden, nasıl elde edeceğini, okuyacağını bilen, analiz edip doğru yönetebilen kişi “okuryazar” olarak tanımlanır. Fakat “okuryazar” olmak, sağlık konularında sağlıklı seçimler yapmaya, riskli davranışlardan kaçınmaya, daha az hastaneye yatmaya, sağlığın kötüye gitmesini önlemeye yetmeyebilir. Akademik çalışmalar, yetişkin Amerikan ve Avrupa nüfusunun yarısının, sınırlı sağlık okuryazarlığından dolayı, sosyal eşitsizlikler ve daha yüksek sağlık maliyetleri ile karşılaştıklarını göstermektedir [14, 31].

Literatürde “aşı okuryazarlığı” hakkında ise çok az yayın mevcuttur [27]. Çalışmalar özellikle, aşı karşıtı gruplara, güveni artırmaya, kendini beğenmiş bireylerin motivasyonunu yükseltmeye, aşılama uygun olmayan bireylerin önündeki engelleri kaldırmaya, çağdaş iletişim tekniklerini uygulamaya odaklanmıştır [12]. Ancak, aşılamanın önündeki engeller, sadece ebeveynleri ve yetişkin nüfusu baz alarak değil, aynı zamanda ilkökul ve ortaokul öğrencilerinden başlayarak öğrencileri de hedef alarak, sağlık eğitiminin iyileştirilmesiyle aşılabılır [2]. Aşı okuryazarlığı kavramı aynı sağlık okuryazarlığı fikri üzerine monte edilmiştir.

### 1.1. Aşılar Ve Etki Şekilleri

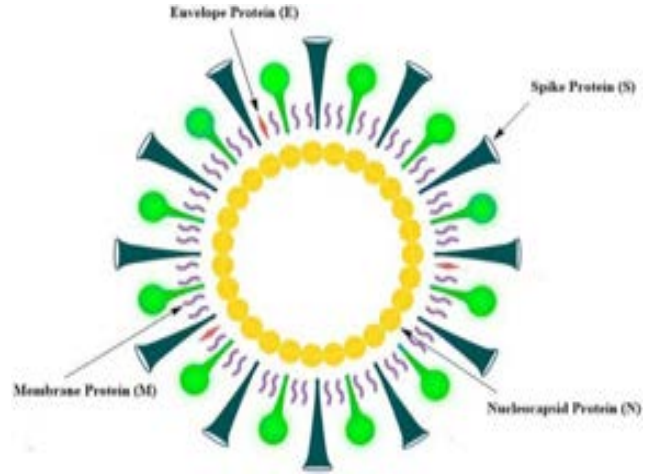
Aşı, bir hastalığı geçirmeden bu hastalığa karşı vücudun bağışıklık geliştirilmesini sağlayan bir koruyucu tedavi yöntemidir. Akademik çalışmalar, tartışmasız bir şekilde göstermektedir ki aşılar, modern bilimin en büyük zaferlerinden birisidir; halk arasında yaygın olarak kullanılmalıdır ve bu konuda bilimsel verilere dayanmaksızın karşıtlık yapanlar kamu sağlığını kasten tehdit etmektedirler [7, 8, 17, 19, 20, 22, 24, 35].

Aşı ilk olarak çiçek hastalığı sırasında İngiliz Doktor Edward Jenner tarafından tanıtılmıştır [33]. Edward Jenner’in sunduğu [30] aşı yeterli sayıda deneme olmaması sebebiyle Royal Society tarafından reddedilmiştir. 1796’da Jenner tarafından çiçek aşısının geliştirilmesinden bu güne; etkinlikleri, koruyuculuk düzeyleri, yan etkileri, maliyetleri, patent koruması nedeniyle metaya dönüşmeleri vb. pek çok boyutuyla tartışılmıştır.

### 1.2. Covid-19 Ve Aşı Türleri

Koronavirüsler, tek zincirli, pozitif yüklü, zarflı RNA virüsleridir. Pozitif yüklü oldukları için RNA’ya bağımlı RNA polimeraz enzimini içermezler ancak genomlarında bu enzimi kodlarlar. Yüzeylerinde çivimsi uzantıları vardır [43]. Bu çivilerin dizilimi nedeniyle Latince’de “taç” anlamına gelen “corona”dan

yola çıkılarak bu virüslere “koronavirüs” (taçlı virüs) ismi verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Koronavirüsün şematik yapısı [43]

COVID-19 vakaları ilk olarak Aralık 2019’da Çin’in Hubei eyaleti Wuhan şehrinde bildirilmiştir. Kısa bir süre içinde vaka sayısı dramatik bir şekilde artmış, Çin’e ve tüm Dünya’ya yayılarak uluslararası endişe duyulan bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir [41]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) COVID-19’u 11 Mart 2020’de pandemi olarak ilan etmiş ve hastalığın etkeninin yeni bir koronavirüs (CoV) olduğunu duyurmuştur [41].

COVID-19 etkisi olan SARS-CoV-2, 21. yüzyılda insanları enfekte eden üçüncü yüksek derecede patojenik koronavirüs olmuştur. Son on yılda, Nipah, Ebola, Chikungunya, Zika, Orta Doğu Solunum Sendromu Koronavirüsü (MERS-CoV), Şiddetli Akut Solunum Sendromu Koronavirüsü (SARS-CoV) ve daha yakın zamanda yeni koronavirüs (nCoV veya SARS-CoV-2) dahil olmak üzere yaşamı tehdit eden birçok insan patojeni ortaya çıkmıştır [34].

Tüm aşılarda olduğu gibi, COVID-19 virüsü ile mücadelede kullanılan aşıların temel amacı, koronavirüse karşı aktif ve duyarlı bir bağışıklık sistemi oluşturulmasıdır. Farklı etki mekanizmalarına ve içeriklere sahiptir aşılar şu şekilde sınıflandırılabilir [47]:

- Zayıflatılıp ve etkisiz hale getirilen virüslerin vücuda enjekte edilerek vücut tarafından bağışıklık yanıtı oluşturulması “Viral Vektör Tabanlı Aşılar” ile sağlanır.
- Virüslerin “Ribo Nükleik Asit” adlı genetik materyalline vücut tarafından antikor üretilmesi esasına dayanan “RNA Tabanlı Aşılar”.
- Canlı ortamda üreme özellikleri engellenen virüslerin vücuda enjekte edilmesi ile gerçekleştirilen “İnaktif Aşılar”.
- Virüslerdeki cansız yapıdaki protein zarflarının kullanımı ile üretilen “Alt Ünite Aşılar”.
- Zayıflatılarak hastalık yapamayacak düzeye getirilmiş olan canlı virüslerin enjekte edilmesi ile uygulanır. Bu aşılar bağışıklık sistemi zayıf olan kişilerde riskli olan bu aşılar, zayıflatılarak hastalık yapma yetenekleri inhibe edilen virüslerin kullanılması ile “canlı aşılar” kullanılır.

Aşı geliştirme süreci [38]:

- Birinci aşama; hedeflenen virüs veya mikroorganizmaya karşı aşı geliştirmek için gerekli suş ve antijenlerin üretilmesi çalışmalarını kapsayan Araştırma-Geliştirme faaliyetlerini içerir.

- İkinci aşama: Uluslararası standartlarda antijen ve suşların üretilmesi, aşı formüllerinin hazırlanması, invivo ve invitro hayvan deneylerini kapsayan klinik öncesi (Faz 0) çalışmaları safhasıdır.

- Üçüncü aşama: Faz 1, Faz 2, Faz 3 klinik çalışmaları ile etkin hümmoral ve hüresel bağışıklık sağlayabilen etkin ve güvenilir, prototip olarak geliştirilme çalışmalarını içeren “klinik araştırma fazları”nı içerir.

- Birinci Faz: Temelde güvenlik amacı taşıyan, sınırlı sayıda sağlıklı gönüllüde araştırmaların yapıldığı, aşının farmakokinetik, toksisite özellikleri ile farmakolojik etkilerinin araştırıldığı aşamadır.

- İkinci Faz: Esas amaç etkinlik ve güvenilirlik olan daha fazla sağlıklı insanda araştırılan dozların etkili sınır değerleri, klinik olarak etkinliği, biyolojik aktivitesi ve yararların araştırıldığı bir safhadır.

- Üçüncü Faz: Öncelikli amaç aşının etkinliğinin belirlenip yan etkilerinin takip edilmesi olan, plasebo kontrollü, daha fazla sayıda insanda mukayeseli çalışmaların yapıldığı fazdır.

- Dördüncü Faz: Pazarlama sonrası takip aşaması olarak da tanımlanan bu safhada ilk üç aşamada başarılı olan aşılar ruhsatlandırılır.

Covid-19 aşısı olarak bilinen ve uygulanan aşı türleri [47]:

- Sinovac-Coronavac Aşısı: Viral vektör tekniği ile üretilen bu aşıda başarı oranı %50'nin üzerinde olduğu, söz konusu hastalığa yakalanan kişilerde yoğun bakım ihtiyacını önemli bir ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir. Sinovac aşısı, Biontech ve Moderna aşıları ile karşılaştırıldığında klasik soğutucu dolaplarda düşük saklama sıcaklıklarına ihtiyaç duymadan, muhafaza edilebilme avantajına sahiptir.

- Pfizer-Biontech Aşısı: RNA tabanlı bir aşı olup %90 gibi yüksek bir başarı oranına sahip olmasına rağmen, -70 derece gibi çok düşük bir sıcaklıkta muhafaza edilme zorunluluğu vardır.

- Astrazeneca Aşısı: Viral vektör tabanlı aşılarından olup, %70 başarı oranı tespit edilmiştir. Bu oran Moderna ve Biontech aşıları ile mukayese edildiğinde, başarı oranı daha düşük olma dezavantajı yanında maliyetin düşük ve normal soğutucular içerisinde saklanabilme gibi üstünlükleri vardır.

- Moderna Aşısı: RNA bazlı bir aşı türü olan söz konusu aşı %95 gibi yüksek bir başarı oranına sahip olup -20 derecede özel dolaplar içerisinde saklanabilmektedir.

- Sputnik-V Aşısı: Viral vektör tabanlı aşı, %92 gibi yüksek bir başarı oranına sahip, düşük maliyetli ve normal soğutucu dolaplarda saklanabilme avantajlarına sahiptir.

- Sinopharm Aşısı: Viral vektör tabanlı, %79 başarı oranı öngören, bir aşıdır.

- Johnson & Johnson Aşısı: Viral vektör tabanlı, tek doz şeklinde uygulanan, klasik soğutucularda saklanabilen ve kolay dağıtım imkanına sahip bir aşıdır.

- TURKOVAC Aşısı: Etkisizleştirilmiş virüs içeren inaktif aşı.

Aşılama, enfeksiyon hastalıklarından korunmanın yanı sıra, enfeksiyon hastalıkları nedeni ile oluşan ciddi sakatlıkların veya ölümlerin azaltılmasında en etkin yöntemdir. Aşılama temel amaç en az yan etki ile en yüksek korunmanın sağlanmasıdır. Günümüzde çiçek hastalığı dâhil birçok hastalık etkin aşılamaya programları sayesinde dünyadan eradike edilebilmiştir [48].

Aşı çalışmalarının da önemli bir noktaya geldiği bu günlerde bir yandan da ülkeler aşı temine çalışmaktadırlar. Her ülke, ürettiği yada temin ettiği aşıları vatandaşlarına ulaştırarak salgının önüne geçmek amacındadır. Ancak toplumun bazı kesimlerinde hızla yayılan aşı karşıtlığı bu amacı gerçekleştirmede sorun teşkil edebilmektedir. Aşı karşıtlığı özellikle son yıllarda hem dünyada hem de ülkemizde giderek artan bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Covid-19 aşısı çalışmalarının başladığı günden bugüne kadar ister aşı olsun ister aşı olmasın birçok insanın aklında soru işaretleri bulunmaktadır. Ayrıca zaman ilerledikçe bu soru işaretleri olumlu yada olumsuz tutuma dönüşmektedir. Aşıların uygulandığı günümüzde olumsuz tutum içerisinde olan kişiler, toplumun bağışıklık kazanması için bir tehdit oluşturmaktadır. Bu araştırma ile toplumda aşı okuryazarlığı ve covid-19 pandemisinde yaşama yansıyan tereddüt, aşı reddi ve aşı karşıtlığı gözlenmesi halinde, yetkili makamların bu tutumu tersine çevirmek için çalışma yürütmesine olanak sağlayacaktır.

## 2. Literatür Taraması

Çalışmada birçok web sitesi incelenerek aşı söylentileriyle ilgili bilgiler elde edilmiş ve aşı reddi, aşı tereddüdü ve aşı karşıtlığı senaryoları ile ilgili yerli yabancı güncel literatür taraması yapılmıştır.

Aşı okuryazarlığı (AO) kavramı, aşı alımının ana belirleyicilerini daha iyi tanımlamak ve anlamak için sağlık okuryazarlığına aşı tutumları ve tereddütleri açısından bakılmaktadır. Spesifik olarak, “aşı okuryazarlığı sadece aşılar hakkında bilgi sahibi olmak değil, aynı zamanda işleyen bir sağlık sisteminin olmazsa olmazı olarak aşıları iletmek ve sunmak için karmaşıklığı azaltılmış bir sistem geliştirmektir” [27].

Aşılarla ilgili bilgiler karmaşık olma eğiliminde olduğundan bu bilgiyi anlamak, belirli okuryazarlık seviyesi ve sayısal beceriler gerektirir, bu nedenle, özellikle hastaların düşük sağlık okuryazarlığı varsa, bilgileri hastaların algılaması zor olmaktadır [21]. Ayrıca, doğru bilgiyi aramak için eleştirel ve değerlendirme becerileri de gereklidir [18, 39]. Böyle bir senaryoda, sağlık okuryazarlığı ve özellikle aşı okuryazarlığı, aşı alımını etkileyebileceğinden aşı tereddütünün potansiyel belirleyicileri olarak kabul edilmelidir [1].

Aşı okuryazarlığı aşağıda ifade edilen sekiz ilke ile güçlendirilebilmektedir [32].

- Açık, güvenilir, güncel kanıtlarla bilgilendirilmiş bireysel bilgi
- Gerçeği kurgudan ayırt etme kabiliyeti
- Dinleme, teşvik edici sorular ve diyalog
- Sorulara anlaşılır, güvenilir, güncel cevaplar verme
- Aşının kendisi ve toplum için risklerini ve faydalarını anlama
- Başarılı eğitim, erişim ve aşılamaya sistemleri
- Aşılamayı ve eşitliği teşvik eden ihtiyathol politikalar

- Aşı kalitesi, güvenliği ve etkinliğinde şeffaflık, açıklık ve güven.

Aşı okuryazarlığı, Covid-19 salgınına ele almak için acilen gerekli olan temel bir sağlık okuryazarlığıdır. Aşı okuryazarlığı, insanların beceri ve yetenekleri, erişim ve aşı olmak için gereken içerik, süreçler ve sistemlerle uyumlu olduğunda ortaya çıkar.

Covid-19 aşılı konusunda yaşama yansıyan söylenti, komplo teorileri, aşı tereddütü ve karşıtlığı literatür taraması ile elde edilen bilgiler şu şekildedir.

## 2.1. Söylentiler

İslam ve arkadaşları [15] çalışmalarında söylentilerin %6'nın Covid-19 aşı reaktifleriyle; %4'nün aşı alternatifleri ve gerekliliği ile ve %2'nin de Covid-19 aşısıyla ilgili siyasi veya ekonomik çıkarlarla bağlantılı olduğunu ortaya çıkarmışlar. Çalışmada Covid-19 aşılıların abort edilen fetüslerden alınan hücrelerle üretildiği iddia edilirken, Brezilya'daki bir aşı üreten laboratuvarında abortlu fetüs hücrelerinin varlığının gerekçe gösterildiği; aşının maymun ve domuzlardan elde edilen genleri içerdiği ve aşının Alzheimer hastalığına neden olabilecek alüminyum içerdiğine dair raporların ileri sürüldüğü belirlenmiştir.

Aşı reaktifleri ile ilgili olarak virüsün aşıya gerek kalmadan doğal olarak yok olacağı, alternatif olarak ABD Hükümeti'nin hidrosiklorokine güvendiği, doğal bağışıklığın Covid-19'a karşı en iyi savunma olduğu ve sığır eti yemenin Covid-19'a karşı en iyi aşı olduğu, pnömokok aşısının, Haemophilus influenza tip B (Hib) aşısının, tüberküloz aşısının (BCG) veya çocuk felci aşısının koronavirüs enfeksiyonuna karşı koruma sağlayabileceği yönünde söylentiler tespit edilmiştir [15]. Covid-19 aşısının siyasi veya ekonomik çıkarlarla bağlantılı olduğu yönünde tespit edilen en popüler söylenti ise aşı satışlarını artırmak için aşının Covid-19 pandemisi'nden önce icat edildiği yönünde olmuştur. Ayrıca, büyük ilaç şirketlerinin, aşı talebini artırmak amacıyla ile sosyal medya şirketleri, ulusal ve uluslararası sağlık kuruluşları, gazeteler ve televizyon kanallarını kullandıklarına dair söylentiler; ABD'de 2020 seçim kampanyasında Covid-19 aşı geliştirilmesinin silah olarak kullanıldığına dair haberler; Hindistan'da iktidar partisine oy verenlere ücretsiz bir Covid-19 aşısının mevcut olacağı yönünde söylentiler de tespit edilmiştir [15].

## 2.2. Komplo Teorileri

İslam ve arkadaşları [15] yaptıkları çalışmada, komplo teorileri olarak sınıflandırılan 59 maddenin %97'si yanlış çıkmıştır. Çevrimiçi platformlar aracılığıyla dolaşan en popüler komplo teorileri; Covid-19 aşısı ile insan nüfusunun izlenebileceği, aşısının biyometrik verileri bir araya getirilebileceği bir mikroçip içereceği; 5G ağlarını kullanarak çiplere sinyal gönderilip insanlığın kontrol edilebileceği; Covid-19 aşılı ile insanoğlunun genetiğinin değiştirilmesi amaçlandığı yönünde teoriler saptanmıştır [15]. Jamal'ın yaptığı çalışmada ise COVID-19 aşısının kürtağla alınan fetüsten alınan hücreleri veya domuzlardan alınan genleri içerdiği söylentileri nedeni ile Müslümanlar ve Yahudi toplulukları arasında dini kaygı uyandırdığı ortaya çıkarılmıştır [13]. Rochmyaningsih'in yaptığı bir çalışmada da kızamık ve kızamıkçık aşılılarının domuzlardan elde edilen maddeler içerdiğine ve bu nedenle İslam'da izin verilmediğine dair benzer bir söylentinin, Endonezya'da aşı kabulünde keskin bir düşüşe neden olduğu belirlenmiştir [25]. Pelčić ve arkadaşları da COVID-19 aşısında iptal edilen fetüs

hücrelerinin kullanımına ilişkin yorumlar, Hıristiyanlar ve Budistler arasında aşı kabulünü de etkileyebildiği ortaya çıkarılmıştır [23].

## 2.3. Aşı Tereddütü Ve Aşı Karşıtlığı

Aşı tereddütünü ele almada farklı ve çok bileşenli stratejiler önerilmiştir [12]. Aşı tereddütü faktörlerini gözden geçirirken, sınırlı aşı okuryazarlığı, aşı uygunluğunun bir bileşeni ve düşük aşı alımının bir nedeni olarak kabul edilmesine ve iletişim stratejilerinin başarısının sınırlı olmasına rağmen pek dikkate alınmamaktadır [29]. Aşı tereddütü, ulaşılabilir olmasına rağmen aşının kabul edilmesinde veya reddedilmesindeki gecikmeyi, ertelemeyi ifade eder. Aşı tereddütü karmaşık olup zaman, yer ve aşı bağlamına göre değişip rahatlık ve güven gibi faktörlerden etkilendir [46]. Aşı tereddütünün arkasındaki nedenler karmaşıktır ve yetersiz bilgidir fazlasını içerir.

Tereddüt içindeki kişilere kanıt sağlamak kritik öneme sahiptir, fakat aşıya karşı veya aşı konusunda şüphe duyanların inançlarında bir değişiklik yapabilmek için yeterli değildir. Hatta, ilgili duygusal reddedilmelere doymuşsa veya aşırı bilgi bombardımanına tutulduysa, belgelenmiş veriler kendi kendini çürütebilirler. Bu gerçek dikkate alınarak aşı konusunda iletişim, insanların aşı okuryazarlığı dikkate alınarak planlanıp uygulanmalıdır.

Sağlık hizmetleri uygulayıcıları, aşılarda hakkında güvenilir bir bilgi kaynağı olarak değerlendirilip ve aşının kabul edilmesini sağlamada önemli bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Aşı okuryazarlığı da dahil olmak üzere iletişim ve aşılama, lisans eğitiminde birincil konular olarak kabul edilmeli ve ihmal edilmemelidir.

## 3. Yöntem

### 3.1. Araştırmanın Amacı

Çalışma da tüm dünyayı etkisi altına alan pandeminin sonlanmasına yönelik dünya genelinde üretilen tedavilerin toplum üzerindeki yansımaları ele alınmıştır. Bu çalışmada Türkiye'de gerek kamu gerekse vakıf üniversitelerinde görev yapan akademik personelin aşı okuryazarlığı seviyesinin tespit edilmesi ve demografik özellikleri ile ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, Covid-19 salgını ve bu salgına karşı en önemli silahımız olan aşı konusundaki yaşama yansıyan tereddüt, aşı reddi ve aşı karşıtlığının incelenmesi; yanlış, yanıltıcı ve bilinçsiz söylenti ve tereddüt algılarının azaltılmasına katkı sağlayacak önerilerde bulunulması amaçlanmaktadır.

### 3.2. Ana Kütle Ve Örneklem

Çalışmanın evrenini Türkiye'deki üniversitelerdeki toplam 180.094 akademisyen oluşturmuştur. Örneklem olarak farklı üniversitelerden toplamda 448 akademisyen ile online anket yapılmıştır. Çalışmada Durmuş, Akbolat ve Amarat [6] tarafından da Türkçe uyarlaması yapılan "Aşı Okuryazarlığı" ölçeği kullanılmıştır.

### 3.3. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Katılımcıların demografik özelliklerine göre dağılımı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Araştırmaya katılan 448 akademisyenin %46,9'u kadın, %53,1'i erkektir. Katılımcıların yaş aralığı 22-72, yaş ortalaması 39,62±9,11 olarak tespit edilmiş olup %17,6'sı 30 yaş ve altı,



%40,8'i 31-40 yaş, %29,2'si 41-50 yaş aralığında, %12,3'ü 51 yaş ve üstü gruptadır. Katılımcıların %6'sı baby boomer (1945-1964) yaş kuşağında, %35,5'i X (1965-1980) kuşağında, %58,5'i Y (1981-1999) kuşağında yer almaktadır. Katılımcıların %72,5'i evli, %27,5'i bekar. Katılımcıların %9,2'si lisans, %27,9'u yüksek lisans, %42,4'ü doktora, %20,5'i doktora üstü düzeyde öğrenim görmüştür. Katılımcıların %15'i gelirini yetersiz bulmakta, %67,4'ü yeterli, %17,6'sı yeterli ve tatmin edici

bulmaktadır. Katılımcıların %90,6'sı devlet üniversitelerinde, %9,4'ü vakıf üniversitelerinde görev yapmaktadır. Katılımcıların %23,4'ü araştırma görevlisi, %33'ü öğretim üyesi, %22,1'i Dr. Öğretim görevlisi, %12,1'i doçent, %9,4'ü profesör kadrosundadır. Katılımcıların %21,9'u daha önce Covid-19 hastalığına yakalanmıştır.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özelliklerine Göre Dağılımı

Demografik Değişken	Gruplar	n	%
Cinsiyet	Kadın	210	46,9
	Erkek	238	53,1
Yaş (39,62±9,11)	30 yaş ve altı	79	17,6
	31-40 yaş	183	40,8
	41-50 yaş	131	29,2
	51 yaş ve üstü	55	12,3
Kuşaklar	Baby boomer (1945-1964)	27	6,0
	X kuşağı (1965-1980)	159	35,5
	Y kuşağı (1981-1999)	262	58,5
Medeni durum	Evli	325	72,5
	Bekar	123	27,5
	Lisans	41	9,2
Öğrenim durumu	Yüksek lisans	125	27,9
	Doktora	190	42,4
	Doktora üstü	92	20,5
	Yetersiz	67	15,0
Gelir durumu	Yeterli	302	67,4
	Yeterli ve tatmin edici	79	17,6
	Devlet üniversitesi	406	90,6
Üniversite türü	Vakıf üniversitesi	42	9,4
	Araştırma görevlisi	105	23,4
Kadro	Öğretim üyesi	148	33,0
	Dr. Öğretim Üyesi	99	22,1
	Doçent	54	12,1
	Profesör	42	9,4
	Evli	98	21,9
Covid-19 hastalığına yakalanma durumu	Hayır	350	78,1

### 3.4. Araştırmanın Hipotezleri

Çalışmada akademik personelin aşı okuryazarlığı seviyesi tespitinde kullanılan anket formunda demografik özellikleri ile aşı okuryazarlıkları arasında ilişkileri ifade etmek için aşağıdaki hipotezler oluşturularak test edilmiştir.

H1. Aşı okuryazarlığı seviyesi eğitim seviyesine göre farklılık gösterir.

H2. Aşı okuryazarlığı seviyesi akademik unvanlara göre farklılık gösterir.

H3. Aşı okuryazarlığı seviyesi cinsiyete göre farklılık gösterir.

H4. Aşı okuryazarlığı seviyesi gelir seviyesine göre farklılık gösterir.

H5. Aşı okuryazarlığı seviyesi devlet veya vakıf üniversitelerine göre farklılık gösterir.

H6. Aşı okuryazarlığı seviyesi medeni duruma göre farklılık gösterir.

H7. Aşı okuryazarlığı seviyesi akademisyenlerin yaşına göre farklılık gösterir.

H8. Covid-19 hastalığına yakalanan akademisyen oranı devlet veya vakıf üniversitesine göre farklılık gösterir.

### 3.5. Veri Toplama Ve Analiz Yöntemleri

Araştırmada veri toplama aracı olarak iki bölümden oluşan anket formu kullanılmıştır. Veri toplama aracının birinci bölümünde katılımcıların cinsiyet, yaş, medeni durum, öğrenim durumu, gelir durumu, görev yaptığı üniversite türü, görev yaptığı kadro ve Covid-19 pozitif olma durumu bilgilerinden oluşan sosyo-demografik bilgi formu yer almaktadır.

Anket formunun ikinci bölümünde bireylerin Covid-19 aşı okuryazarlık düzeyini ölçmek amacıyla Durmuş, Akbolat ve Amarat [6] tarafından Covid-19 Aşı Okuryazarlığı Ölçeği yer almaktadır. Ölçekte dördümlü likert tipinde (1: hiçbir zaman, 4: sık sık) 12 madde yer almaktadır. Fonksiyonel beceriler ve iletişimsel/eleştirel beceriler olmak üzere iki boyuttan oluşan ölçekte elde edilen puanlar (Tablo 2) akademisyenlerin Covid-19 aşı okuryazarlığının yüksek düzeyde olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada ölçeğin Cronbach Alpha katsayısı 0,71; alt

boyutların Cronbach Alpha katsayıları 0,81 ve 0,74 olarak tespit edilmiş olup ölçeğin yeterince güvenilir olduğuna işaret etmektedir.

Verilerin analizinde SPSS (Statistical Package Program for Social Science) 21.0 yazılımından yararlanılmıştır. Verilerin dağılımlarının, aritmetik ortalama, mod, medyan, çarpıklık ve basıklık katsayıları gibi istatistikler üzerinden incelenmesi, betimsel yöntemler olarak belirtilmektedir [16]. Bu kapsamda aritmetik ortalama, mod ve medyanın eşit ya da yakın olması, çarpıklık ve basıklık katsayılarının  $\pm 1$  sınırları içinde 0'a yakın olması, çarpıklık ve basıklık katsayılarının kendi standart hatalarına bölünmesi ile hesaplanan çarpıklık ve basıklık indekslerinin  $\pm 2$  sınırları içinde 0'a yakın olması, standart sapma ile ortalamanın oranını yüzde olarak ifade eden bağıl değişim katsayısının 20 ile 25 aralığında olması normal dağılımın varlığına kanıt olarak değerlendirilmektedir [5].

Ölçek puanlarının normallik sınamasında çarpıklık katsayısı (skewness) ve basıklık (kurtosis) katsayıları kullanılmıştır. Sürekli bir değişkenden elde edilen puanların normal dağılım özelliğinde kullanılan çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) katsayılarının  $\pm 1$  sınırları içinde kalması puanların normal dağılımdan önemli bir sapma göstermediği şeklinde yorumlanabilir. Normal dağılım göstermeyen puanların karekök, logaritmik ve inverse (ters) dönüşümleri yapılarak parametrik testler kullanılabileceği gibi dönüşüm yapılmadan non-parametrik testler de kullanılabilir [3]. Normal dağılım gösteren puanların cinsiyet, medeni durum, üniversite türü, Covid-19 pozitif olma durumu değişkenlerine göre karşılaştırılmasında bağımsız iki örneklem t testinden; yaş grupları, kuşaklar, öğrenim durumu, gelir durumu, kadro türü değişkenlerine göre karşılaştırılmasında ANOVA testinden; normal dağılım göstermeyen puanların cinsiyet, medeni durum, üniversite türü, Covid-19 pozitif olma durumu değişkenlerine göre karşılaştırılmasında Mann Whitney U testinden; yaş grupları, kuşaklar, öğrenim durumu, gelir durumu, kadro türü değişkenlerine göre karşılaştırılmasında Kruskal Wallis H testinden yararlanılmıştır. ANOVA testinde anlamlı farklılık görüldüğünde farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla LSD post hoc testinden, Kruskal Wallis H testinde anlamlı farklılık görüldüğünde farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla Mann Whitney U testinden yararlanılmıştır. Analizlerde güven düzeyi %95 ( $p < 0,05$ ) olarak alınmıştır [9, 10].

#### 4. Bulgular

Tablo 2'de ölçek ve alt boyut puanlarına ait istatistiklere yer verilmiştir.

Tablo 2. Ölçek ve alt boyut puanlarına ait betimsel istatistikler

Ölçek ve Alt Boyut	n	$\bar{X}$	SS	Çarpıklık	Basıklık
Fonksiyonel Beceriler	448	2,35	0,69	-0,02	-0,55
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	448	3,25	0,50	-1,20	2,47
<b>COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI</b>	448	2,80	0,42	-0,39	0,71

Tablo 2'ye göre COVID-19 aşısına yönelik fonksiyonel beceriler puanı  $2,35 \pm 0,69$ ; iletişimsel/eleştirel beceriler puanı  $3,25 \pm 0,50$  ve Covid-19 aşı okuryazarlığı puanı  $2,80 \pm 0,42$  olarak tespit edilmiş olup ölçekten alınabilecek en düşük (1) ve en yüksek (4) puanlar dikkate alındığında araştırmaya katılan

akademisyenlerin Covid-19 aşısına yönelik fonksiyonel becerilerinin düşük düzeyde; iletişimsel/eleştirel becerilerinin "yüksek düzeyde" ve aşı okuryazarlığının "orta düzeyde" olduğu söylenebilir (En yüksek puan 4 – en düşük puan 1, fark 3; puan düzeyleri 1-1,75=hiçbir zaman, 1,76-2,50: nadiren; 2,51-3,25: bazen; 3,26-4,00: sık sık).

Tablo 3'te Covid-19 aşı okuryazarlığı puanlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasına ait bağımsız iki örneklem testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3. Aşı okuryazarlığı puanlarının cinsiyete göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Cinsiyet	n	$\bar{X}$	SS	t/Z	p
Fonksiyonel Beceriler	Kadın	210	2,32	0,73	-0,75	0,451
	Erkek	238	2,37	0,66		
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	Kadın	210	3,31	0,44	-1,63 <sup>a</sup>	0,103
	Erkek	238	3,21	0,54		
<b>COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI</b>	Kadın	210	2,81	0,41	0,61	0,544
	Erkek	238	2,79	0,43		

a: Mann Whitney U test puanı

Tablo 3'e göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının cinsiyete göre anlamlı farklılık göstermediği ( $p > 0,05$ ) tespit edilmiştir.

Tablo 4'te araştırma değişkenlerine ait puanların yaş gruplarına göre karşılaştırılmasına ait ANOVA testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 4. Aşı okuryazarlığı puanlarının yaş gruplarına göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Yaş	N	$\bar{X}$	SS	F/X <sup>2</sup>	p	Anlamlı Fark
Fonksiyonel Beceriler	A-30 yaş ve altı	79	2,35	0,63	1,81	0,145	_____
	B-31-40 yaş	183	2,37	0,68			
	C-41-50 yaş	131	2,40	0,69			
	D-51 yaş ve üstü	55	2,15	0,82			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	A-30 yaş ve altı	79	3,29	0,52	4,13 <sup>a</sup>	0,247	_____
	B-31-40 yaş	183	3,29	0,44			
	C-41-50 yaş	131	3,17	0,54			
	D-51 yaş ve üstü	55	3,27	0,54			
<b>COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI</b>	A-30 yaş ve altı	79	2,82	0,39	1,32	0,266	_____
	B-31-40 yaş	183	2,83	0,42			
	C-41-50 yaş	131	2,78	0,42			
	D-51 yaş ve üstü	55	2,71	0,47			

a: Kruskal Wallis H testi ki-kare test puanı

Tablo 4'e göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının yaş gruplarına göre anlamlı farklılık göstermediği ( $p > 0,05$ ) tespit edilmiştir. Tablo 5'te araştırma değişkenlerine ait puanların kuşaklara göre karşılaştırılmasına ait ANOVA testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 5. Aşı okuryazarlığı puanlarının kuşaklara göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Kuşaklar	N	$\bar{X}$	SS	F	p	Anlamlı Fark
Fonksiyonel Beceriler	A-Baby boomer (1945-1964)	27	2,04	0,78	2,93	0,055	_____
	B- X kuşağı (1965-1980)	159	2,37	0,72			
	C- Y kuşağı (1981-1999)	262	2,37	0,67			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	A-Baby boomer (1945-1964)	27	3,24	0,57	2,17 <sup>a</sup>	0,337	_____
	B- X kuşağı (1965-1980)	159	3,19	0,54			
	C- Y kuşağı (1981-1999)	262	3,29	0,46			
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	A-Baby boomer (1945-1964)	27	2,64	0,47	2,76	0,065	_____
	B- X kuşağı (1965-1980)	159	2,78	0,42			
	C- Y kuşağı (1981-1999)	262	2,83	0,41			

a: Kruskal Wallis H testi ki-kare test puanı

Tablo 5'e göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının kuşaklara göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 6'da Covid-19 aşı okuryazarlığı puanlarının medeni duruma göre karşılaştırmasına ait bağımsız iki örneklem testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 6. Aşı okuryazarlığı puanlarının medeni duruma göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Medeni Durum	n	$\bar{X}$	SS	t/Z	p
Fonksiyonel Beceriler	Evli	325	2,35	0,71	0,06	0,954
	Bekar	123	2,35	0,66		
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	Evli	325	3,24	0,51	-0,55 <sup>a</sup>	0,581
	Bekar	123	3,28	0,48		
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	Evli	325	2,80	0,42	-0,37	0,714
	Bekar	123	2,81	0,42		

a: Mann Whitney U test puanı

Tablo 6'ya göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının medeni duruma göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 7. Aşı okuryazarlığı puanlarının öğrenim durumuna göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Öğrenim Durumu	N	$\bar{X}$	SS	F/X <sup>2</sup>	p	Anlamlı Fark
Fonksiyonel Beceriler	A-Lisans	41	2,47	0,74	0,48	0,697	_____
	B-Yüksek lisans	125	2,34	0,63			
	C-Doktora	190	2,34	0,71			
	D-Doktora üstü	92	2,32	0,73			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	A-Lisans	41	3,08	0,65	4,94 <sup>a</sup>	0,176	_____
	B-Yüksek lisans	125	3,26	0,47			
	C-Doktora	190	3,29	0,42			
	D-Doktora üstü	92	3,25	0,59			
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	A-Lisans	41	2,77	0,52	0,20	0,897	_____
	B-Yüksek lisans	125	2,80	0,41			
	C-Doktora	190	2,82	0,40			
	D-Doktora üstü	92	2,78	0,43			

a: Kruskal Wallis H testi ki-kare test puanı

Tablo 7'de araştırma değişkenlerine ait puanların öğrenim durumuna göre karşılaştırmasına ait ANOVA testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 7'ye göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının öğrenim durumuna göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 8'de araştırma değişkenlerine ait puanların gelir durumuna göre karşılaştırmasına ait ANOVA testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 8. Aşı okuryazarlığı puanlarının gelir durumuna göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Gelir Durumu	n	$\bar{X}$	SS	F	p	Anlamlı Fark
Fonksiyonel Beceriler	A-Yetersiz	67	2,40	0,82	0,28	0,756	_____
	B-Yeterli	302	2,34	0,68			
	C-Yeterli ve tatmin edici	79	2,32	0,63			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	A-Yetersiz	67	3,21	0,60	5,19 <sup>a</sup>	0,075	_____
	B-Yeterli	302	3,29	0,47			
	C-Yeterli ve tatmin edici	79	3,15	0,53			
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	A-Yetersiz	67	2,81	0,49	1,27	0,281	_____
	B-Yeterli	302	2,82	0,39			
	C-Yeterli ve tatmin edici	79	2,73	0,44			

a: Kruskal Wallis H testi ki-kare test puanı

Tablo 8'e göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının gelir durumuna göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 9'da Covid-19 aşı okuryazarlığı puanlarının görev yapılan üniversite türüne göre karşılaştırmasına ait bağımsız iki örneklem testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 9. Aşı okuryazarlığı puanlarının üniversite türüne göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Üniversite	n	$\bar{X}$	SS	t/Z	p
Fonksiyonel Beceriler	Devlet	406	2,37	0,70	1,79	0,074
	Vakıf	42	2,17	0,66		
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	Devlet	406	3,24	0,51	-1,21 <sup>a</sup>	0,227
	Vakıf	42	3,36	0,39		
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	Devlet	406	2,81	0,43	0,58	0,559
	Vakıf	42	2,77	0,34		

a: Mann Whitney U test puanı

Tablo 9'a göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının görev yapılan üniversite türüne göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 10'da araştırma değişkenlerine ait puanların akademik kadroya göre karşılaştırmasına ait ANOVA testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 10'a göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının akademik kadroya göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Tablo 11'de Covid-19 aşı okuryazarlığı puanlarının Covid-19 hastalığına yakalanma durumuna göre karşılaştırmasına ait bağımsız iki örneklem testi sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 10. Aşı okuryazarlığı puanlarının akademik kadroya göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Akademik Kadro	n	$\bar{X}$	SS	F/X <sup>2</sup>	p	Anlamlı Fark
Fonksiyonel Beceriler	A-Araştırma görevlisi	105	2,39	0,68	1,03	0,392	—
	B-Öğretim üyesi	148	2,41	0,63			
	C-Dr öğretim görevlisi	99	2,32	0,79			
	D-Doçent	54	2,23	0,73			
	E- Profesör	42	2,24	0,63			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	A-Araştırma görevlisi	105	3,23	0,51	2,74 <sup>a</sup>	0,603	—
	B-Öğretim üyesi	148	3,27	0,47			
	C-Dr öğretim görevlisi	99	3,21	0,52			
	D-Doçent	54	3,26	0,55			
	E- Profesör	42	3,36	0,44			
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	A-Araştırma görevlisi	105	2,81	0,42	0,68	0,608	—
	B-Öğretim üyesi	148	2,84	0,41			
	C-Dr öğretim görevlisi	99	2,77	0,45			
	D-Doçent	54	2,74	0,42			
	E- Profesör	42	2,80	0,37			

a: Kruskal Wallis H testi ki-kare test puanı

Tablo 11. Aşı okuryazarlığı puanlarının Covid-19 hastalığına yakalanma durumuna göre karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyut	Covid-19 pozitif durumu		n	$\bar{X}$	SS	t/Z	p
	Evet	Hayır					
Fonksiyonel Beceriler	Evet	98	2,43	0,69	1,28	0,202	—
	Hayır	350	2,33	0,69			
İletişimsel/Eleştirel Beceriler	Evet	98	3,21	0,52	-0,80 <sup>a</sup>	0,423	—
	Hayır	350	3,27	0,49			
COVID-19 AŞI OKURYAZARLIĞI	Evet	98	2,82	0,46	0,47	0,641	—
	Hayır	350	2,80	0,41			

a: Mann Whitney U test puanı

Tablo 11'e göre COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının Covid-19 hastalığına yakalanma durumuna göre anlamlı farklılık göstermediği (p>0,05) tespit edilmiştir.

Sonuçların tüm gruplarda benzer çıkması esasen araştırma evrenindeki kişilerin özelliklerinin birbirine fazla benzer olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle eğitim düzeyi açısından araştırmaya katılanların tümünün en az lisans mezunu yani yüksek düzeyde eğitilmiş kişiler olduğunu dikkate alınırsa böyle bir grupta benzer düşünce ve davranış tarzının olmasının normal olduğu söylenebilir. Daha heterojen gruplar için böyle bir çalışma yapıldığında demografik özelliklere göre farklılıkların ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

## 5. Tartışma

Araştırmaya katılan 448 akademisyenin %46,9'u kadın, %53,1'i erkek; %6'sı baby boomer yaş kuşağında, %35,5'i X kuşağında, %58,5'i Y kuşağında yer aldığı ve %21,9'unun daha önce Covid-19 hastalığına yakalanmış olduğu belirlenmiştir.

Çalışmaya göre Türkiye'de kamu ve özel üniversitelerde çalışan akademisyenlerin COVID-19 aşısına yönelik fonksiyonel beceriler puanı düşük (2,35); iletişimsel/eleştirel beceriler puanı yüksek (3,25) ve Covid-19 aşı okuryazarlığı puanı yüksek (2,809) olarak bulunmuştur.

e-ISSN: 2148-2683

Ayrıca, COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeği toplam ve alt boyut puanlarının akademisyenlerin cinsiyetine, yaş gruplarına, medeni durumlarına, öğrenim durumlarına, gelir durumlarına, üniversite türüne (kamu veya vakıf), akademik kadrolarına, Covid-19 hastalığına yakalanma-yakalanmama durumlarına göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Yaşamakta olduğumuz COVID-19 Pandemi sürecinde olduğu gibi, gerek yurt içinde gerekse yurt dışında, aşılara ve uygulanmalarına karşı insanların önemli bir kısmında güven ve kabullenme bunalımı görülmektedir. Aşılarla karşı yanlış ve eksik bilgilendirilme ile oluşturulan yanlış inanışlar ve aşılardan etkilerine ilişkin endişeler sonucunda tereddüt, aşı karşıtlığı sonucunda aşı reddi yaygınlaşmaktadır.

Aşı reddinin belirleyici faktörleri üzerine yapılan bir çalışmada, üniversite eğitimi dahil, eğitim düzeyinin artması ve kadın olmanın aşı reddini artırıcı etkisi olduğu belirlenmiştir [28]. Aksine, bizim çalışmamızda eğitim düzeyi ve cinsiyetin aşı okuryazarlığına etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada da, fonksiyonel beceriler ve iletişimsel/eleştirel beceriler olmak üzere iki boyuttan oluşan ölçekte Covid-19 aşı okuryazarlığının yüksek düzeyde olduğunu tespit edilmiştir [44]. Bu çalışmada ise akademisyenlerin COVID-19 aşısına yönelik fonksiyonel beceriler puanı düşük (2,35); iletişimsel/eleştirel beceriler puanı yüksek (3,25) ve Covid-19 aşı okuryazarlığı puanı yüksek (2,809) olarak bulunmuştur.

Hak ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada çocukların anne ve babalarının eğitim düzeyinin yüksekliğini ve sağlık kurumlarında görevli olmalarını aşı karşıtlığı veya aşı reddi gibi aşılara uyma konusunda olumsuz kriterler olarak bildirmiştir [11]. Ancak çalışmamızda cinsiyetin (kadın veya erkek) aşı okuryazarlığı konusunda etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Sağlık okuryazarlığı ve anne ve babaların rotavirüs aşısı tercihleri konusunda Veldwijk ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda rota virüs aşısının Ulusal aşı programı olarak uygulanmaya geçildiğinde tüm katılımcıların olumlu davrandıkları; aşı herhangi bir ücret talep edilmeden yapıldığında ise eğitim düzeyi ve sağlık okuryazarlığı düşük ebeveynlerin aşılamaı kabul ettiklerini ortaya çıkarmışlar [42]. Fakat, çalışmamızda eğitim düzeyinin ve gelir düzeyinin aşı okuryazarlığına etkisi olmadığı belirlenmiştir. White ve arkadaşlarının çalışmalarında çalışmamızla uyumlu olarak eğitim seviyesi ile bilginin eleştirel yorumlanması aşırı bilgi yüklemesi nedeni bireylerde değerlendirme hatalarına neden olacağını ifade etmişler [40].

Covid-19 aşı hazırlama sürecinde yapılan araştırma ve uygulamalar sonrası üçüncü aşamada faz bir ve faz iki test aşamalarını tamamlayan aşılarda faz üç aşamasında denekler iki farklı gruba ayrılarak bir gruba etkisiz bir aşı, ikinci gruba ise üretilen normal aşı uygulanarak ve belirli bir süre geçtikten sonra güvenli olduğu tespit edilen aşılarda onay almıştır. Covid-19 Pandemi sürecinin dünya insanını etkileyen özel ve hayati öneme sahip bir durum olması nedeniyle "acil kullanım izni prosedürleri" devreye sokularak aşı kullanıma sunulmuştur. Bu nedenle Covid-19 aşılarda güvenlidir denilebilir.

Türkiye'de COVID-19 aşılarda hazırlanmasında 19/01/2005 tarihli ve 25705 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Beşeri Tıbbi Ürünler Ruhsatlandırma Yönetmeliği ve Avrupa Birliği'nin 2001/83/EC sayılı beşeri tıbbi ürünler hakkındaki direktifine göre hazırlanmış olan "Acil Kullanım Onayı Başvurusu Ve Değerlendirmesi Hakkında Kılavuz" kullanılmaktadır [36].

Sağlık Bakanlığı bünyesinde kurulan Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) denetiminde faaliyet gösteren ulusal referans laboratuvarı İlaç Biyolojik ve Tıbbi Ürünler Laboratuvarında aşılama analiz edilmekte ve Aşı Takip Sistemi (ATS) ile sürekli izlenmektedir [37].

## 5. Sonuç Ve Öneriler

Koruyucu hekimliğin en başarılı önlemlerinden biri olan aşı, bireyin sağlık hakkının temel bir bileşeni olup tüm dünyada aşı ile önlenilebilir hastalıklar rutin aşı programları ile büyük ölçüde azaltılmıştır. Bağışıklama yoluyla çiçek yok edilmiş, Polio eradikasyonu hedeflenmiş, kızamık ölüm oranı %73 azaltılmıştır. Aşılama programlarının başarısı olarak sadece sağlıkla ilgili kazanımlar değil ekonomik ve sosyal avantajları da dikkate alınmalıdır. Toplumun kritik bir oranının (%80-95) aşılanması ile toplumsal bağışıklık sağlanması durumunda salgın çıkması ihtimali azaldığından toplumun tüm üyeleri de korunmaktadır.

Aşılama konusunda ulaşılan düzeyin yeterli olmamasında çeşitli faktörlerin arasında günümüzde giderek artan aşı karşıtı tutumlar ve aşı reddi de etkili olmaktadır. Günümüzde aşılanma ile hastalıkların azalmış olması ve mortalite düzeyinin düşmesi sonucunda hastalık riski yeterince algılanmamakta, hastalık korkusunun yerini aşı korkusu almaktadır [45].

Toplum bağışıklığı, aşılama çalışmalarının omurgasını oluşturmaktadır. Toplum bağışıklığı, epidemiyolojik ve teknik boyutunun haricinde aynı zamanda bir toplumsal dayanışmadır. Toplumda ümmün sistemi yetersiz olan, kanser tedavisi alan, organ nakli hastaları, hamileler, aşırı yaşlı insanlar, çok küçük bebekler ve çoklu organ rahatsızlığı olan, aşı olma konusunda kırılabilir ve risk taşıyan, grupları koruyabilmek için gerekli toplum bağışıklığı eşikleri %80-95 arasında değişmektedir. Burada, aşı olabilenlerin aşı olmaları ile toplumun aşı olamayan en kırılabilir kesimlerinin de korunması sağlandığı için felsefi bir değer taşımaktadır.

Bağışıklama uygulamalarında aşı karşıtlığı toplum bağışıklığının sağlanamamasına neden olacak, aşı ile önlenilecek hastalık salgınları ivme kazanacak, toplumun en kırılabilir kesimleri başta olarak tüm toplum zarar görecektir. Ayrıca, genel bağışıklama programları dışındaki piyasadan edinilerek uygulanan aşılama ile toplum bağışıklığı sağlanmadığından kırılabilir kesimlerdeki riski artırdığı konusunda farkındalığının sağlanması da önem arz etmektedir. Bu nedenlerle aşı karşıtlığı, aşı reddi ve aşı konusunda tereddüt ciddiyetle ele alınması gerekmektedir.

Aşı karşıtlarına karşı en iyi cevap ABD Hasatlık Kontrol ve Korunma Merkezi'nin (CDCP-US Center for Disease Control and Prevention) "Aşılama sonrası hastalık ve ölüm oranlarının önemli ölçüde düştüğü, aşılama oranı düştüğünde vaka ve ölümlerin nasıl arttığı verilerle ortaya konmuştur. Ayrıca yapılan tüm bilimsel çalışmalarla aşı güvenliği ile ilgili ortaya atılan (aşı içerisindeki thiomersol ve alüminyum gibi maddeler, Guillan Bare Sendromuyla ilgili iddialar vb.) konular incelenerek geçersizlikleri ortaya konmuştur.

Toplumsal bağışıklık oranı azaldığında salgınların çıkacağı ve bundan tüm toplumun hatta toplumların etkileneceği dikkate alındığında aşı olup olmama kararı sadece o kişiyi değil tüm toplumu ilgilendirdiğinden aşı karşıtlığı bir Halk Sağlığı sorunu olarak değerlendirilmelidir.

Bireysel özgürlük ve toplumsal yararın birlikte korunabileceği gerçeğinden hareketle, bireylerin bilimsel olmayan yargıları toplum bağışıklaması konusunda arka planda kalmalıdır. Aşılama hizmetleri kamusal bir sorumluluk olduğundan kamuoyunun bilimsel verilerle aşıyla korunabilen hastalıklar konusunda bilinçlendirilmesi ve kişilerin bağışıklama ile korunması konusunda yasal düzenlemelerin yapılması gereklidir. Sağlık politikası yapımcıları ve önemli bir kısmını hekimlerin oluşturduğu sağlık çalışanları halkın eğitilmesinde ve aşı tereddütü konusunda halk sağlığı risklerini azaltan politikaların uygulanmasında direnç göstermemelidir.

Sosyal medyayı da içine alan medya platformlarında geniş yer alan aşılama ile ilgili bilgi kirliliği aşıyla ilgili bilimsel gerçeklerle çürütecek eğitsel araçlar geliştirilmeli ve toplum bilinçlendirilmelidir. "Aşı okuryazarlığına" eğitim müfredatında, anaokulu-üniversite eğitim öğretim sürecinde, kademeli olarak yer verilmeli ve risk altındaki kişilerin bağışıklama ile korunması konusunda yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

Ayrıca, halk sağlığı kurumları, sosyal medyada en sık paylaşılan Covid-19 aşısı konusunda yanlış bilgileri izlemeli ve takip etmeli, aşının Covid-19 ile ilgili morbidite ve mortaliteyi azaltmadaki rolü ve bir aşının bilinen yan etkileri konusunda şeffaf olunmalı ve sosyal medyada yayınlanmalıdır.

Aşılama sonucu çok azalan bazı hastalıkların toplumda unutulmuş olması, aşılama ile ilgili yanlış ve çarpıtılmış bilgilere kolay ulaşılabilir olması, çeşitli alternatif tıp uygulayıcılarının ve medyatik kişilerin amaçlı ve yanıltıcı yaklaşımları insanların sağlıklı karar vermesini etkilemektedir. Bu nedenle, toplumsal bağışıklığın sağlanmasında aşı uygulamasını yürüten hekimler, aşı karşıtlarına karşı tutarlı bir kamusal sorumlulukla yasal yoldan mücadele etmeli, bilimsel dayanağı olmayan, gerçek dışı bilgilerin yaygınlaşmasının önlenmesi de çok önemli ve gereklidir.

Duygusal reddedilmelere doymuş veya aşırı bilgi yüklü kişiler, belgelenmiş verilerle kendi kendini yenilgiye uğratabileceğinden aşı ile ilgili iletişim, insanların aşı okuryazarlığına göre düzenlenmelidir. Ancak, sadece ebeveynleri ve yetişkin nüfusu değil, aynı zamanda ilköğretim ve ortaokullardan başlayarak özellikle her düzeydeki öğrencileri hedef alan, iyileştirilmiş sağlık eğitimi ile aşılama istenilen düzeye çıkarılabilir [2].

Aşı karşıtı söylentilerle ve senaryolarla mücadele etmede çok değişik güncel iletişim araçları, dini ve topluluk liderleri ile birlikte tasarlanmalıdır. Geleneksel ve dini topluluk liderleri, genel duyuruları ve dini hizmetler sonrası aşı istasyonları ve programları gibi bilgileri paylaşarak bağışıklama faaliyetlerini teşvik edebilirler.

Yaşanan Covid-19 pandemisi tüm dünyaya büyük bir maddi ve manevi yük getirmiştir. Bu pandemide aşı üretilmesi küresel olarak beklenen bir olaydır ve belki de bu pandemiden tek kurtuluş yolu olarak da görülebilir. Bu dünya üzerinde yaşananlar da dikkate alınarak gerekli stratejilerin ülkeler temelinde geliştirilmesi ve takiben küresel bir stratejik yaklaşımın benimsenmesi gereklidir. Aşılamanın önemi sadece Covid-19 gibi pandemilerde değil, tüm zamanlarda ilgili düzenleyici kuruluşlar tarafından farklı platformlarda sıklıkla vurgulanmalı ve ülkelerin bilgi ve bilime yatırım yapması sağlanmalıdır.

**ETİK İZİN:** Çalışmanın etik izni Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Etik Kurulu'nun 02.08.2021 tarihli ve E.18167 sayılı kararıyla alınmıştır.

## Kaynakça

- [1] Biasio, L. R. (2017). Vaccine hesitancy and health literacy. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 13(3), 701-702.
- [2] Biasio, L. R., Carducci, A., Fara, G. M., Giammanco G. & Lopalco, P. L.(2018). Health literacy, emotionality, scientific evidence: elements of an effective communication in public health. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 14(6), 1515-1516.
- [3] Büyüköztürk, Ş. (2011). *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı*, 14. Baskı, Ankara, Türkiye: PEGEM Akademi.
- [4] Castro-Sánchez, E., Chang, P. W., Vila-Candel, R., Escobedo A. A. & Holmes, A. H. (2016). Health literacy and infectious diseases: why does it matter?. *International Journal of Infectious Diseases*, 43, 103-110.
- [5] Demir, E., Saatçioğlu Ö. & İmrol, F. (2016). Uluslararası dergilerde yayımlanan eğitim araştırmalarının normallik varsayımları açısından incelenmesi. *Current Research in Education*, 2(3),130-148.
- [6] Durmuş, A., Akbolat, M. & Amarat, M. (2021). COVID-19 aşı okuryazarlığı ölçeğinin Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği. *Cukurova Medical Journal*, 46(2), 732-741.
- [7] Geelen, E., Vliet, H. van, Hoogh, P. de & Horstman, K. (2016). Taming the fear of voice: Dilemmas in maintaining a high vaccination rate in the Netherlands. *Social Science & Medicine*, 153, 12-19.
- [8] Hobson-West, P. (2003). Understanding vaccination resistance: moving beyond risk. *Health, Risk & Society*, 5(3), 273-283.
- [9] Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis*, 7th ed., New Jersey, USA: Prentice Hall.
- [10] Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. & Tatham, R.L. (2013). *Multivariate Data Analysis*, Boston, Pearson Education.
- [11] Hak, E., Schönbeck, Y., Melker, H. De, Van Essen, G. A. & Sanders, E. A. (2005). Negative attitude of highly educated parents and health care workers towards future vaccinations in the Dutch childhood vaccination program. *Vaccine*, 23(24), 3103-3107.
- [12] Jarrett, C., Wilson, R., O'Leary, M., Eckersberger, E. & Larson, H. J. (2015). Strategies for addressing vaccine hesitancy—A systematic review. *Vaccine*, 33(34), 4180-4190.
- [13] Jamal, U. (2020). Why is Indonesia concerned about a halal COVID-19 vaccine?. *ASEAN Today*, 2020 28 October; Sect. COVID-19.
- [14] Institute of Medicine of National Academy (IOM) (2004). Lynn Nielsen-Bohealth literacyman, Panzer AM, Kindig DA, Editors, Committee on Health Literacy, 97.
- [15] Islam, M. S., Kamal, A. H. M., Kabir, A., Southern, D. L., Khan, S. H., Hasan, S. M.... & Seale, H. (2021). COVID-19 vaccine rumors and conspiracy theories: The need for cognitive inoculation against misinformation to improve vaccine adherence. *PloS one*, 16(5), e0251605.
- [16] Karagöz, Y. (2014). *SPSS 21.1 Uygulamalı Biyoistatistik*, Ankara: Türkiye, Nobel Yayın Dağıtım.
- [17] Van der Linden, S. L., Clarke, C. E. & Maibach, E. W. (2015). Highlighting consensus among medical scientists increases public support for vaccines: evidence from a randomized experiment. *BMC Public Health*, 15(1), 1-5.
- [18] Nutbeam, D. (2000). Health literacy as a public health goal: a challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century. *Health Promotion International*, 15(3), 259-267.
- [19] Nature (2017). On The Wrong Side Of History, *Nature Microbiology*, pp.1-1, doi:10.1038/nmicrobiol.2017.46.
- [20] Penders, B. (2017). Vaccines, science and trust. *Nature Microbiology*, 2(6), 1-1.
- [21] Rowlands, G. (2014). Health literacy: ways to maximise the impact and effectiveness of vaccination information. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 10(7), 2130-2135.
- [22] Funk, C., Rainie, L. & Page. D. (2020). *Public and scientists' views on science and society*. Washington, DC: Pew Research Center [Online]. Available:<http://www.pewinternet.org/2015/01/29/public-and-scientists-views-on-science-and-society>.
- [23] Pelčić, G., Karačić, S., Mikirtichan, G. L., Kubar, O. I., Leavitt, F. J., Cheng- Tek Tai, M., Morishita, N., Vuletić, S. & Tomašević, L. (2016). Religious exception for vaccination or religious excuses for avoiding vaccination. *Croatian Medical Journal*, 57(5), 516–521.
- [24] Plotkin, S., Gerber, J. S., & Offit, P. A. (2009). Vaccines and autism: a tale of shifting hypotheses. *Clinical Infectious Diseases*, 48(4), 456-461.
- [25] Rochmyaningsih, D. (2018). Indonesian fatwa causes immunization rates to drop. *Science*, 628–629.
- [26] Ratzan, S. C. (2001). Health literacy: communication for the public good. *Health Promotion International*, 16(2), 207-214.
- [27] Ratzan, S. C. (2011). Vaccine literacy: a new shot for advancing health. *Journal of Health Communication*, 16(3), 227-229.
- [28] Regione Veneto–Progetto. (2020). *Indagine sui Determinanti del Rifiuto dell'Offerta Vaccinale nella Regione Veneto* [Online]. Available: <http://prevenzione.ulss20.verona.it/iweb/1324/argomento.html>.
- [29] Rowlands, G., Khazaezadeh, N., Oteng-Ntim, E., Seed, P. Barr, S. & Weiss, B. D. (2013). Development and validation of a measure of health literacy in the UK: the newest vital sign. *BMC Public Health*, 13(1), 116-125.
- [30] Jenner, R. S. E. (2005). The history of smallpox and vaccination. In *Baylor University Medical Center Proceedings*, 18(1), 21-25.
- [31] Sørensen, K., Pelikan, J. M., Röthlin, F., Ganahl, K., Slonska, Z. Doyle, G.... & Brand, H. (2015). Health literacy in Europe: comparative results of the European health literacy survey (HLS-EU). *European Journal of Public Health*, 25(6),1053-1058.
- [32] Ratzan S. C. & Parker, R. M. (2020). Vaccine literacy-helping everyone decide to accept vaccination. *Journal of Health Communication*, 25(10), 750-752.

- [33] Riedel, S. (2005). Edward Jenner and the history of smallpox and vaccination. In Baylor University Medical Center Proceedings, Taylor & Francis 18(1), 21-25.
- [34] Shanmugaraj, B., Siri wattananon, K., Wangkanont, K. & Phoolcharoen, W. (2020). Perspectives on monoclonal antibody therapy as potential therapeutic intervention for Coronavirus disease-19 (COVID-19). Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology, 38(1), 10-18.
- [35] Smith, M. J. & Woods, C. R. (2010). On-time vaccine receipt in the first year does not adversely affect neuropsychological outcomes. Pediatrics, 125(6), 1134-1141
- [36] T.C. Resmi Gazete, Beşeri Tıbbi Ürünler Ruhsatlandırma Yönetmeliği. Tarih:19/01/2005. Sayı: 25705, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- [37] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Aşı Portalı, 2021.
- [38] Türkiye Halk Sağlığı ve Kronik Hastalıklar Enstitüsü, Covid-19 Aşı Geliştirme Çalışmaları Raporu, 16 Ekim 2020.
- [39] University of California. (2020). San Francisco Medical Center Patient Education, Evaluating Health Information [Online]. Available: [https://www.ucsfhealth.org/education/evaluating\\_health\\_information/](https://www.ucsfhealth.org/education/evaluating_health_information/).
- [40] White, S., Chen, J. & Atchison, R. (2008). Relationship of preventive health practices and health literacy: A national study. Am J Health Behav, 32(3), 227-242.
- [41] World Health Organization Press Conference 2020. (2020, 3 May). The World Health Organization (WHO) Has Officially Named the Disease Caused by the Novel Coronavirus as COVID19 [Online]. Available: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200312-sitrep-52-covid-19.pdf?sfvrsn=e2bfc9c0>.
- [42] Veldwijk, J., Heide, I. van der, Rademakers, J., Schuit, A. J., Wit, G. A. de, Uiters, E. & Lambooy, M. S. (2015). Preferences for vaccination: does health literacy make a difference?. Medical Decision Making, 35(8), 948-958.
- [43] Zhou, Y., Yang, Y., Huang, J., Jiang, S. & Du, L.(2019). Advances in MERS-CoV vaccines and therapeutics based on the receptor-binding domain. Viruses, 11(60), 1-18.
- [44] Epicentro. (2020, 10 May). Progetto HproImmune [Online]. Available: [http://www.epi\\_centro.iss.it/temi/vaccinazioni/HProimmune\\_2014.asp](http://www.epi_centro.iss.it/temi/vaccinazioni/HProimmune_2014.asp).
- [45] Çöl. M. (2020, 3 Mayıs). Aşılamanın önemi ve aşı karşıtlığı [Çevrimiçi]. Erişim: <http://hastane.ankara.edu.tr/2020/03/05/asilamanin-onemi-ve-asi-karsitligi/>.
- [46] MacDonald, N. E. (2015). Vaccine hesitancy: Definition, scope and determinants. Vaccine, 33(34), 4161-4164.
- [47] Enfeksiyon Hastalıkları ve Mikrobiyoloji. (2021, 3 Aralık). Covid-19 aşılı ve yan etkileri [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.medicalpark.com.tr/covid-19/hg-2536>.
- [48] Erkekoğlu, P., Köse, S. B. E., Balcı, A., & Yirün, A. (2020). Aşı kararsızlığı ve COVID-19'un etkileri. Literatür Eczacılık Bilimleri Dergisi, 9(2), 208-220.



# Siklon Ayırıcılarda Dalma Boru Çapının Siklon Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Ayşegül Balıkcı<sup>1\*</sup>, Tarkan Koca<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mimsan Endüstri Kazanları A.Ş. Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8136-4484), [aysegulbalikcii@gmail.com](mailto:aysegulbalikcii@gmail.com)

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6881-4153), [tarkan.koca@inonu.edu.tr](mailto:tarkan.koca@inonu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 21 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 28 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1133616)

**ATIF/REFERENCE:** Balıkcı, A. & Koca, T. (2022). Siklon Ayırıcılarda Dalma Boru Çapının Siklon Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 473-478.

## Öz

Siklon ayırıcılar, gaz akımı ile vorteks oluşturarak katının gazdan ayrılma işleminde kullanılır. Siklonlar demir-çelik, çimento, inşaat gibi tesislerde yer almaktadır. Giriş şekillerine göre siklonlar teğetsel, eksenal ve salyangoz şeklinde olup en çok kullanım alanına sahip olanlar teğetsel girişli siklonlardır. Siklonlarda vorteks oluşturulabilmesi için teğetsel bir giriş, eksenal temiz gaz çıkışı ve parçacık boşaltmak için konik bir yapı bulunmaktadır. Siklonların yüksek sıcaklığa, yüksek basınca dayanım gösterebilen basit yapılı olması ekonomik açıdan avantaj olarak görülmektedir. Siklon performansına etki eden parametrelere göre toz toplama verimliliği ve basınç kaybı önemli bir yer almaktadır. Bu parametrelere göre basınç kaybını etkileyen etmenler; siklon giriş kesiti, dalma boru çapı ve iç duvardaki sürtünmedir. Ayrıca gaz içerisinde katı parçacıkların boyutunun 5µm'den küçük olması toz tutma verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada Siklonun dalma boru çapı değiştirilerek toz tutma verimliliği ve basınç kaybı incelenmiştir. Siklonun tasarım modellemesine göre 3 farklı dalma boru çapı seçilmiş olup, dalma boru çapının boyutları; Ø88.9 mm, Ø114,3 ve Ø139.7mm olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre Solidworks Flow Simulation programında üç farklı akış analizi yapılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmaları yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda üç farklı dalma boru çapına göre en iyi toz toplama verimliliği çapı Ø114.3 mm olan dalma boruda elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Siklon, Dalma Boru Çapı, Basınç Kaybı.

## Experimental Investigation of the Effect of Plunge Pipe Diameter on Cyclone Performance in Cyclone Separators

### Abstract

Cyclone separators are used in the process of separating the solid from the gas by forming a vortex with the gas stream. Cyclones are located in facilities such as iron and steel, cement, construction. According to their entry shape, cyclones are tangential, axial and snail shaped, and the ones with the most use are tangential entry cyclones. Cyclones have a tangential inlet to form vortexes, an axial clean gas outlet and a conical structure for particle evacuation. The fact that cyclones have a simple structure that can withstand high temperature and high pressure is seen as an economic advantage. According to the parameters affecting cyclone performance, dust collection efficiency and pressure loss have an important place. Factors affecting pressure loss according to these parameters; cyclone entry cross-section, plunge pipe diameter and friction in the inner wall. In addition, the size of solid particles in the gas is less than 5µm, which adversely affects the dust retention efficiency. In this study, dust retention efficiency and pressure loss were examined by changing the plunge pipe diameter of the cyclone. According to the design modeling of the cyclone, 3 different plunge pipe diameters were selected and the dimensions of the subduction pipe diameter; Ø88.9 mm, Ø114,3 and Ø139.7mm. According to the data obtained, three different flow analyzes were performed in the Solidworks Flow Simulation program. In addition, experimental studies were conducted and the results were compared. As a result of the experimental study, the best dust collection efficiency was obtained in the plunge pipe with diameter Ø114.3 mm according to three different plunge pipe diameters.

**Keywords:** Cyclone, Plunge Pipe Diameter, Pressure Loss.

\* Sorumlu Yazar: [aysegulbalikcii@gmail.com](mailto:aysegulbalikcii@gmail.com)



## 1. Giriş

Siklon ayırıcılar akışkanların içerisinde bulunan toz partiküllerini santrifüj kuvveti etkisiyle ayıran cihazlardır. Kullanım alanları oldukça fazladır. Demir- çelik işletmeleri, çimento işletmeleri, inşaat işletmeleri ve kimyasal tesisler gibi yerlerde siklonlar, fitreleme sistemi olarak kullanılmaktadır. Siklonlar filtreleme işlemini içerisinde uygulanan merkezkaç kuvveti ile toz partiküllerini toz toplama haznesinde biriktirerek sağlamaktadırlar. Siklonlar teğetsel, aksel ve salyangoz girişli olarak sınıflandırılmaktadırlar. Günümüzde endüstri dalında en çok kullanılan yapı teğetsel girişli siklonlardır. Siklonlar; düşük maliyet, bakım masrafının azlığı ve yüksek sıcaklığa dayanımı gibi etkenlerden dolayı oldukça tercih edilmektedirler. Siklonlar üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar gaz girişi, gaz çıkışı ve toz toplama haznesi olarak isimlendirilmektedirler. Üç bölgeden oluşan siklonlar farklı konfigürasyonlar ile üretilmektedirler.

Siklon ayırıcıların çalışma prensibine göre iç akışta iki girdap oluşmaktadır. Ana girdapta fan yolu ile gönderilen hava, toz karışım ile giriş borusundan belli bir hızla siklona girmektedir. Toz karışım silindirik yüzeye helisel bir hareket ile çarparak girdabı oluşturmaktadır. Merkezkaç kuvvetin etkisi ile tozlu hava cidarlara çarparak hızını kaybetmekte ve aşağıya doğru savrulur toz toplama haznesine geçiş yapmaktadır. İkinci girdabın oluşumu ile daha büyük partiküller toz toplama haznesine gönderilerek kalan küçük partiküllerin hava karışımı ile çıkış borusundan siklonu terk etmesi sağlanmaktadır.

Siklon verimini artırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Karagöz ve Avcı (2005) teğetsel girişli siklonlar da basınç düşümü için farklı matematiksel model tasarlamışlardır. Sürtünme kayıplarından kaynaklanan basınç düşüşü için yüzey pürüzlülüğüne bağlı sürtünme katsayısını, reynolds sayısını, giriş ve çıkış parametrelerini göz önünde bulundurarak çalışmalarını yürütmüşlerdir. Literatürdeki 12 farklı siklon modelini kıyaslayarak inceleme yapmışlardır. Fıçıcı (2006) siklon performansını etkileyen dalma boru çapı, verimlilik ve basınç düşümü parametrelerini deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı çalışma ile ısı transferi analizi ve akış parametresine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda 3 farklı siklon dalma boru çaplarının verimlilik ve basınç düşümü kıyaslamasını yapmıştır. Çalışkan (2018) debi ve farklı parametrelerin siklona karşı toz tutma verimini ve basınç kayıplarını incelemiştir. Siklonun performansını etkileyen toplam tutma verimi, siklon sınıflandırması, basınç kayıpları ve fraksiyonel verimleri incelenmiştir. Çelik (2020) siklon gövde çapı, gövde uzunlukları ve çıkış borusu çaplarında değişken parametreler kullanarak teğetsel girişli siklonda performansa etkisi olan toplam verim ve basınç kaybını incelemiştir. Deney dört farklı çıkış boru çapı, siklon gövde çapı olmak üzere beş farklı gövde çapı kullanarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya göre dalma boru çapı arttıkça basınç kaybı azalmaktadır. Sanal gövde çapı arttıkça siklon ayırma veriminde artış olmuştur. Karakaş (2020) stairmand tipi yüksek verimli siklonlarda gövde çapının azaltılması sonucunda ayırma veriminin etkisini incelenmiştir. Mini siklon tiplerinin beş farklı büyüklükteki hali imal edilmiştir. Mini siklonların basınç kayıpları ve ayırma verimleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda siklon gövdesinin azalması ile verim artarken daha küçük çaplarda verimde azalma meydana gelmiştir.

Yapılan bu çalışmada, siklonların dalma boru çapının değişimi ile basınç düşümü ve toz partiküllerin akış

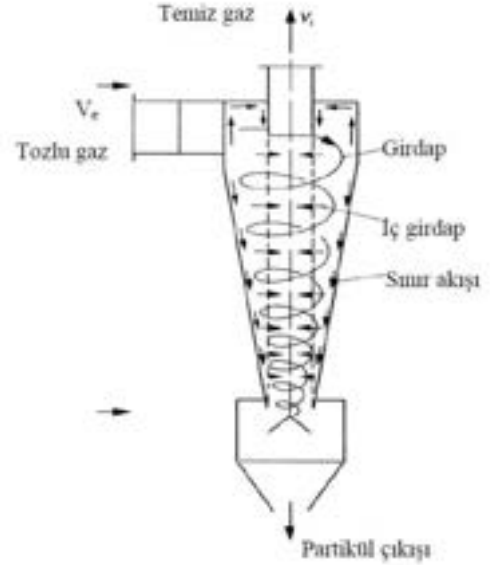
parametrelerine etkisi deneysel ve Solidworks Flow Simulation programında sayısal olarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Siklon Ayırıcılar

#### 2.1.1. Siklon Tasarımı

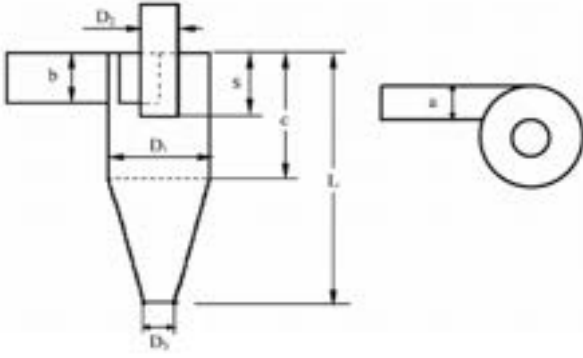
Siklon ayırıcılarda genellikle basınç kaybının artmasına etken olan geometrik veriler verimi etkilemektedir. Farklı geometri parametresi olan siklon büyüklüğünün küçültülmesi verimi artırırken basınç kaybını azaltmaktadır. Siklona giriş yapan partiküllerin hızı ve siklon debisinin artması, verimle basınç kaybının artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada yüksek verimli Stairmand (1951) modeli esas alınarak tasarım yapılmıştır. Kullanılan bu modelde siklona tozlu gaz teğetsel olarak girmektedir. Katı-gaz karışımı hava aksel olarak siklon içerisinde hareket ederken, gövde de girdap oluşmakta ve dalma borusundan temiz gaz çıkışı sağlanmaktadır. Ağırlığı fazla olan toz partiküller iç girdap sonucunda toz haznesinde birikmektedir. Temiz gaz akımı aksel olarak yukarı yönde hareket etmekte olup ve  $5 \mu\text{m}$ 'den küçük boyutta olan partiküller çıkış dalma boru çapından siklonu terk etmektedirler. Santrifüj kuvveti sayesinde  $5 \mu\text{m}$ 'den büyük partiküller Şekil 1'de görüldüğü gibi gazdan ayrılarak partikül çıkışında birikmektedir.



Şekil 1. Siklon Akış Modeli (Figure 1. Cyclone Flow Model)

#### 2.1.1. Siklonlarda Basınç Kaybı Toz Toplama Verimliliği

Siklonun modellenmesi ve analizi yüksek verimli Stairmand parametrelerine göre tasarlanmıştır. Siklon geometri özelliklerine göre  $a \times b$  siklona giriş kesitini,  $D_1$  siklon dış çapını,  $D_2$  siklon dalma boru çapını,  $D_3$  siklon koni ucu çapını,  $S$  dalma boru çapının siklon içerisindeki uzunluğunu,  $c$  siklonun dairesel boy uzunluğunu ve  $L$  siklon toplam boy uzunluğunu belirtmekte olup Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Siklon Tasarım Modellemesi (Figure 2. Cyclone Design Modeling)

Yüksek verimli Stairmand modellemesine göre siklonun parametreleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Yüksek Verimli Stairmand Modeli (Table 1. High Efficiency Stairmand Model)

b/D <sub>1</sub>	a/D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> /D <sub>1</sub>	C/D <sub>1</sub>	L-c/D <sub>1</sub>	S/D <sub>1</sub>	D <sub>d</sub> /D <sub>1</sub>
0.5	0.2	0.5	1.5	2.5	0.5	0.375

Siklonun içindeki akışın diferansiyel eleman boyunca sürtünmeye bağlı basınç düşüşü, akış borusunun dl'si, girişteki girişten l mesafede alınarak bulunur.

$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl$$

Burada f, D<sub>hl</sub> ve V sırasıyla sürtünme katsayısı, hidrolik çap ve akış hızıdır.

Akış genişliğinin yaklaşık değeri şu şekilde hesaplanabilir;

$$a = a_0 \left( 1 + \frac{a_3 - a_0}{a_0} \frac{l}{L_v} \right) = a_0 (1 - a l_n)$$

Burada  $a = \left( \frac{a_0 - a_3}{a_0} \right)$  boyutsuz uzunluk,  $l_n = l/L_v$ , ve  $L_v$  girdap uzunluğudur.

Sürtünme katsayısı reynolds sayısının bir fonksiyonudur. Bağlı yüzey pürüzlülüğünün ivmelenmesi ile koni tepesine doğru hızı artar ve dolayısıyla akış hızı da artar. Bir siklonda belirli bir çalışma koşulları için sabit ( $f_0$ ) olarak alındığında denklem şöyle yazılır;

$$dp = \rho R_0 \frac{a_0 V^2}{a} \frac{dl_n}{2}$$

burada  $R_0 = \frac{f_0 L_v}{D_h}$  sürtünme faktörü olarak adlandırılır. Bu denkleme bağlı olarak basınç kaybı hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V^2}{2} \left( \frac{1 - (1 - a)^{-2(1 - \frac{R_0}{a})}}{2R_0 - 2a} \right)$$

Basınç kaybı katsayısı teğetsel bir giriş siklonunda şu şekilde yazılabilir;

$$K = \frac{2\Delta p}{0.5\rho V_0^2} = \frac{R_0}{a - R_0} \left( (1 - a)^{-2(1 - R_0/a)} - 1 \right)$$

Çalışma koşullarına ve siklon boyutlarına bağlı olan ölçeklendirilmiş sürtünme faktörü  $R_0$  ve diğeri ise akış boyutu olan  $a'$  dir.

$$R_0 = \frac{f_0 L_v}{D_h}$$

İlk parametre, boyutsuz çaptır siklonun konik kısmını dikkate almak gerekiyordu. Bu parametre, silindirin çapının oranı olarak tanımlanır. Yükseklik  $L_0$ 'dır ve yüzey sürtünme yüzeyine eşittir. Siklon, D1'e kadar ve şu şekilde hesaplanabilir.

$$D_d = \frac{c}{L} + 0,5 \left( 1 + \frac{D_3}{D_1} \right) \times \sqrt{0,25 \left( 1 - \frac{D_3}{D_1} \right)^2 \left( \frac{D_1}{L} \right)^2 + \left( 1 - \frac{c}{L} \right)^2}$$

Boyutsuz çap;

$$a_d = \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{1.25}{D_d} \beta^3 \sqrt{\frac{b}{S}} - 1 \right) \right]$$

$$\beta = \frac{2a}{(D_1 - D_2)}$$

Ortalama çıkış çapı;

$$D_{3m} = \sqrt{\frac{L - s}{L}} D_2 D_3$$

Akış boyutu;

$$\alpha = 1 - \frac{0.1 D_{3m}}{a}$$

Girdap uzunluğu;

$$L_v = 2 D_d a_d L$$

olarak hesaplanabilir.

Basit modellerde genellikle sürtünme katsayısı sabit kabul edilmiştir. Mevcut modelde, ortalama sürtünme katsayısı  $f_0$  bir fonksiyon olarak belirlenir ve yüzey pürüzlülüğü ve Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{D_h a_d V_0}{\nu}$$

Hidrolik çapı;

$$D_h = \frac{2ab}{a + b}$$

Sürtünme katsayısı hesabı;

$$f_0 = 0.314 Re^{-0.25}$$

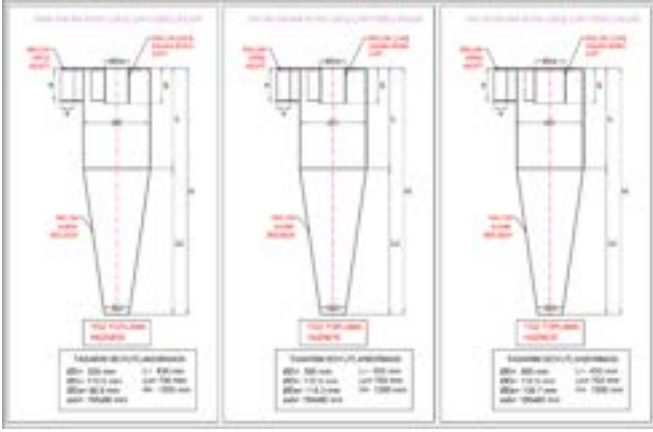
şeklinde hesaplanabilir. Siklon gövdesinin boyut ölçüleri, basınç kaybı hesabına göre yapılmaktadır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Analiz

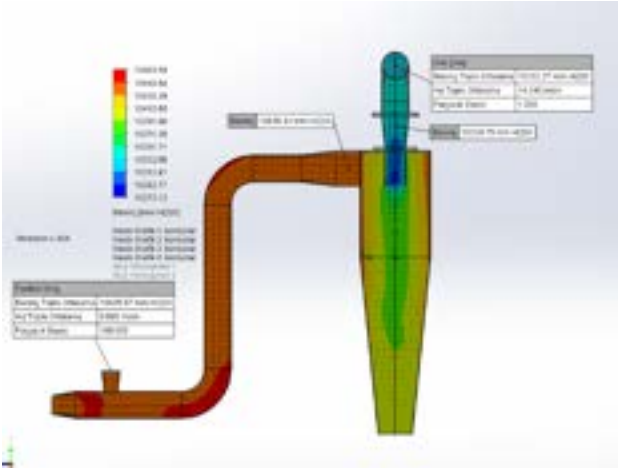
Deney öncesinde yüksek verimli Stairmand modeli siklonun Flow Simulation programında analizi yapılmıştır. Üç farklı konfigürasyona sahip olan modelin 88.9 mm, 114.3 mm ve 139.7 mm dalma boru çaplarında basınç ve toz tutma verimliliği parametreleri incelenmiştir. Siklonun diğer boyutları sabit tutulmuş olup sadece dalma boru çapı değiştirilmiştir. Yapılan deneyde siklon giriş debisi, dalma boru çapı genişliği ve giriş konsantrasyonu parametrelerine bağlı olarak basınç kayıpları ve toz tutma verimliliği incelenmiştir. Tasarlanan üç farklı dalma boru çapının boyutlandırılması Şekil 3'te verilmektedir. Burada

dalma boru çapı Ø88.9 mm, Ø114.3 mm ve Ø139.7 mm olarak alınmıştır.



Şekil 3. Siklon Tasarımı (Figure 3. Cyclone Design)

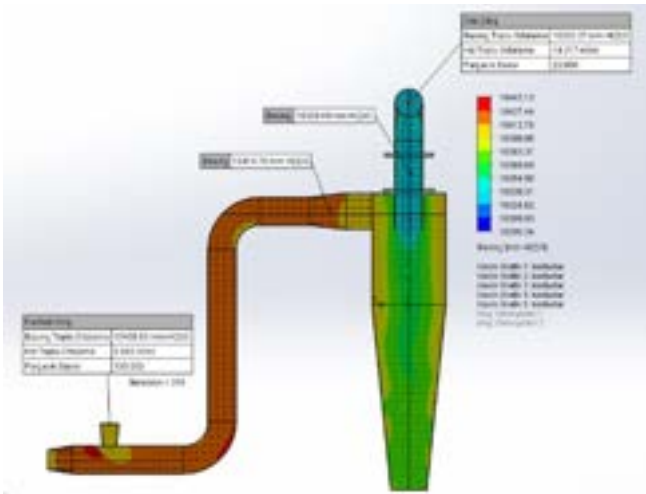
1,2 metre uzunluğunda siklonun çapı 300 mm ve debi 0.125 m<sup>3</sup>/sn, dalma boru uzunluğu 150 mm olup; dalma boru çapı Ø88.9 mm alınarak yapılan analiz Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Dalma Boru Çapı Ø88.9 mm Siklon Basınç Görünümü (Figure 4. Plunging Pipe Diameter Ø88.9 mm Cyclone Pressure View)

Analiz sonucuna göre siklona giriş hızı 10,4167 m/sn ve çıkış hızı 14.202 m/sn'dir. Giriş basıncı 1.02 bar iken çıkış basıncı 1.01 bar'dır.

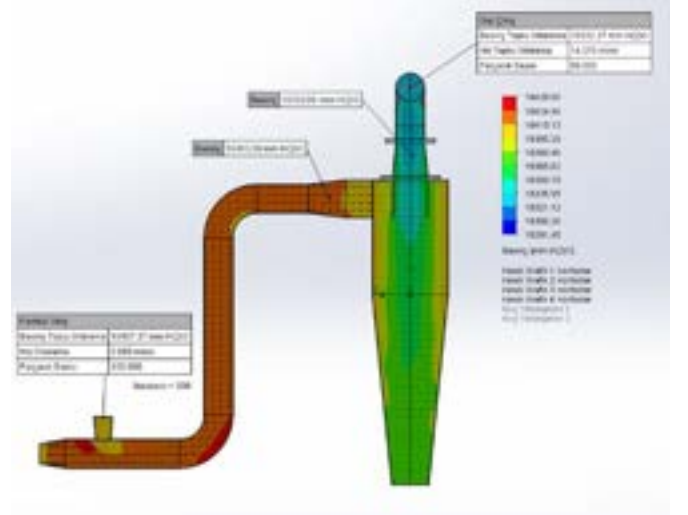
Dalma boru çapı Ø114.3 mm olarak alınan çalışmada ise analiz sonucu Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Dalma Boru Çapı Ø88.9 mm Siklon Basınç Görünümü (Figure 5. Plunging Pipe Diameter Ø114.3 mm Cyclone Pressure View)

Analiz sonucuna göre siklona giriş hızı 10,4167 m/sn ve çıkış hızı 14.175 m/sn'dir. Giriş basıncı 1.02 bar iken çıkış basıncı 1.01 bar'dır.

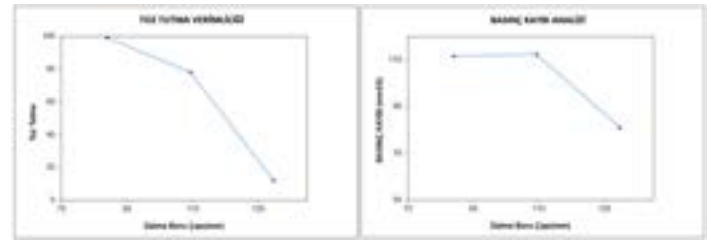
Dalma boru çapı son olarak Ø139.7 mm alınmış ve analizler yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Dalma Boru Çapı Ø139.7 mm Siklon Basınç Görünümü (Figure 6. Plunging Pipe Diameter Ø139.7 mm Cyclone Pressure View)

Analiz sonucuna göre siklona giriş hızı 10,4167 m/sn ve çıkış hızı 14.245 m/sn'dir. Giriş basıncı 1.02 bar iken çıkış basıncı 1.01 bar'dır.

Elde edilen veriler sonucunda Basınç Kaybı Analizi ve Toz Tutma Verimliliği grafiği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Analiz Grafiği (Figure 7. Analysis Graph)

### 3.2. DeneY Düzeneyi

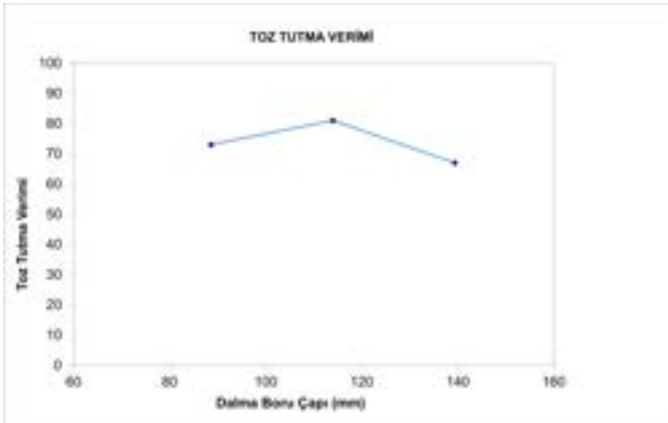
DeneY seti imal edilmiş ve kurulmuştur. Hazırlanan deneY seti Şekil 8. 'de verilmiştir.



Şekil 8. Siklon Deney Seti (Figure 8. Cyclone Test Kit)

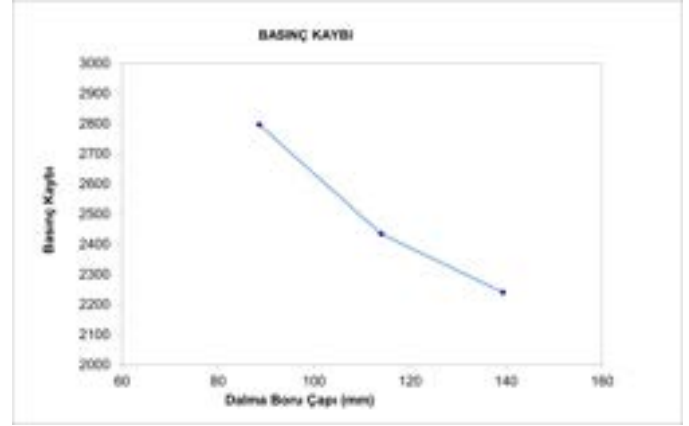
Deney 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada siklonun dalma boru çapı değişimi için flanşlarla sızdırmazlıklar sağlanmıştır. Deney öncesinde toz numune dijital hassas tartı da tartılmaktadır. Dalma boru çapının değişimine bağlı olarak toz tutma verimi ve basınç kaybı parametrelerinin değişimini incelemek için her dalma boru çapında fandan çıkan hava debisi 0.125 m<sup>3</sup>/sn olarak sabit alınmıştır. Fan girişinde 30°C sıcaklık sabitlenerek havanın ısıtılması sağlanmaktadır. İkinci aşama olarak 0,075 m<sup>3</sup> hacmine sahip bunkere numune aktarılır. Bunkerin alt kısmında yaprak helezon borusu bulunmaktadır. 0,37 kW gücünde redüktör 10 d/dk da mili döndürerek numuneyi kanala aktarmaktadır. Kanal da buluşan hava ve numune karşılaşarak siklona gider. Deney esnasında giriş basıncı, çıkış basıncı, çıkış debisi kontrol ünitesine kaydedilmektedir. Üçüncü aşamada konik kısımdan akan büyük partiküller kül toplama haznesine birikmekte olup bu partiküller tartı da ölçülerek toz tutma verimliliği hesaplanmıştır.

Bu deneysel çalışmada dalma boru çapları değiştirilerek, yüksek sıcaklıktaki toz partikül gazların testleri yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 9'da grafik olarak verilmiştir. Dalma boru çapının artışıyla toz toplama verimliliği, her üç dalma borusu çapında da artış göstermiştir. Dalma borusu çapı Ø88.9 mm, Ø114.3 mm ve Ø139.7 mm ye göre arttıkça toplama verimliliğinde farklılıklar gözlenmiştir.



Şekil 9. Toz Toplama Verimliliği (Figure 9. Dust Collection Efficiency)

Deney sonucunda basınç kaybına dair elde edilen veriler Şekil 10'da verilmiştir. Dalma boru çapı 88.9 mm, 114.3 mm ve 139.7 mm' arttıkça basınç kaybında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 10. Basınç Kaybı (Figure 10. Loss Of Pressure)

#### 4. Sonuç

Siklon ayırıcılarda basınç kaybını ve toplama verimliliğini etkileyen önemli etmenlerden biri olan dalma borusunun çapı değiştirilerek önce solid programında analizi sonra deneyi yapılmıştır. Siklonun giriş hızı, toz konsantrasyonu, toz miktarı sabit iken dalma boru çapı değişken parametre olarak modellenmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi Solidworks Flow Simulation programı ile analizi gerçekleştirilen siklon modelinin dalma boru çapı arttıkça basınç kaybı azalmakta ve toz tutma verimliliği kritik çapa kadar artmakta ancak kritik çaptan sonra düşmektedir.

Tablo 3'te görüldüğü gibi deneysel çalışmada dalma boru çapı arttıkça, toz tutma verimliliğinde farklılıklar meydana gelmiştir. Bunun sebebi siklon iç yüzeyinde meydana gelen girdapda partikülün boyutuna göre kayıpların oluşmasıdır. Ayrıca dalma boru çapı arttıkça basınç kaybında azalma meydana gelmektedir. Yapılan çalışmaya benzer olarak Çelik (2020), yapmış olduğu çalışmada dört farklı çıkış boru çapı kullanarak, dalma boru çapı arttıkça basınç kaybının azaldığını ifade etmiştir.

Tablo 2. SolidWorks Flow Simulation Akış Analiz Sonuçları (Table 2. SolidWorks Flow Simulation Flow Analysis Results)

PARAMETRELER		DALMA BORU ÇAPI (mm)		
		Ø88,9	Ø114,3	Ø139,7
BASINÇ	Giriş Basıncı (mmSS)	10436.42	10441.78	10413.09
	Çıkış Basıncı (mmSS)	10324.75	10329.54	10332.09
HIZ	Giriş Hızı (m/sn)	10,4167	10,4167	10,4167
	Giriş Hızı (m/sn)	14,24	14,217	14,27
TOZ TOPLAMA VERİMLİLİĞİ		99%	78%	12%

Tablo 3. Deneysel Çalışma Sonucu (Table 3. Experimental Study Result)

PARAMETRELER		DALMA BORU ÇAPI (mm)		
		Ø88,9	Ø114,3	Ø139,7
BASINÇ	Giriş Basıncı (Pa)	3137	2769	2257
	Çıkış Basıncı (Pa)	340	334	317
TOZ TOPLAMA VERİMLİLİĞİ		73%	81%	67%

Deneysel çalışma sonucunda basınç kaybı ve toz tutma verimliliği parametreleri göz önünde bulundurularak siklonun verimini yükselten kritik dalma boru çapı belirlenmiştir. Teori de

elde edilen veriler ile deney sonucunda elde edilen verilerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda üç farklı dalma boru çapına göre en iyi toz toplama verimliliğini Ø114.3 mm sağlamıştır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, yardımını eksik etmeyen Mimsan Endüstri Kazanları A.Ş.'ye teşekkür ederim.

## Kaynakça

Çalışkan, M. E. (2017). Sanal Gövdeli Mini Bir Siklon Ayırıcının Tasarlanması ve Deneysel İncelenmesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Çelik, G. (2020). Sanal gövdeli siklon ayırıcılarda gövde çapının siklon performansına etkisinin deneysel incelemesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Fıçıcı, F. (2006). Siklonlarda dalma borusu çap değişiminin akış parametrelerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi, Makine Eğitimi, Sakarya).

Fıçıcı, F., Arı, V., Aras Ö. (2008) Önısıtıcılı Siklonlarda Dalma Borusu Çap Değişiminin Toz Toplama Verimliliğine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 4(2), 229-240.

Fıçıcı, F., & Ari, V. (2008). Teğetsel Girişli Ters Akışlı Siklonlarda Dalma Borusu Çap Değişiminin Basınç Kaybına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 14(2).

Erol, H. (2016). Siklon Çıkış Boru Çapının Siklon Verimliliğine Etkisinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi (Master's thesis, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara).

Kalafatoğlu, E., Örs, N., & Erencek, E. (1994) Siklon Tasarımı ve Simülasyonu (TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Teknik Rapor No:t4-14, Bölüm Rapor No:260).

Karakaş, C. (2020). Yüksek verimli farklı geometrideki mini siklonların performansının deneysel olarak incelenmesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Karagoz, I., & Avcı, A. (2005). Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. Aerosol Science and Technology, 39(9), 857-865.

Okur, T. (2011). Siklon filtrelerde verim-basınç kaybı ve yükseklik arasındaki ilişkinin deneysel olarak araştırılması (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Şendoğan, Ö. (2012). Yüksek verimli siklon tasarımı ve performansının deneysel incelenmesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Tan, F. (2016). Siklonlarda iki fazlı ve girdaplı akışların parametrik incelenmesi ve siklon ayırıcıların geliştirilmesi. (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).

Uygun, N. (2020). Yüksek Verimli Standart Siklon Performansının Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35 (3), 711-720.



# Classification of Cardiovascular Diseases Using Electronic Nose Dataset with Artificial Neural Network Classifier

Cemlaeddin Şimşek<sup>1\*</sup>, Ahmet Yılmaz<sup>2</sup>, Bilge Han Tozlu<sup>3</sup>, Önder Aydemir<sup>4</sup>, Yusuf Karavelioğlu<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electric and Electronics Eng., Karaman, Turkey, (ORCID: [0000-0002-0888-052X](https://orcid.org/0000-0002-0888-052X)), [csimsek@kmu.edu.tr](mailto:csimsek@kmu.edu.tr)

<sup>2</sup> Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Computer Sciences, Karaman, Turkey, (ORCID: [0000-0002-4109-3480](https://orcid.org/0000-0002-4109-3480)), [yilmazahmet@kmu.edu.tr](mailto:yilmazahmet@kmu.edu.tr)

<sup>3</sup> Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Corum, Turkey, (ORCID: [0000-0001-6896-7451](https://orcid.org/0000-0001-6896-7451)), [bilgehantozlu@hitit.edu.tr](mailto:bilgehantozlu@hitit.edu.tr)

<sup>4</sup> Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Trabzon, Turkey, (ORCID: [0000-0002-1177-8518](https://orcid.org/0000-0002-1177-8518)), [onderaydemir@ktu.edu.tr](mailto:onderaydemir@ktu.edu.tr)

<sup>5</sup> Hitit University, Faculty of Medicine, Corum, Turkey, (ORCID: [0000-0002-2544-1975](https://orcid.org/0000-0002-2544-1975)), [yusufkaravelioglu@hitit.edu.tr](mailto:yusufkaravelioglu@hitit.edu.tr)

(First received 23 July 2022 and in final form 28 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1165991)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, C., Yılmaz, A., Tozlu, B.H., Aydemir Ö. & Karavelioğlu, Y. (2022). Classification of Cardiovascular Diseases Using Electronic Nose Dataset with Artificial Neural Network Classifier. *European Journal of Science and Technology*, (38), 479-483.

## Abstract

Cardiovascular diseases are one of the leading reasons for mortality worldwide. With the rise of cardiovascular diseases and their effect on lives, it becomes crucial to have accurate and fast diagnosis results.

Nowadays, machine learning techniques are widely used to interpret and classify information or different measurement techniques for various diseases. Cardiovascular diseases are among the most time and accuracy-sensitive cases as even the minutes are essential, especially for myocardial infarction.

In many cases, a diagnosis of myocardial infarction can be made by simply looking at an electrocardiogram. But in some cases, physicians may not be able to determine the myocardial infarction condition by an electrocardiogram test; therefore, a blood test becomes a necessity which takes 40-60 minutes to complete. In order to overcome the current time-consuming process in one of the previous studies, an electronic nose has been used to classify MI, stable coronary artery disease and healthy individuals, which is a promising fast result method.

In this study, we focused on the classification algorithm using the dataset used in the study mentioned above. We noticed that there might be room for classification accuracy performance improvement while reducing the complexity of the process, which has the potential to affect the clinical results. The proposed algorithm results indicate that it is possible to achieve improved overall classification accuracy. At the same time, the complexity of the process is reduced by using an appropriate shallow neural network, even with a single classification step.

**Keywords:** Myocardial infarction, Stable coronary artery disease, Machine Learning, Neural Network, Classification

## Yapay Sinir Ağı Sınıflayıcıyla Elektronik Burun Veri Seti Kullanarak Kardiyovasküler Hastalıkların Sınıflandırılması

### Öz

Kardiyovasküler hastalıklar dünya çapında ölümlerin önde gelen nedenlerinden biridir. Kardiyovasküler hastalıkların artması ve yaşam üzerindeki etkileri ile birlikte doğru ve hızlı tanı sonuçlarına sahip olmak çok önemli hale gelmektedir.

Günümüzde makine öğrenme teknikleri, çeşitli hastalıklar için bilgileri veya farklı ölçüm tekniklerini yorumlamak ve sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kardiyovasküler hastalıklar, özellikle miyokard enfarktüsü için dakikalar bile önemli olduğundan, zamana ve hassasiyete en duyarlı vakalar arasındadır.

\* Corresponding Author: [csimsek@kmu.edu.tr](mailto:csimsek@kmu.edu.tr)

Çoğu durumda, sadece bir elektrokardiyograma bakarak miyokard enfarktüsü teşhisi konulabilir. Ancak bazı durumlarda doktorlar bir elektrokardiyogram testi ile miyokard enfarktüsünün durumunu belirleyemeyebilirler; bu nedenle, tamamlanması 40-60 dakika süren bir kan testi bir zorunluluk haline gelir. Önceki çalışmalardan birinde mevcut zaman alıcı sürecin üstesinden gelmek için, umut verici hızlı sonuç yöntemi olan MI, stabil koroner arter hastalığı ve sağlıklı bireyleri sınıflandırmak için elektronik bir burun kullanılmıştır. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çalışmada kullanılan veri seti kullanılarak sınıflandırma algoritması üzerinde durulmuştur. Klinik sonuçları etkileme potansiyeline sahip olan sürecin, karmaşıklığını azaltırken, sınıflandırma doğruluğu performansını arttırmanın mümkün olabileceği görülmüştür. Önerilen algoritma sonuçları, geliştirilmiş genel sınıflandırma doğruluğu elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, tek bir sınıflandırma adımıyla bile, uygun bir sığ sinir ağı kullanılarak sürecin karmaşıklığı azaltılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Miyokard enfarktüsü, Stabil koroner arter hastalığı, Makine Öğrenmesi, Sinir Ağı, Sınıflandırma

## 1. Introduction

As we all witnessed in the last decades, many different technologies and methods have been developed and used to analyse medical information to assist physicians with their diagnoses. One of which is electronic nose systems that analyse the odour information as well as volatile organic compounds (VOCs) gathered from individuals (Tozlu et al. 2021, Pauling et al. 1971)

With the help of machine learning techniques, those kinds of complex data can be interpreted as a diagnosis decision aid for physicians if the study is adequately designed, which we know from their high accuracy results (Tozlu et al. 2021, Pauling et al. 1971, Behera et al. 2019, D'Amico et al. 2010, Dragonieri et al. 2009, Ergün & Aydemir 2018)

Also, electronic nose systems offer an easy application and fast response compared to many other methods. In addition, it provides a non-invasive and low-cost application which is one of the main reasons for the focus. The analysis could be made in a couple of minutes without any blood work and special tools by simply collecting exhaled breaths from individuals.

The study provides the dataset (Tozlu et al. 2021), which we used in this paper, which offers a well-designed approach that tries to identify several cardiovascular diseases along with healthy individuals using an electronic nose. In order to gather information from exhaled breath and determine cardiovascular diseases, there should be some VOCs inside the exhaled breathing air related to the condition of the subject or patient. Hopefully, this phenomenon has been proven by many other studies (Pauling et al. 1971, Behera et al. 2019, D'Amico et al. 2010, Dragonieri et al. 2009), especially using the gas chromatography method (Pauling et al. 1971). Although most of the previous studies are focused on lung and lung-related diseases (Behera et al. 2019, D'Amico et al. 2010, Dragonieri et al. 2009), the study (Tozlu et al. 2021) is focused on cardiovascular diseases. Mentioned study (Tozlu et al. 2021) is based on the theory that a released protein during myocardial infarction (MI) called Troponin should be found in exhaled breath of patients, even if a significant portion of it is eliminated by renal and hepatic clearance. Suppose the physician could not determine the MI condition by looking at electrocardiogram (ECG) results (ECG without ST elevation MI condition (ESC Committee for Practice Guidelines (CPG), et al. 2012)). In that case, blood work becomes a necessity that takes approximately an hour which might be the difference between life and death.

The other coronary artery disease studied (Tozlu et al., 2021) is stable coronary artery disease (SCAD) which has a different diagnosis approach. Mainly medical imaging techniques are used to diagnose SCAD, as stated in (Tozlu et al. 2021) (Joseph et al. 2018). However, electronic nose classification performance on SCAD seems promising as well.

With this approach, 19 different gas sensors have been used to form the data set with four features (EQs. 1-4) for each sensor (Tozlu et al., 2021). We have used the same data set with the same four base features (EQs. 1-4) to be able to compare our results with (Tozlu et al. 2021) correctly. Also, four additional features (EQs. 5-8) are proposed in this study to improve the classification accuracy.

Since the focus of this study is on the classification performance of the same data used in (Tozlu et al. 2021), we designed a neural network (NN) with one hidden layer, with all features from all sensors as input and all classes in the data set as the outputs. Results indicate that the breath of MI patients, SCAD patients and healthy subjects can be separated more accurately using the proposed method even with a single classification process.

## 2. Design of Neural Network

Since we focused on improving the performance of the classification process, this section provides the details of the NN used in the study. More detailed information for the rest of the setup can be found in (Tozlu et al. 2021), such as patient demography, electronic nose setup, sensors used in electronic nose and the breath collection methods etc.

Although there are existing methods such as those (Üstün 2009), the hyperparameters of the network used in this study were determined mostly after some preliminary tests based on experience. The fact that some results show 100% classification performance indicates that a more complex parameter determination process, such as (Üstün 2009), is unnecessary. All trials have been performed with a shallow network, including one input layer, one hidden and one output layer. The number of inputs depends on the chosen features, as the number of features was limited to a minimum of 4 and a maximum of 8. If four features were used, the input size of the network becomes  $4 \times 19 = 76$ ; if eight were used, it becomes  $8 \times 19 = 152$ . All the features used in this study are given with eq. 1-8. Eq. 1-4 are the features used in (Tozlu et al. 2021), while eq. 5-8 provide the equations for the additional features we proposed. Combining all the features helps to improve overall performance a little bit further, as one can compare from Table 1- 4 in the results section.

In our preliminary runs, we tested networks with several combinations for different hidden layer sizes, mini-batch sizes, activation functions and optimiser methods to determine other network parameters.

Preliminary tests were performed with the hidden layer size varying between 50 and 100 to find the optimum size for the problem. Several activation functions have also been tested, which were Rectified Linear Unit (ReLU), Leaky ReLU, Exponential Linear Unit (ELU), logistic sigmoid; and the tested optimisers were Adam, RMSprop, AdaDelta (Ruder 2017,

Kingma & Ba 2014, Bircanoğlu & Arıca 2018). We used the softmax activation function for the output layer in all tests and the chosen model, thereby using the cross-entropy loss as the network error (Wan et al., 2013).

We obtained the best neural network parameters with the "8 features" configuration listed in eq. 1-8 as inputs, "80 hidden neurons", "ReLU activation function" (for the hidden neurons), "Adam optimizer" and the "mini-batch size of 8" (Li et al. 2014). The above parameters obtained all of the performance values provided in this study. We also choose the same data percentages as in (Tozlu et al. 2021) for test and training as %34 and %66, respectively.

$$\text{Mean} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i) \tag{1}$$

$$\text{Skewness} = \frac{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^3}{\left( \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^2} \right)^3} \tag{2}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^4}{\left( \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} \tag{3}$$

$$\text{VD} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^2 \tag{4}$$

$$\text{Sum of derivatives} = \sum_{i=1}^L \dot{x}_i \tag{5}$$

$$\text{Log Detector} = e^{\left\{ \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \log(|x_i|) \right\}} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{Median} &= x_{(n+1)/2} && \text{odd} \\ \text{Median} &= \frac{x_{(n)/2} + x_{(n/2)+1}}{2} && \text{even} \end{aligned} \tag{7}$$

$$\text{VSD} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\dot{x}_i - \bar{\dot{x}})^2 \tag{8}$$

We used classification accuracy (CA)(eq. 9), sensitivity (SE)(eq. 10) and specificity (SF) (eq. 11) metrics to evaluate the performance of classifiers and to illustrate a proper comparison with (Tozlu et al. 2021),

$$\text{CA} = \frac{\text{CCT}}{\text{TT}} \times 100 \tag{9}$$

$$\text{SE} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100 \tag{10}$$

$$\text{SF} = \frac{\text{TN}}{\text{TN} + \text{FP}} \times 100 \tag{11}$$

Here; CCT: Correctly Classified Trials

TT: Total number of considered Trials

TP: True Positive samples

TN: True Negative samples

FP: False Positive samples

FN: False Negative samples

### 3. Results

In this study, we classified the MI, SCAD and healthy subjects using an electronic nose database provided by the authors of (Tozlu et al. 2021) using NN based classifier. The database includes 119 breaths from 33 MI patients, 132 breaths from 22 SCAD patients and 111 breaths from 26 healthy individuals in total. Two different classification approaches have been performed; 1) single step and 2) decision tree based. NN models are applied to the whole dataset in a single step, including MI, SCAD, and Healthy classes. In the decision-tree-based NN, the training process includes two steps like the work (Tozlu et al., 2021). In the first step, the NN model is applied to the data that includes two classes - Non-MI and MI and then, in the second step, the model is applied to the Non-MI data, i.e., SCAD and Healthy.

Confusion matrices of the proposed single-step classification approach for 4 and 8 features are given in Table 1 and Table 2, respectively. From these tables, one can see the performance improvement brought by the additional four features. Table 3 also provides the performances of the proposed decision tree-based NN classification. Although Table 1 and Table 2 cannot illustrate an exact comparison for classification accuracies with the study (Tozlu et al. 2021), Table 4 can be synthesised via these tables, including Table 3.

**Table 1.** Confusion matrix using eight features (Eq.1-8) obtained by NN-based single-step classification method. (%)

	SCAD	MI	Healthy
SCAD	93.85	0.00	6.15
MI	0.00	100	0.00
Healthy	10.91	1.82	87.27

**Table 2.** Confusion matrix using four features (Eq.1-4) obtained by NN-based single-step classification method. (%)

	SCAD	MI	Healthy
SCAD	90.77	0.00	9.23
MI	0.00	100	0.00
Healthy	10.91	3.64	85.45

One can see from Table 4 (first line of 8 features) that the proposed single-step NN-based classification method has a reduced CA performance by 4% for MI vs Others classification while having improved CA performance for SCAD vs Healthy classification by 10% compared with the results in (Tozlu et al. 2021).

**Table 3.** Confusion matrix obtained by proposed decision tree NN-based classification method. (%)

	MI	Others	SCAD	Healthy	
MI	100	0.00	-	-	<b>Eight features</b>
Others	0.83	99.17	-	-	
SCAD	-	-	92.53	7.47	<b>Eight features</b>
Healthy	-	-	5.56	94.44	
MI	100	0.00	-	-	<b>Four features</b>
Others	0.00	100	-	-	



SCAD	-	-	94.03	5.93
Healthy	-	-	11.11	88.88

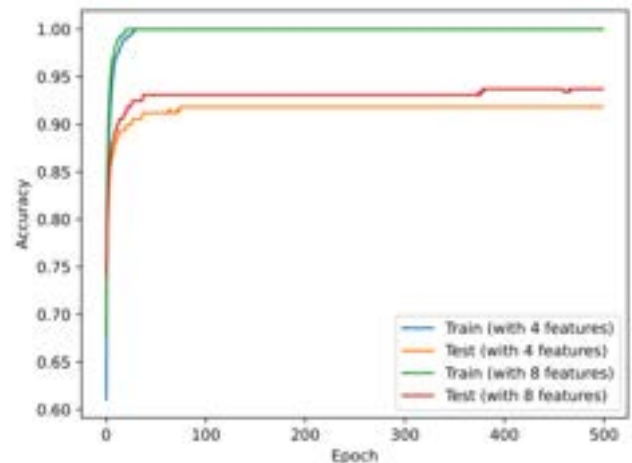
This concludes that with single-step NN-based classification, the proposed method has a 6% performance improvement overall compared with (Tozlu et al. 2021). Additionally, the proposed decision tree NN-based classification method using eight features (last line in Table 4) indicates a 2%

and 14% CA performance improvement for MI vs Others and SCAD vs Healthy classifications, respectively. Although a previous study has already performed a NN classifier with one hidden layer that includes 100 neurons. Table 4 indicates that selected hyperparameters would yield better performance.

**Table 4.** Comparison of all results with the same performance metrics (CA, SE, SF). (%)

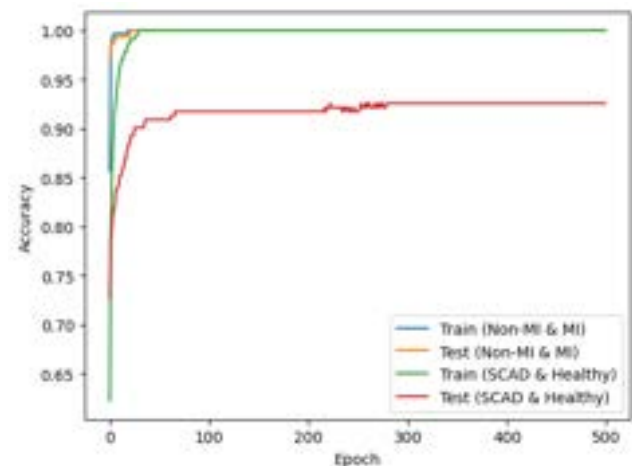
	MI vs Others			SCAD vs Healthy			
	CA	SE	SF	CA	SE	SF	
<b>4 Features</b>	91.19	100	98.41	89.83	90.76	88.68	<b>Single Step NN-Based Classification</b>
<b>8 Features</b>	93.08	100	99.09	91.59	91.04	92.30	
<b>Results in (Tozlu et al. 2021)</b>	97.19	93.37	99.07	81.48	82.56	80.19	<b>Decision Tree NN-Based Classification</b>
<b>4 Features</b>	100	100	100	91.73	91.30	92.30	
<b>8 Features</b>	99.37	100	99.16	95.76	92.53	94.44	

Figure 1 shows the training and test accuracy obtained by applying the proposed NN model to the whole dataset. The blue and orange lines illustrate the corresponding accuracy of the network performed with four features; the green and red illustrate the same metrics obtained using eight features. Each plot in the figure is the median value of the corresponding accuracy obtained by 50 independent runs. As seen from the figure, the training performance of the models sharply reaches 100%. However, the network that uses four features could never reach the testing accuracy of the network that uses eight features during the training.



**Figure 1.** Accuracy of NN-based single-step classification (4 and 8 features).

Figures 2 and 3 show the same metrics. The plots in the figures show the training and testing performance of the Non-MI and MI classification task and SCAD and Healthy classification task. Like in Figure 1, the plots in Figures 2 and 3 are also the

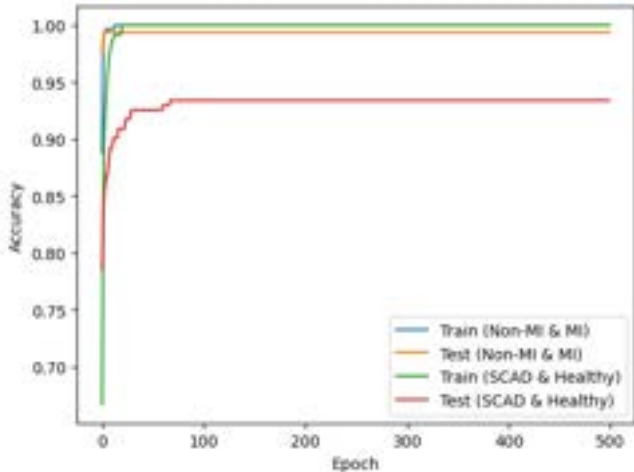


**Figure 2.** Accuracy of MI vs Others and SCAD vs Healthy

median values of 50 independent runs. Figure 2 illustrates the accuracy results of the 4-feature-NN, while Figure 3 shows the corresponding results of the 8-feature-NN.

As one can see from the plots, the 4-feature-network is slightly better than the 8-feature-network in Non-MI vs MI classification task; however, both perform well by reaching quickly 100% and 99.37% testing accuracy, respectively. When we look at the test results of the SCAD vs Healthy classification task in the figures, it is clear that the 8-feature-network is superior to the 4-feature-network in terms of fast convergence, stability and accuracy rate.

classes using NN-based decision tree classification (4 features).



**Figure 3.** Accuracy of MI vs Other and SCAD vs Healthy classes using NN-based decision tree classification (8 features).

## 4. Conclusions

In this study, we proposed a single-step neural network decision tree-based classification approach to an existing data set (Tozlu et al., 2021) that includes exhaled breath measurements obtained via an electronic nose system. Results indicated that with the better-determined hyperparameters of the NN, better classification accuracies could be obtained, along with a reduction in design complexity provided by a single-step classification approach rather than a decision tree structure. Also, proposed additional features help improve classification accuracy's performance a little further.

We believe that a more extensive data set and a deep neural network structure would become much more effective since the data set provides only 362 breath trials. Nevertheless, this study has improved average classification accuracies by an average of 8% per cent with respect to the previous study (Tozlu et al., 2021).

## 5. Author contribution statement

In this study, author 1; writing the article, hardware design and production, extraction and classification of features, author 2; design and implementation of the classifier model, extraction, classification of features and evaluating the results, author 3; generating the main idea, producing the hardware and recording the data, author 4; determining the classification problem, extracting the features and evaluating the results, author 5; contributed to the recording of the data.

## 6. Ethics committee approval and conflict of interest statement

"There is no need for an ethics committee approval in the prepared article"

"There is no conflict of interest with any person/institution in the prepared article"

## References

- Behera B, Joshi R, Vishnu GA, Bhalerao S, Pandya HJ. "Electronic nose: A non-invasive technology for breath analysis of diabetes and lung cancer patients." *Journal of Breath Research*, 13(2), 024001, 2019.
- Bircanoğlu C, Arıca N. "A comparison of activation functions in artificial neural networks." In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference
- D'Amico A, Pennazza G, Santonico M, Martinelli E, Roscioni C, Galluccio G, Di Natale C. "An investigation on electronic nose diagnosis of lung cancer." *Lung Cancer*, 68(2), 170-176, 2010.
- Dragonieri S, Annema JT, Schot R, van der Schee MP, Spanevello A, Carratù P, Sterk PJ. "An electronic nose in the discrimination of patients with non-small cell lung cancer and COPD." *Lung Cancer*, 64(2), 166-170, 2009.
- Ergün E, Aydemir Ö. "Etkin epoklar ile motor hayaline dayalı EEG işaretlerinin sınıflandırma doğruluğunun artırılması." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 817-823, 2018.
- ESC Committee for Practice Guidelines (CPG), et al. "Third universal definition of myocardial infarction." *Journal of the American College of Cardiology* 60.16, 1581-1598, 2012.
- Joseph J, Velasco A, Hage FG, Reyes E. "Guidelines in review: Comparison of ESC and ACC/AHA guidelines for the diagnosis and management of patients with stable coronary artery disease." *Journal of Nuclear Cardiology*, 25(2), 509-515, 2018.
- Kingma DP, Ba J. "Adam: A method for stochastic optimisation." arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.
- Li M, Zhang T, Chen Y, Smola AJ. "Efficient mini-batch training for stochastic optimisation." In Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, New York / New York, USA, 24-27 August 2014.
- Pauling L, Robinson AB, Teranishi R, Cary P. "Quantitative analysis of urine vapor and breath by gas-liquid partition chromatography." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68(10), 2374-2376, 1971.
- Ruder S. "An overview of gradient descent optimisation algorithms" arXiv preprint arXiv:1609.04747, 2017.
- Tozlu BH, Şimşek C, Aydemir O, Karavelioglu Y. "A High performance electronic nose system for the recognition of myocardial infarction and coronary artery diseases." *Biomedical Signal Processing and Control*, 64, 102247, 2021.
- Üstün O. "Genetik algoritma kullanılarak ileri beslemeli bir sinir ağında etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 395-403, 2009.
- Wan L, Zeiler M, Zhang S, Le Cun Y, Fergus R. "Regularisation of neural networks using drop connect." In International conference on machine learning, Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning PMLR, Atlanta/Georgia, USA, 17-19 June 2013.



# Minimization of Labor Costs in Textile Manufacturing with Dynamic Programming

Hanefi Gezer<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Eskisehir Technical University, Faculty of Science, Department of Statistics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8187-0299), [hgezer@eskisehir.edu.tr](mailto:hgezer@eskisehir.edu.tr)

(First received 28 February 2022 and in final form 07 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080355)

**ATIF/REFERENCE:** Gezer, H. (2022). Minimization of Labor Costs in Textile Manufacturing with Dynamic Programming. *European Journal of Science and Technology*, (38), 484-490.

## Abstract

In the increasingly competitive world today, it has become an inevitable necessity to use labor-intensive businesses by keeping their employees at a minimum in order to maintain their profitability and production and ensure their continuity. Thus, the aim is to ensure that the production process is of the desired time and quality while optimizing the labor costs, which constitute a large part of the total costs. In recent years, dynamic programming has been widely used in problems such as optimization of labor costs, shift planning, inventory control, and transportation problems. In this study, after giving general information about the minimization of labor costs and Dynamic programming, some Dynamic Programming problems were introduced and the optimization of the labor costs of the contract sewing workshop operating in İstanbul was made using Dynamic Programming and the results were suggested to the business.

**Keywords:** Dynamic programming, Labor cost minimization, Labor force planning, Textile factory, Optimization

## Dinamik Programlama ile Tekstil İşçilik Maliyetlerinin Minimizasyonu

### Öz

Günümüz artan rekabet ortamında emek yoğun çalışan işletmelerin karlılıklarını ve üretimlerini sürdürerek devamlılıklarını sağlamak için çalışanlarını minimum düzeyde tutarak etkin bir şekilde kullanılması kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Böylece verilen sipariş istenen zamanda ve kalitede üretilirken aynı zamanda maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan işgücü maliyetleri optimize edilecektir. Son yıllarda, işgücü maliyetlerinin optimizasyonu, vardiya planlaması, envanter kontrolü, nakliye problemleri gibi sorunlarda yaygın olarak dinamik programlama kullanılmaktadır. Bu çalışmada, işgücü maliyetlerinin minimizasyonu ve Dinamik programlama hakkında genel bilgi verildikten sonra bazı Dinamik Programlama problemleri tanıtılarak İstanbul'da faaliyet gösteren fason dikim atölyesinin işgücü maliyetlerinin optimizasyonu Dinamik Programlama kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar işletmeye önerilmiştir

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik programlama, İşgücü maliyetlerinin optimizasyonu, İşgücü planlama, Tekstil işletmesi, Optimizasyon

\* Corresponding Author: [hgezer@eskisehir.edu.tr](mailto:hgezer@eskisehir.edu.tr)

## 1. Introduction

In order for businesses to operate successfully in today's competitive environment, the production of goods and services must take place without interruption, and the costs of this production process must be minimized. Today, the production factor inputs are grouped under four main sections. These are:

- Natural resources
- Capital
- Labor
- Entrepreneur

This study focuses on the labor factor, which is extensively used in ready-made clothing manufacturers, which are also known as contract manufacturing textile workshops. Contract manufacturing workshops are required to respond to the daily, weekly, or monthly orders from clothing wholesalers and companies in a timely manner, ensuring a high quality of workmanship. Disruptions during this process result not only in a decline in future orders, but also in payment deductions for each missing or defective product. Thus, the profit of such production workshops is determined not only by the number of goods they produce, but also by the quality and completeness of their output. Therefore, the labor factor which ensures the careful and waste-free production of goods with the technological devices utilized in such enterprises is considered to be the largest cost input. The correct calculation of these labor costs will both minimize the most important cost and maximize the profits of the subcontracting workshops with the effect of the labor force, which is the most important factor in increasing the profits. In other words, for the optimization of production, determining the correct size of workforce and optimal work plans are crucial for such businesses. Therefore, planning of labor costs using dynamic programming method has gained great popularity in recent years. For example, despite the possibility of formulating production and workforce planning as a linear program, (Aardal and Ari, 1987) increased the efficiency of this program to solve problems that are more complex due to their large scale by using a decomposition approach. (Okakın, 1998) studied the internal and external factors that effect Human Resources Planning applications in Turkey. (Patr, 2010) investigated the shortest path with Dynamic programming in the distribution of a pharmaceutical warehouse. (Nirmala & Jeeva, 2010) developed a mathematical model with the objective of minimizing the manpower system cost during the recruitment and promotion period which are determined by the changes that take place in the system. developed a mathematical model with the objective of minimizing the manpower system cost during the recruitment and promotion period which are determined by the changes that take place in the system (Küçükşille and Güngör, 2009) investigated the number of workers needed in supermarkets for each hourly period, for each day of the week. Using dynamic programming, (Yücel and Ulutaş, 2010) studied the optimization of labor costs in construction industry. (Shi and Landa-Silva, 2016) investigated the problem in nurse scheduling using approximate dynamic programming, which a problem addressed in workforce scheduling. For the assignment and scheduling of caregivers, (Restrepo et al, 2019) developed a two-stage scholastic model which focuses on the distribution of caregivers in certain geographical areas in the first stage, and the temporary

reallocation of caregivers to nearby districts and contacting caregivers to work on their days off in the second stage. (Alam and Habib, 2021) developed a framework which optimizes the effective use of the available modes of transport including public transport and school buses with the knapsack problem approach.

The remainder of this study is organized as follows: In Chapter 2, the minimization of labor costs is briefly described. In Chapter 3, dynamic programming is explained in detail. In Chapter 4, the practical problem of the study is defined and solved. In the final Chapter, solutions and suggestions for the problem are given.

## 2. Minimization of Labor Costs

By focusing on the minimization of the labor factor in production, businesses aim to determine the necessary planning that is needed to produce a certain amount of goods or services using the least amount of labor with the utilization of advanced technological systems. Thus, by reducing the labor costs, which is the most important input in the production of goods and services, businesses can significantly increase their profits. The studies on the planning of labor costs, two main factors were determined, namely workforce planning and optimal shift planning. To define planning, it is the adjustment of personnel, equipment, finances to determine the direction a business will take in the future. The most important step of planning is workforce planning in resources, human resources and personnel planning which is also known as employee planning. Personnel planning refers to the training of the necessary number of staff members to give them the required skills and abilities at a level that is in line with the future goals of the enterprises, or the employment of individuals with these skills where they are needed. Shift planning, on the other hand, is one of the factors that has a direct impact on operational efficiency and labor costs for businesses that operate or provide services 24/7 and need production and service planning in accordance with the number and the quality of their workforce. As shift based operational systems lead to extra costs due to labor laws on weekly and monthly limitations to work periods, overtime work principles etc., incorrect planning will increase the costs of businesses. For this reason, optimal shift planning is vital for businesses operating in shifts.

## 3. Dynamic Programming

Dynamic programming is a mathematical programming (planning) method that has gained importance since 1920 and reached its peak in the 1940s when it was utilized by the American mathematician Richard Ernest Bellman to solve the problems in successive decision-making processes. Richard Ernest Bellman revised his approach in 1953 to solve optimization problems (Bellmann, 1957).

The problems that can be solved by using dynamic programming in businesses can be listed as follows (Tütek and Gümüşoğlu, 2000):

- Determining the variables in setting the commission rules,
- Planning of production in changing demand conditions and determination of labor requirements,
- Determining the level of spare parts to avoid malfunction costs,
- Determination of resource distribution in new production areas,

- Determination of tools of advertisement for the large-scale promotion of products,
- Planning the maintenance and repair of complex machines.

### 3.1. The Basic Concept of Dynamic Programming

Dynamic programming is an approach where optimal solution of a problem is determined after the decision variable has been identified and divided into independent subproblems as in all dynamic programming problems. The terminology of this approach includes the concepts of stage, state, policy decision, optimal policy, and recursive relationship. To summarize these concepts briefly:

- Stage: Depending on the process of the system, the breaking down of the problem into smaller sub-problems is defined as the steps or the stages. These steps are defined in different ways according to the problem. For instance, if the problem is about a long-term system, the steps are time frames, or if it is a spatial problem, the steps are the places involved.
- State: As the decision made at each step leads to a different situation in the next, the value assigned to variables differs at every step. The concept of "state" changes according to each problem. For example, for an inventory problem it refers to the stock level.
- Policy decision: Choosing the most optimal decision at each step is called policy decision. This decision is used in the making of the decision to be taken in the next step.
- Optimal policy: This concept refers to the policy set for the totality of the problem, and it is the sequence of decisions made at every step. In other words, it is the sequence of optimal decisions.
- Recursive relationship: The iteration function that takes the solution to the most optimal decision by iterating at each stage.

The formula for discretely timed simple dynamic system to understand the structure of dynamic programming is as follows (Bertsekas, 1995):

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k), k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (3.1)$$

where,

- $k$ , is the discrete time index,
- $x_k$ , is the prior information relevant to the state variable and future optimization,
- $u_k$ , is the control or decision variable to be chosen at  $k$
- $w_k$ , is a random parameter (it is also referred to as distortion or noise depending on the context),
- $N$ , is the number of times the iteration or stages are executed,
- $f_k$ , is a function that defines the system and specifically the mechanism by which the state is updated.

The cost of the problem or system is displayed with  $g_k(x_k, u_k, w_k)$ , and it is the cost that occurs in the stage  $k$ . Here, due to the presence of  $w_k$  and as cost is usually a random variable,

it cannot be optimized in a significant way. Therefore, the optimization of the expected cost of the system can be formulated as:

$$E \left\{ g_N(x_N) + \sum_{k=1}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k) \right\} \quad (3.2)$$

where,  $g_N(x_N)$  is a cost that occurs at the end of the process. To visualize this formulation (Bertsekas, 1995).

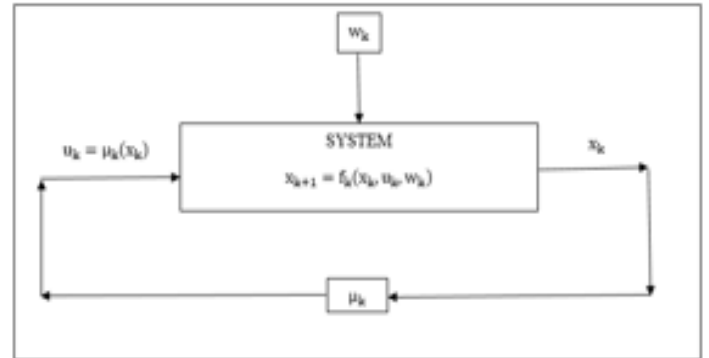


Fig. 3.1. Basic Dynamic programming system

where  $u_k = \mu(x_k)$ . In addition, these dynamic systems are categorized according to the presence of the random variable  $w_k$ . If there is randomness in the transition function that determines the property of the process, it is called a stochastic dynamic problem, and if there is no randomness in the transition function, it is called a deterministic dynamic problem (Hiller and Lieberman, 1996).

### 3.2. Advantages and Disadvantages of Dynamic Programming

There are some advantages to solving problems using dynamic programming. These are:

- It is a programming system that can be applied to deterministic and stochastic processes.
- It offers solutions to recurring problems.
- It has a flexible structure that can be adjusted specifically for each problem.
- It provides the opportunity to solve complex problems by separating them into interrelated sub-problems. This advantage of dynamic programming provides the opportunity to solve both complex and large problems involving sequential decisions more easily.
- It is an optimization approach that can be applied to mathematical programming as well as other programming problems.
- Dynamic programming problems involving the solution of coefficient values can allow for the application of sensitivity analysis.
- Problems such as chemical processes can only be solved by means of dynamic programming (Halaç, 1995)

Although few in number, there are also some disadvantages to using dynamic programming. Briefly, these disadvantages are:

- Since dynamic programming does not have a specific algorithm, dynamic programming packages which differ

for each problem can be insufficient. Therefore, it is necessary to work with an expert both in the formulation and the coding process of the problem.

- Since dynamic programming is programmed individually for each problem, it involves more complex concepts than mathematical programs.
- The excess of sub-problems and variables in dynamic programming causes dimensionality problems.

### 3.3. Dynamic Programming Solution with Iteration Method

In dynamic programming problems, the problem is decomposed on the basis of the given constraints. The decomposed problem is repeated for each sub-problem, and the optimal value obtained continues as the input of the next step and iterated. Thus, the optimal solution is reached with the iteration process that continues until the last step.

Solution methods of dynamic programming by iteration can be done in two ways, namely:

- Backward iteration method
- Forward iteration method

Although the backward iteration method is used more extensively in the literature due to its advantages, forward iteration method also gives the same results. In backward iteration method, the solution to the problem which is divided into  $n$  number of sub-problems is reached by moving back from stage  $n$  to stage 1; whereas with forward iteration method, optimal solution is reached from stage 1 to  $n$ .

The dynamic programming problems which can be solved through the iteration method and are used extensively, are problems such as knapsack, stock control, equipment renewal, investment, and determination of the number of employees. The most popular of these problems, which are the knapsack and stock control problems, will be briefly introduced and their dynamic programming algorithm structures will be given.

**The knapsack problem:** Refers to the loading of products into sacks, warehouses, or delivery trucks in the most optimal way by maximizing the number or value of products that can be fit in such spaces with limited storage volume. This type of problem is named and modeled differently according to the desired constraints. These models include the fractional knapsack problem, (0/1) (binary) knapsack problem, and unbounded knapsack problem where any number of product types can be selected. The simple knapsack problem is formulized as:

$$g(w) = \max_j \{b_j + g(w - w_j)\} \quad (3.3)$$

where,  $b_j$  refers to the benefit,  $w_j$  to the weight of the product, and  $g$  refers to the maximum benefit that can be attained by adding 1 kilogram to the knapsack. The calculation is repeated until the  $g(w)$  capacity of the bag is full in the recurrence equation given in Equation (3.3).

**Stock (inventory) problem:** Inventory is the number of products an entrepreneur or manufacturer must keep in stock in order to meet the possible demands in the future. In other words, this problem is aimed to ensure the minimization of cost by keeping in balance the supply and demand of the products an

entrepreneur or manufacturer has. The expected cost in such problems is (Bertsekas, 1995):

$$E \left\{ R(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} cu_k + r(x_k + u_k - w_k) \right\} \quad (3.4)$$

where,  $x_k$  shows the stock level,  $u_k$  the number of orders,  $w_k$  the amount of demand,  $c$  coefficient the cost per product ordered, and  $R$  shows the terminal cost. In addition, customer holding costs arise in case of depletion of stocks.

## 4. Identification of the problem and suggestions for solution

The aim here is to optimize the cost of labor, which is the biggest cost item for the newly established contract sewing workshop operating in the sewing of sports jackets in Istanbul. In order to achieve that, the number of workers and the labor cost which is calculated by taking the cost of service, meals, and other expenses into account, are aimed to be minimized in the first 6 months of the establishment. The optimization of workforce number is achieved through the utilization of dynamic programming method.

Figure 4.1 demonstrates simple structure of deterministic Dynamic programming schema.

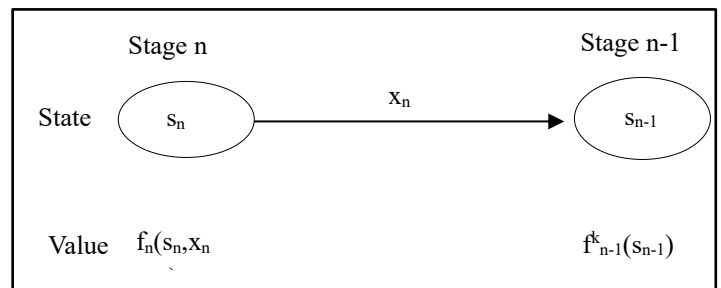


Fig. 4.1. Simple structure of deterministic Dynamic programming

Each stage in the figure is shown as an independent optimization model. Here  $n$  is the stage,  $s_n$  is the current state value and  $x_n$  is the decision variable.

### 4.1. Identifying the Problem

In workforce planning, the number of recruitments and dismissals are to be balanced. The dynamic programming function for the optimization of the workforce throughout the trial period is as follows,

$$f_i(x_{i-1}) = \min_{x_i \geq b_i} \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_i - b_i) + c_2 \\ + c_3(x_i - x_{i-1}) + f_{i+1}(x_i) \end{array} \right\} \quad (4.1)$$

$$f_{n+1}(x_n) = 0 \quad (4.2)$$

The calculation in the Eqs. (4.1) and (4.2) start from stage  $n$ ., or the step  $x_n = b_n$  and the solution is reached by regression. Where,

- $n$ , is the number of stages
- $b_i$ , is the minimum number of workers at month  $i$ ,

- $x_i$ , is the number of workers at month  $i$ . (decision variable),
- $c_1(x_i - b_i)$ , is the cost of extra workers at month  $i$ ,
- $c_3(x_i - x_{i-1})$ , is the cost of recruitment at month  $i$ ,
- $c_2$ , is the fixed cost of a single worker.

The contract sewing workshop has calculated the cost of an extra worker including the expenses of commuting, meals, and workplace expenses to be 250€, the fixed employee cost to be 700€, and the recruitment cost to be 800€. The months worked and the minimum number of workers during the 6-month working period of the enterprise under these constraints are shown in Table 4.1.

Table 4.1. Number of minimum employees per month

Stages	Months	Employees per Month
1	August	57
2	September	60
3	October	55
4	November	57
5	December	50
6	January	51

## 4.2. The Solution of the Problem

As the problem involves a 6-month trial period, the solution is obtained by regressing back from the 6<sup>th</sup> month (step or stage) with the backwards iteration method. The solution will be presented through tables to ensure visibility and comprehensibility. The solution will commence from the last month which is January.

Table 4.2 demonstrates the solution of January, which is the sixth stage. Fourth stage (month) chart

Table 4.2. Sixth stage (month) solution

	$f_6(x_5) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_6 - b_6) \\ +c_2 + c_3(x_6 - x_5) \end{array} \right\}$	Optimal Solution	
$x_5$	$x_6 = 51; b_6 = 51$	$f_6(x_5)$	$x_6^*$
50	$250(51-51)+700+800(51-50)$	1500	51
51	$250(51-51)+0+800(51-51)$	<b>0</b>	

In the table, value  $x_5$  is the number of workers in December,  $x_6$  is the number of workers in the 6<sup>th</sup> month,  $f_6(x_5)$  value shows the minimum cost at the sixth and final stage, and  $x_6^*$  shows the optimal number of workers. In addition,  $c_2$  takes the value of 700€ if a new employee is included in the solution, and 0 if there's no addition. The optimal number of workers for the sixth month was found to be 51.

Table 4.3 demonstrate the solution of December, which is the fifth stage.

Table 4.3. Fifth stage (month) solution

	$f_5(x_4) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_5 - b_5) + c_2 \\ +c_3(x_5 - x_4) + f_6(x_5) \end{array} \right\}$	Optimal Solution	
$x_4$	$x_5 = 50,51; b_5 = 50$	$f_5(x_4)$	$x_5^*$
57	$250(50-50)+0+0(50-57)+1500$	1500	51
	$250(51-50)+0+0(51-57)+1500$	<b>250</b>	

In the table, value  $x_4$  is the number of workers in November,  $x_5$  is the number of workers in the 5<sup>th</sup> month,  $f_5(x_4)$  value shows the cost in stage five, and  $x_5^*$  is the optimal number of workers. As there were no recruitments in the transition from the fourth to the fifth month,  $c_2$  and  $c_3$  values were 0 in the calculation for stage five. The optimal number of workers for the fifth month was found to be 51.

Table 4.4 demonstrates the solution of November, which is the fourth stage.

Table 4.4. Fourth stage (month) solution

	$f_4(x_3) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_4 - b_4) + c_2 \\ +c_3(x_4 - x_3) + f_5(x_4) \end{array} \right\}$	Optimal Solution	
$x_3$	$x_4 = 57; b_4 = 57$	$f_4(x_3)$	$x_4^*$
55	$250(57-57)+700+800(57-55)+250$	2550	57
56	$250(57-57)+700+800(57-56)+250$	1750	
57	$250(57-57)+0+800(57-57)+250$	<b>250</b>	

In the table,  $x_3$  value is the number of workers in October,  $x_4$  is the number of workers in the 4<sup>th</sup> month,  $f_4(x_3)$  value shows the cost in stage four, and  $x_4^*$  is the optimal number of workers. The optimal number of workers for the fifth month was found to be 57. Table 4.5 demonstrates the solution of October, which is the third stage

Table 4.5. Third stage (month) solution

	$f_3(x_2) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_3 - b_3) + c_2 \\ +c_3(x_3 - x_2) + f_4(x_3) \end{array} \right\}$	Optimal solution	
$x_2$	$x_3 = 55,56,57; b_3 = 55$	$f_3(x_2)$	$x_3^*$
60	$250(55-55)+0+0(55-60)+2550$	2550	57
	$250(56-55)+0+0(56-60)+1750$	2000	
	$250(57-55)+0+0(57-60)+250$	<b>750</b>	

In the table,  $x_2$  value is the number of workers in September,  $x_3$  is the number of workers in the 3<sup>rd</sup> month,  $f_3(x_2)$  value shows the cost in stage three, and  $x_3^*$  is the optimal number of workers. As  $x_3 - x_2$  had negative values,  $c_3$  was considered to be zero. As a result of the iteration calculations, the optimal number of workers for the third stage remained 57.

Table 4.6 demonstrates the solution of September, which is the second stage

Table 4.6. Second stage (month) solution

	$f_2(x_1) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_2 - b_2) + c_2 \\ +c_3(x_2 - x_1) + f_3(x_2) \end{array} \right\}$	Optimal Solution	
$x_1$	$x_2 = 60; b_2 = 60$	$f_2(x_1)$	$x_2^*$
57	$250(60-60)+700+800(60-57)+750$	3850	60
58	$250(60-60)+700+800(60-58)+750$	3050	
59	$250(60-60)+700+800(60-59)+750$	2250	
60	$250(60-60)+0+800(60-60)+750$	<b>750</b>	

In the table,  $x_1$  value is the number of workers in August,  $x_2$  is the number of workers in the 2<sup>nd</sup> month,  $f_2(x_1)$  value shows the cost in stage two, and  $x_1^*$  is the optimal number of workers. The optimal number of workers for the second stage was found to be 60.

Table 4.7 demonstrates the solution August, which is the first stage

Table 4.7. First stage (month) solution

	$f_1(x_0) = \left\{ \begin{array}{l} c_1(x_1 - b_1) + c_2 \\ +c_3(x_1 - x_0) + f_2(x_1) \end{array} \right\}$	Optimal Solution	
$x_0$	$x_1 = 57,58,59,60; b_1 = 57$	$f_1(x_0)$	$x_1^*$
0	$250(57-57)+700+800(57-0)+3850$	<b>50150</b>	57
	$250(58-57)+700+800(58-0)+3050$	50400	
	$250(59-57)+700+800(59-0)+2250$	50650	
	$250(60-57)+700+800(60-0)+750$	50200	

In the table,  $x_0$  value is the initial number of workers,  $x_1$  is the number of workers in the 1<sup>st</sup> month,  $f_1(x_0)$  value shows the cost at the final stage, and  $x_1^*$  is the number of workers initially hired. As a result of the minimization process performed in the last stage the optimal number of workers was found to be 57.

### 5. Conclusion and Suggestions

As a result of this study which aimed to minimize the labor costs of a contract sewing workshop, the number of workers to be hired for this establishment and their costs were summarized in Table 5.1. In addition, the monthly employees and optimal monthly employees are visualized graphically in Figure 5.1. According to these results, the workshop started with 57 employees in August. In September, 4 more workers were recruited to the workshop, and the number of workers was increased to 60 by hiring 3 more workers. At the beginning of October, it was determined with dynamic programming that the number of workers were too high, and with the dismissal of 3 employees the number was reduced to 57. As the number of workers, which was reduced to 57, was found to be optimal, there were no changes to the workforce. As it was understood with the dynamic programming that the number of workers working in the workshop exceeded the optimal amount in December, 6 workers

were dismissed, and the number of workers was reduced to 51. In the following month, the number of employees in the workshop was maintained. Table 5.1 and Figure 5.1 demonstrate the optimal results and decisions of this problem.

Table 5.1. Optimal decision table

Months	Monthly of Employees	Optimal of Employees	Decision
August	57	57	Hire 57 employees
September	60	60	Hire 3 more employees
October	55	57	Dismiss 3 employees
November	57	57	No change
December	50	51	Dismiss 6 employees
January	51	51	No change

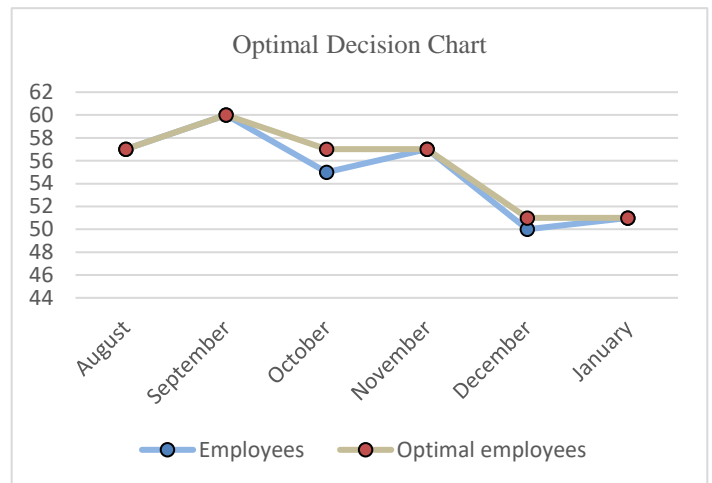


Fig. 5.1. Optimal decision chart

When analyzed in terms of cost, Table 5.1 shows that if 55 workers were employed for the month of October, an extra cost of 2300€ would arise. However, although there were 2 more employees in October and a total of 57, the cost was only 750€. Likewise, had the company employed 50 workers in December, the cost would be 1250€ more. The rest of the optimal decision table shows that if there were 55 workers employed in October and 50 in December, the company would have incurred the cost of 2 workers for October and 1 worker for December.

As a result, in this study, Dynamic Programming problems were introduced and applied for the optimization of the labor costs of the workers working in the contract sewing workshop. Thus, the labor costs of the contract sewing workshop were optimized, and the enterprise was not exposed to both high labor costs and labor production disruption. In addition, it can be suggested that this Dynamic Programming study for reducing labor costs can be applied considering that high rates of labor costs will be saved if it is applied in enterprises with a large number of employees.



## References

- Aardal, K., & Ari, A. (1987). Decomposition Principles Applied to The Dynamic Production and Work-Force Scheduling Problem. *Engineering Costs and Production Economics*, 12, 39-49.
- Alam, M. J., & Habib, M. A. (2021). A dynamic programming optimization for traffic microsimulation modelling of a mass evacuation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 97, 102946.
- Bellmann, R. (1957). *Dynamic Programing*. New Jersey: Princeton University Press.
- Bertsekas, D. P. (1995). *Dynamic Programing and Optimal Control*. U.S.A: Athena Scientific.
- Halaç, O. (1995). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)*. İstanbul: 4. Baskı, Alfa Basım Yayın Dağıtım.
- Hiller, F. S., & Lieberman, J. (1996). *Introduction To Operations Research*. USA: McGraw-Hill.
- Küçükşille, E. U., & Güngör, İ. (2009). İş Yoğunluğu Tahmini ve İşgücü Planlama: Süpermarket Uygulaması . C.14, S.3 s.91-109.
- Nirmala, S., & Jeeva, M. (2010). A dynamic programming approach to optimal manpower recruitment and promotion policies for the two grade system . *African Journal of Mathematics and Computer Science Research*, Vol. 3 (12), pp. 297-301.
- Okakın, N. (1998). İnsan Kaynakları Planlamasını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma. *Öneri Dergisi*, 197-202.
- Patır, S. (2010). Dinamik Programlama ve Bir Ecza Deposunun Şehir İçi İlaç Dağıtımına Alternatifli Bir Çözüm Önerisi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 2, 2009.
- Restrepo, M. I., Rousseau, L.-M., & Vallée, J. (2019). Home healthcare integrated staffing and scheduling . *Elsevier*.
- Shi, P., & Landa-Silva, D. (2016). Dynamic Programming with Approximation Function for Nurse Scheduling. *International Workshop on Machine Learning, Optimization, and Big Data*, pp 269-280.
- Tütek, H. H., & Gümüšoğlu, Ş. (2000). *Sayısal Yöntemler Yönelimsel Yaklaşım*. İstanbul : Beta.
- Yücel, M., & Ulutaş, A. (2010). Dinamik Programlamanın İşçilik Maliyetlerinin Minimizasyonunda Uygulanması. *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, Vol.15, No.3 pp.271-290.



# 3D Yazıcıların Termal Verimliliğini Artırmak için Yeni Ekstrüder Isı Bloğu Tasarımları

Hasan Demir<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Aksaray, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5424-7242), [hasandemir@aksaray.edu.tr](mailto:hasandemir@aksaray.edu.tr)

(First received 29 December 2021 and in final form 28 August 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1050665)

**ATIF/REFERENCE:** Demir, H. (2021). Novel Extruder Heat Block Designs to Improve the Thermal Efficiency of 3D Printers. *European Journal of Science and Technology*, (38), 491-500.

## Öz

3 boyutlu yazıcılar eklemeli imalat teknolojisinin en yaygın ve popüler methodudur ve termal etkileri kullanarak malzemelerin füzyonunu sağlarlar. Bu fenomen sıcaklığı baskı kalitesini etkileyen en önemli faktör haline getirir. Sıcaklık ekstrüderdeki alüminyum ekstrüder ısı bloğu tarafından sağlanır ve sıcaklık rejimi baskı malzemesinin tipine göre sabit olmalıdır. Bu çalışmanın amacı, sıcaklık rejimini sabit tutmak için ısı verimi yüksek alüminyum ekstrüder ısı bloğu tasarımları yapmak ve yeni tasarımların ısıl davranışını ANSYS simülasyonu kullanarak ticari bir ürün bloğu tasarımı ile analiz etmektir. Blokların malzemeleri aynı seçilmiş ve sınır koşulları belirlenerek blokların sıcaklık dağılımı ve ortalama ısı akısı hesaplanmıştır. Simülasyondan elde edilen sonuçlar, ticari bir ürün bloğunun termal davranışı ile karşılaştırıldığında tatmin edicidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstrüder ısı bloğu, Isı akısı, 3 boyutlu yazıcı, ANSYS.

## Novel Extruder Heat Block Designs to Improve the Thermal Efficiency of 3D Printers

### Abstract

3D printers are the most common and popular method of additive manufacturing technology and provide fusion of materials using thermal effects. This phenomenon makes that temperature the most important factor affecting printing quality. The temperature is provided by the Aluminium Extruder Heat Block in the extruder and the temperature regime must be constant according to the type of printing material. The objective of this study is to make aluminium Extruder Heat Block designs with high thermal efficiency to keep the temperature regime constant and to analyse the thermal behaviour of new designs with a commercial product block design using ANSYS simulation. The materials of the blocks were chosen the same and the temperature distribution of the blocks and the average heat flux were calculated by determining the boundary conditions. The results obtained from the simulation are satisfactory when compared with the thermal behaviour of a commercial product block.

**Keywords:** Extruder heat block, Heat flux, 3D printer, ANSYS.

\* Corresponding Author: [hasandemir@aksaray.edu.tr](mailto:hasandemir@aksaray.edu.tr)

## 1. Introduction

In the last 30 years, the Additive Manufacturing (AM) method has developed rapidly and has been used in production processes from rapid prototype to the production of functional parts (Demir & Coşgun, 2019; Turner et al., 2014; Turner & Gold, 2015; Wong & Hernandez, 2012). AM method has become popular in the last 7 years with the rapid decrease in cost of it (Cojuhari et al., 2017). With some companies producing affordable 3D printers, AM has become one of the today's production methods. One of the most researched topics in AM is Fused Deposition Modeling (FDM) (Coppola et al., 2018). FDM methods with 3D printers have been used in many areas such as aviation, medicine, education, military industry, etc (Vukicevic et al., 2017). Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and Poly(lactic acid) (PLA) are used as standard materials in AM and academic research continues to develop for new materials (Enrique & Vega-rios, 2019; Gregor-Svetec et al., 2020; Kariz et al., 2018; Singh et al., 2019).

In 3D printers, the mechanical structure and printing quality of the printed item are affected by parameters which are design of the part, printing speed, extruder temperature, etc. (Chacón et al., 2017; Dizon et al., 2018; Song et al., 2017). Since fusion of the material is required in the printing of objects, some studies have focused on the melting model and the flow of molten material (Comminal et al., 2018; McIlroy & Olmsted, 2017; Osswald et al., 2018; Peng et al., 2018). However, few authors have investigated the effect of printing temperature required for fusion (Abbott et al., 2018; Yang et al., 2017).

In 3D printer, the extruder is the core of the printer. As shown in Fig. 1, the extruder consists of nozzle, aluminum heat block, heated liquefier and filament feed. Extruder temperature generally does not have a major effect on the mechanical performance of the print object, but increasing temperature causes an increment in tensile strength and contact length (Abbott et al., 2018). In additive manufacturing, layers combine with each other to form objects and the combination of these layers is directly related to the extruder temperature (Bellehumeur et al., 2004). Extruder temperature affects the crystal structure of the material, creating an incomplete fusion process. Fluctuations in temperature adversely affect the fusion process (Yang et al., 2017). In addition, heat losses on the Aluminum Extruder Heat Block (AEHB) cause fluctuations in the extruder temperature and increase energy consumption. Therefore, it is very important to control the extruder temperature with high precision (Cojuhari et al., 2017).

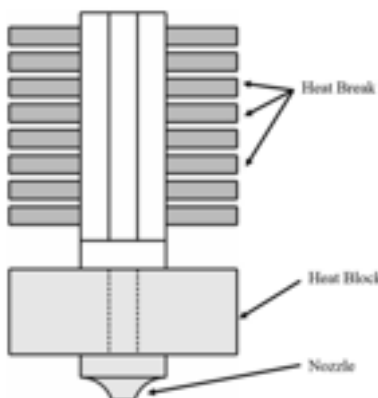


Figure 1. Extruder (Shah et al., 2019).

The distortions in printing quality caused by fluctuations in extruder temperature are shown in Fig. 2. Fig. 2a shows Curling or Rough Corners fault. This fault is caused by the extruder overheating or the printing material not cooling fast enough. The fault that occurred in Fig. 2b is Overheating. In this case, it is necessary to work at the correct balance between temperature and cooling. The effects of extruder temperature on printing quality are great and for a high quality printing, control of extruder temperature should be done well (Print Quality Guide, 2020).

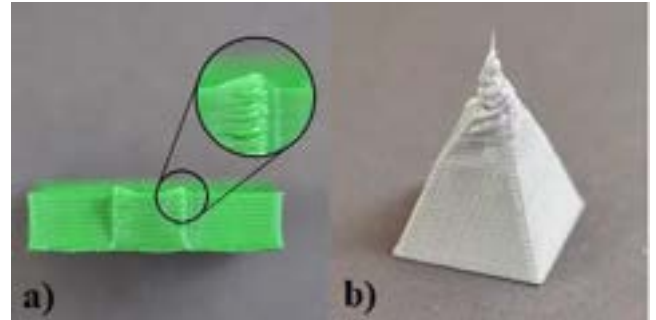


Figure 2. a) Curling or Rough Corners, b) Overheating (Print Quality Guide, 2020).

The aim of this study is to make thermal analysis by making different AEHB designs. Extruder temperature has a great effect on Fused Deposition Modeling (FDM). The heating of the extruder is carried out by the aluminum heat block. In this study, thermal analysis of three AEHB models was performed. One of the designs is the extruder heat block of a commercially available (Leapfrog creatr HS) 3D printer. Thus, two aluminum block designs were considered and thermal analysis of a commercial product was compared with two aluminum block designs because there is no study on AEHB thermal efficiency in the literature. Surface areas, average and total heat flux of the designs are calculated. The technological contribution of this study is to reduce heat losses on the extruder, prevent energy losses and increase printing quality. As a result of the thermal analysis, the parameters of the three models were compared and the design that caused the least heat loss was found.

## 2. Numerical Modelling of the Thermal Problem

The 2nd Law of Thermodynamics states that if there are two environments with a temperature difference between them, the heat will pass from the high temperature environment to the low temperature environment. The energy transition caused by the temperature difference between the two systems is defined as heat transfer. Heat can be transferred in three different ways: conduction, convection and radiation.

The heat transfer that occurs between a solid surface and the fluid in motion is called convection. Convection is divided into two categories according to flow type: forced convection and natural convection. In forced convection, fluid motion is caused by external factors such as a fan or pump. On the contrary, there is no fluid motion in natural convection. Forced convection and natural convection are shown in Fig. 3.

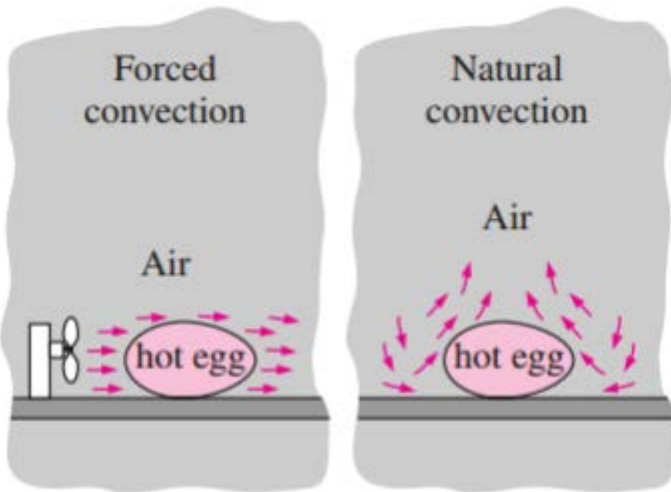


Figure 3. Forced convection and natural convection (Çengel & Ghajar, 2015).

In this paper, extruder models in an unforced air environment were created. Since there is no air flow, heat transfer occurs on the models by natural convection. The amount of heat transferred per unit time by convection is expressed as in Equation 1 with Newton's law of cooling.

$$\dot{Q} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (1)$$

Where,  $\dot{Q}$  : the heat flux (W), h: the convection heat transfer coefficient (W/m<sup>2</sup>.C), A: the surface area (m<sup>2</sup>), T<sub>s</sub>: surface temperature, T<sub>∞</sub>: temperature of the fluid.

When Newton's law of cooling is examined for convective heat transfer, it is seen that cooling depends on the temperature difference, surface area and heat transfer coefficient. Temperature difference and surface area affect the amount of heat transferred in direct proportion. It is known that increasing the surface area will cause to increase convection and heat transfer. Based on this principle, fins are used in cooling systems.

The aim of this simulation is to prevent the cooling of the system. When the convection equation is examined, it is seen that the cooling can be reduced by reducing the surface area. Static thermal analyses were made based on the surface area and it was aimed to reduce the average heat flux.

### 3. Designs of Extruder Aluminium Heat Block

Generally, rectangular prism geometry of AEHB is used in conventional and commercial 3D printers. The rapid heating of the 3D printers and the stability of their temperature during manufacturing increase the print quality. Three different extruder heater blocks were used in the simulations. First, the AEHB of a commercial product leap frog creatr HS model 3D printer is modelled and Fig. 4 shown the extruder heater model, which we call the classic design.

Based on the classical design, 2 AEHBs were designed. In new AEHB designs, surfaces and endpoints are reduced because heat transfer occurs from surfaces. The material of the new designs has been chosen aluminium to be the same as the classical design. Thus, only the effect of surface and end points on heat transfer was examined. New extruder designs are given in Fig. 5.

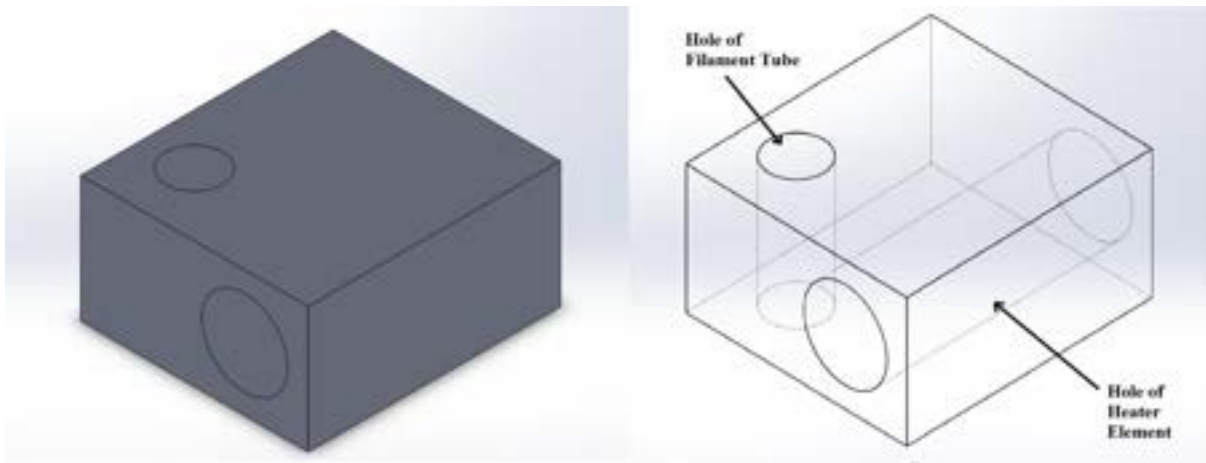


Figure 4. The classic design (extruder heater of leapfrog creatr HS 3D printer).

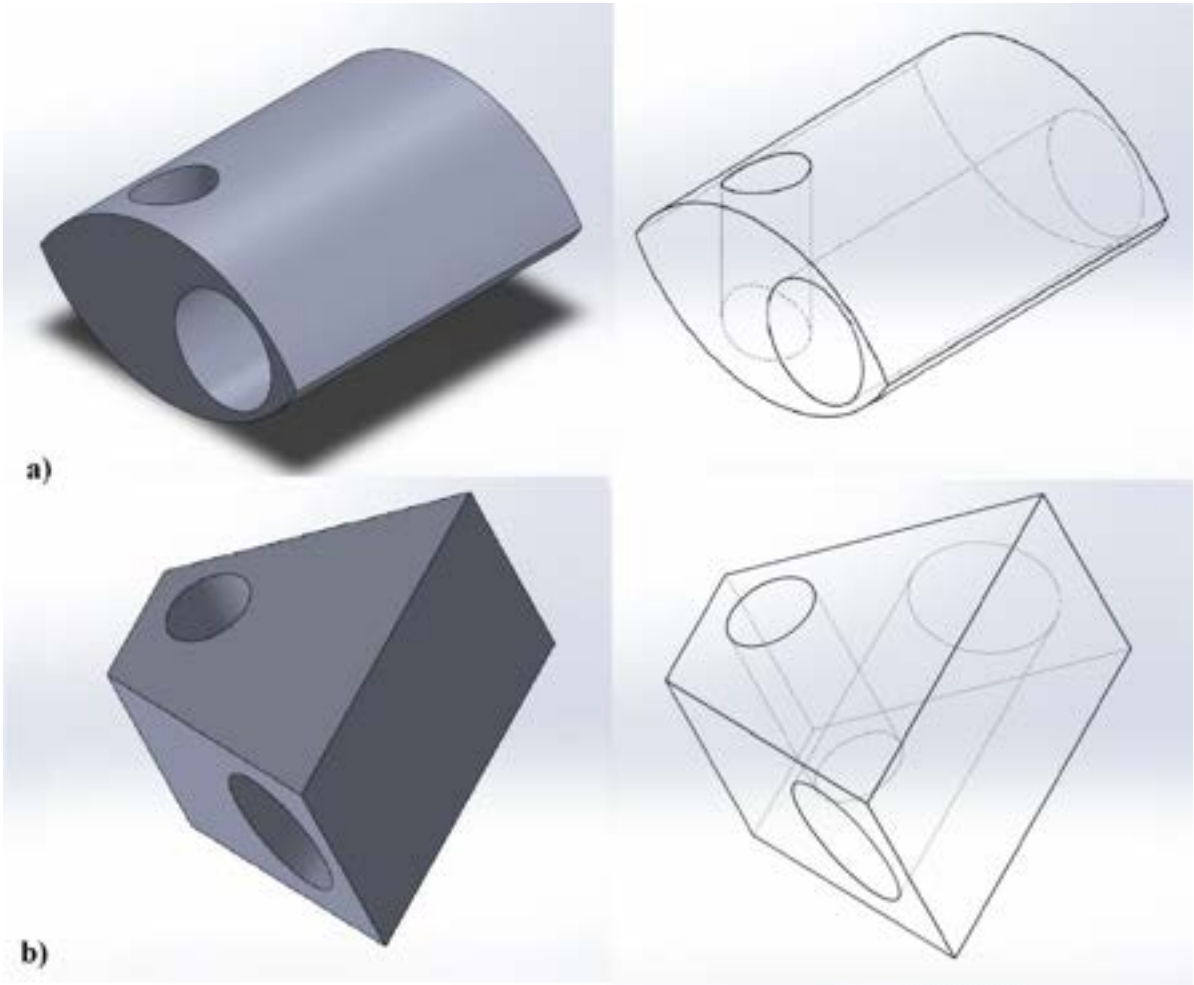


Figure 5. a) The design 1, b) The design 2.

#### 4. Simulation of Finite Element Method

ANSYS is an engineering software program to solve the problem of strength, toughness, elasticity, deformations, heat transfer, fluid flow, electromagnetism, etc (Belhocine & Bouchetara, 2012; Çayiroğlu et al., 2017; Recebli et al., 2016; Selimli et al., 2015; Selimli & Recebli, 2018). Most users prefer to the ANSYS Workbench system for simulations. After the weight, temperature and other physical properties of an object is defined, analyses such as temperature distribution, fluid flow are performed using ANSYS software and engineering information related to the problem is obtained.

The material of the two AEHB models has been selected from aluminium, which is the same as the classic model. In this case, the static thermal analysis of the three blocks can be compared with each other. The isotropic thermal conductivity of the material used is given in Fig. 6.

Before starting the simulation, the mesh of the designs was produced using the ANSYS ICEM CFG module. The purpose of mesh is to separate into small parts of a complex volume to easy simulate. Mesh is a network of elements and nodes. It can have almost any shape in any size. Mesh quality is very important for the reliability of the results. In the simulation, three different mesh structures are used: default, skewness and orthogonal quality mesh. Default meshing of the models is shown in Fig. 9.

The number of elements and nodes forming each meshing is given in Table 1.

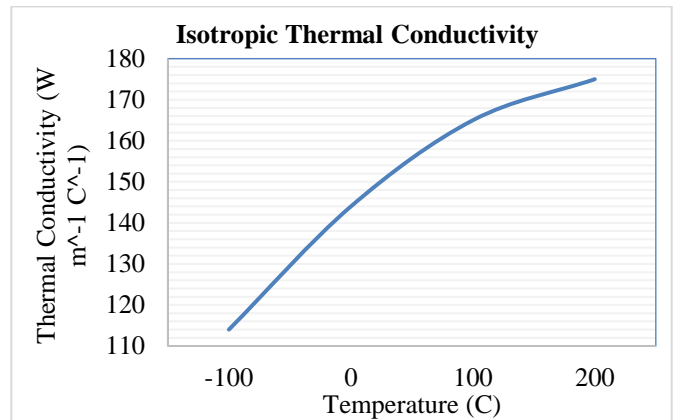


Figure 6. The isotropic thermal conductivity of aluminium.

The skewness is the difference between a cell shape and the shape of an equilateral cell of equal volume. The cells with high skewness affect the solution by reducing the accuracy. Fig. 7 is given the skewness mesh metrics spectrum. Spectrum is rated between 1 and 0. The values approaching 1 refer to the cells with high skewness and values close to 0 refer the density of cells with low skewness.

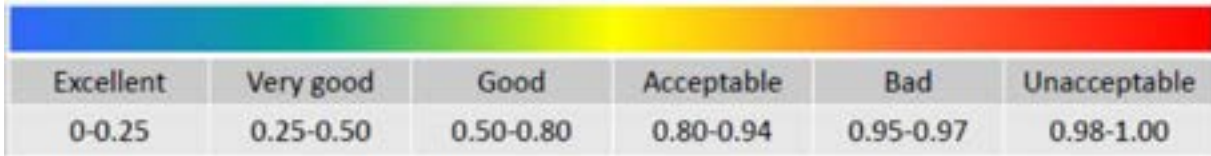


Figure 7. Skewness mesh metrics spectrum (Gök & Gök, 2020).

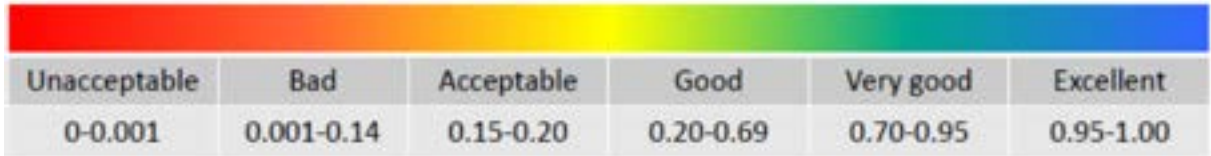


Figure 8. Orthogonal quality mesh metrics spectrum (Gök & Gök, 2020).

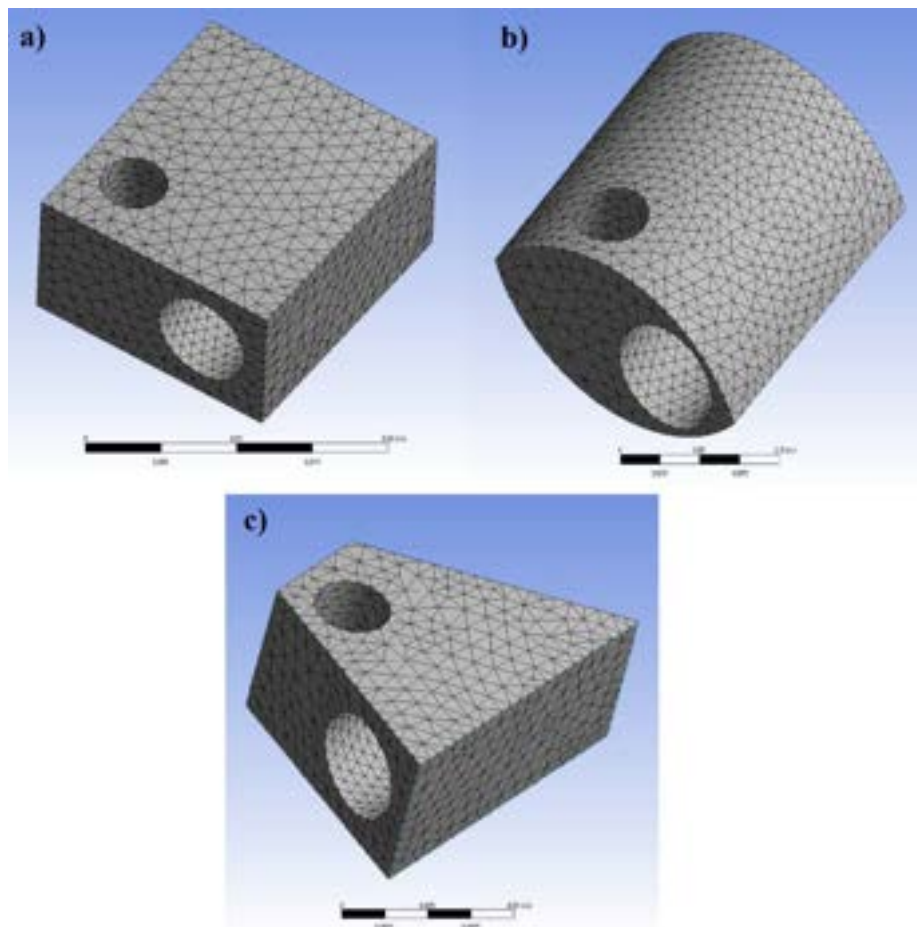


Figure 9. Default meshing of a) the classic model, b) the design 1 and c) the design 2.

Table 1. Number of elements of extruder heaters meshes.

	Default mesh		Skewness mesh		Orthogonal Quality mesh	
	The elements	The nodes	The elements	The nodes	The elements	The nodes
<i>The classic model</i>	10020	16951	10053	16957	5078	8851
<i>The design 1</i>	9439	16430	9463	16463	9463	16463
<i>The design 2</i>	7094	12307	7164	12373	7164	12373

The orthogonal quality defines as the angle between the vector connecting the centres of adjacent cells and the normal vector. The orthogonality is scaled from 0 to 1 as shown in Fig. 8. In the spectrum it is seen that the value of 1 is excellent and the values approaching zero, is the unacceptable.

The heater cartridge controlled by the control card is placed in the slot on the left side of AEHB and it is expected to keep the extruder heater at a certain temperature. In the simulation, this temperature was determined as 260 ° C. The temperature of the environment where the extruder works is set to 22 ° C. Static thermal analysis of the extruder heater under constant temperature will be carried out. There are two boundary conditions in this study:

- There is no air flow in the working environment of the extruder and the ambient temperature is 22° C.
- Extruder temperature is 260° C (for ABS material, it is 3D printer temperature).

### 5. Results and Discussion

The average heat flux in the extruder aluminium heat block will be carried out by taking account of designs. When the natural convection function is examined, it is seen that the temperature difference and the surface area increase the heat transfer as well as the thermal properties of the material. The

temperature regime of the extruder heater block must be maintained when the 3D printer reaches its operating temperature. Therefore, heat losses should be reduced the temperature of the extruder heater block. In this study, two new designs were created by changing the geometric structure of the AEHB in order to reduce heat losses. Surface areas have been reduced and surface temperatures have been changed by changing surface geometries. In this case, the heat flux over the block to the environment has been changed.

Fig. 10, Fig. 11 and Fig. 12 show the temperature variation for model and designs of the extruder blocks with each mesh. We also note that the temperature decreases in the direction of left plane to reach its minimal value for all meshes. Since the heater cartridge is placed in the hole on the right side of the AEHB, the temperature around this hole appears to be high. Considering the temperature distributions, it is seen that the temperature is low due to the high heat transfer on cold surfaces. In design 2, it is seen that the temperatures on the surfaces are lower than design 1 due to the intensity of cooling. As a result of rapid cooling, the extruder temperature decreases and thermal stability deteriorates. Depend on this result, the amount of energy consumed for heating increases. In addition, the fact that the volume to be heated is less in design 2 compared to other blocks, which reduces heat transfer.

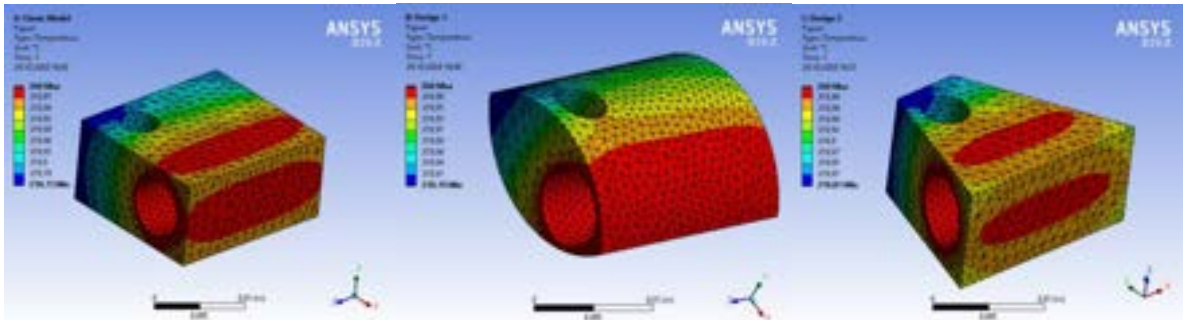


Figure 10. Temperature variation with default mesh for three extruder blocks.

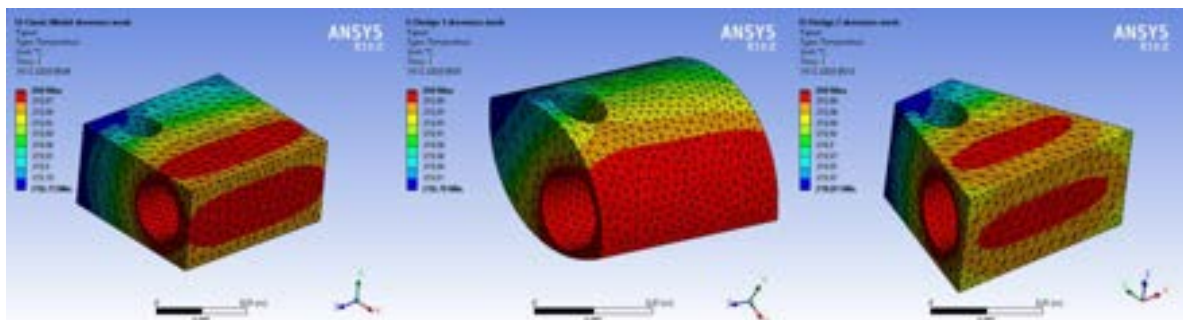


Figure 11. Temperature variation with skewness mesh for three extruder blocks.

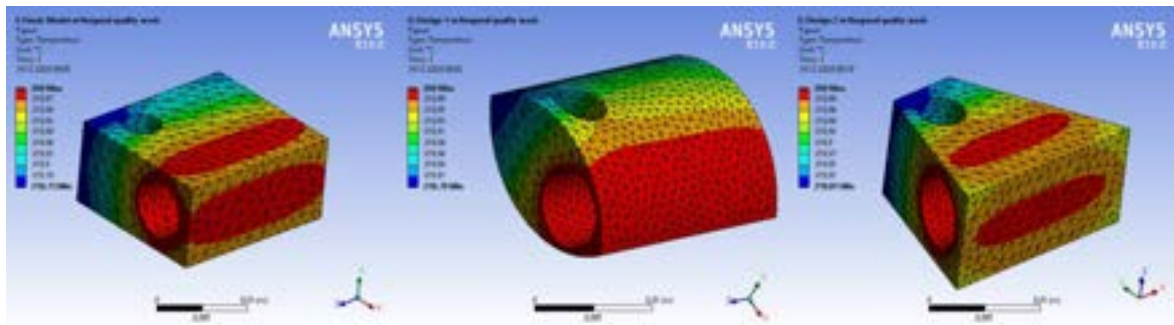


Figure 12. Temperature variation with orthogonal quality mesh for three extruder blocks.

Fig. 13, Fig. 14 and Fig. 15 show the total heat flux obtained as a result of the analysis of three blocks with each mesh. Considering the distribution of the total heat flux on the blocks, it is seen that the heat flux is less on the surfaces in design 1. In design 1, reducing the corner points prevents heat losses. In Fig. 16, the surface areas of the models and the average heat flux are given in a single graph. The design with the least surface area is

the second design, but the average heat flux of the first design is the lowest. The reason for this is that the heat in the core is closer to the cold surfaces due to the lower mass of the second design. In design 1, the temperature is maintained in the core as well as kept away from the cold outside environment. In addition, the number of corner points was reduced in the first design, as a result, heat transfer is reduced.

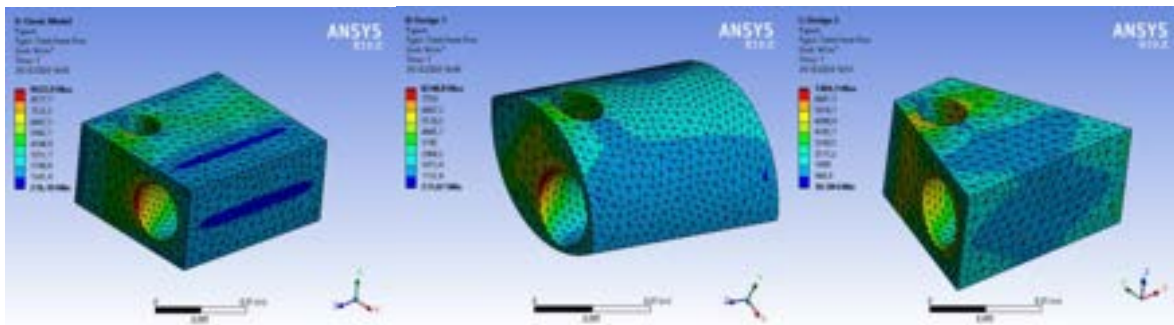


Figure 13. The total heat flux of the three models with default mesh.

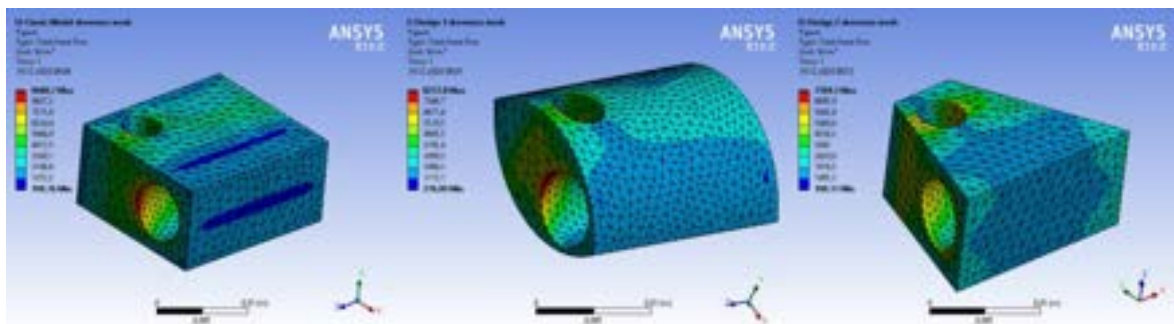


Figure 14. The total heat flux of the three models with skewness mesh.

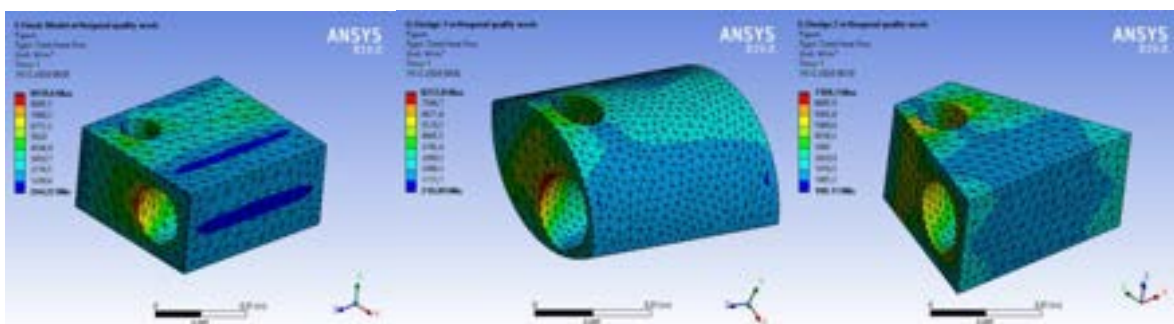


Figure 15. The total heat flux of the three models with orthogonal quality mesh.



In the graphic in Fig. 16, the analysis results obtained for each mesh structure and the surface areas of the blocks are given together. Table 2 shows numerical results for analysis and average values for skewness and orthogonal quality mesh structure. When Table 2 and Fig. 16 are evaluated together, it is seen that the result does not change much in different mesh types for design 1 and 2. The classic model gave different results in different mesh structures. The best result was given in orthogonal quality mesh structure, but the average value was found to be 0,67735. When the average value of skewness

(0,28612) and orthogonal quality mesh structures are evaluated with the spectrum in Fig. 7 and 8, it is found that the average value of skewness is closer to excellent. The best analysis result for the classic model was obtained with the skewness mesh structure. It was found that design 1 has an average heat transfer rate of 16,51% less and design 2 has an average heat transfer rate of 8,06% than the conventional AEHB. As a conclusion of the numeric simulation, it is seen that design 1 has the best thermal efficiency. In addition, both new designs were found to have better average heat flux than conventionally used AEHB.

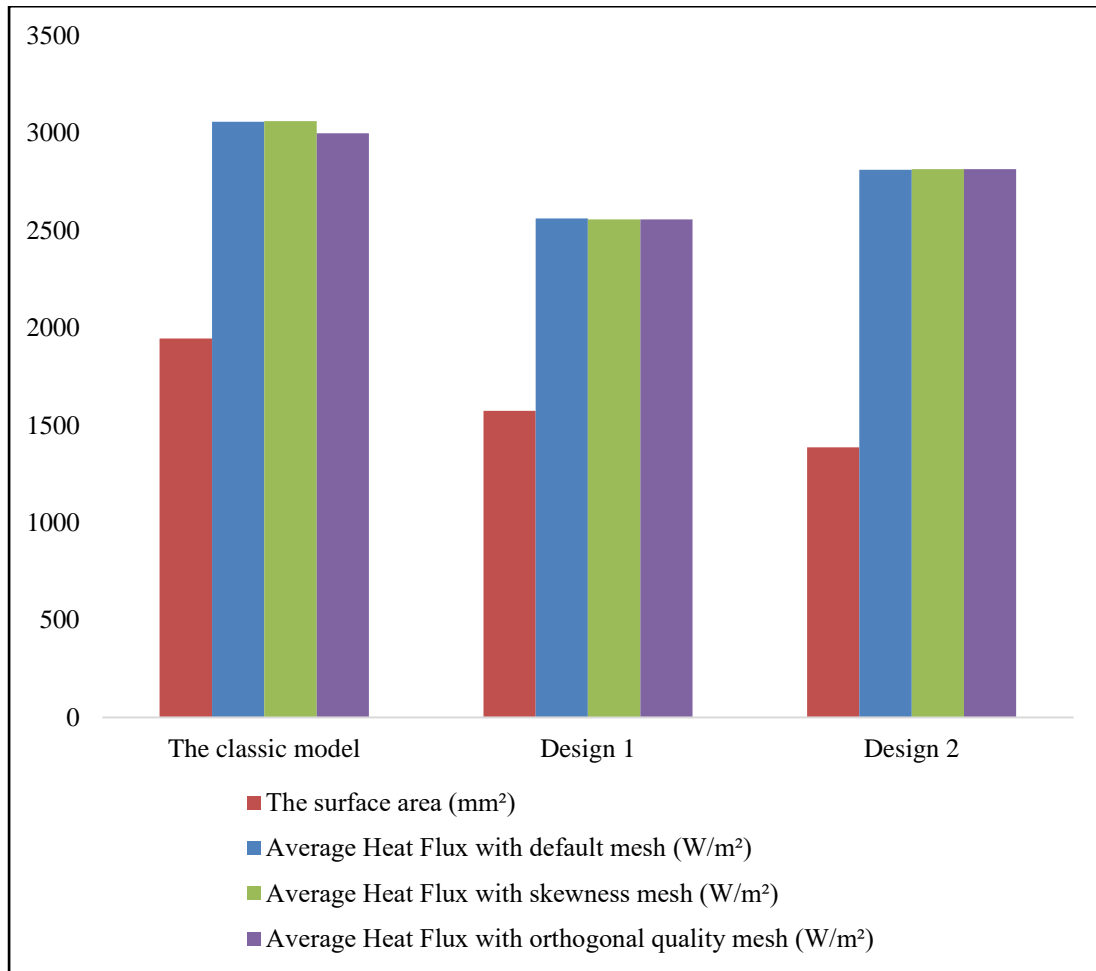


Figure 16. The surface area and the average heat flux for three blocks.

Table 2. The average heat flux (W/m<sup>2</sup>) for three blocks with three different mesh structures.

	Default mesh	Skewness mesh / an average value	Orthogonal Quality mesh / an average value
<i>The classic model</i>	3057,2	3061 / 0,28612	2998,3 / 0,67735
<i>The design 1</i>	2561,2	2555,6 / 0,28659	2555,6 / 0,71228
<i>The design 2</i>	2810,4	2814 / 0,2936	2814 / 0,70523

### 6. Conclusion

In this study, a numerical simulation of the thermal behaviour of AEHB designs was presented. By means the computer code ANSYS 19 was able to study the thermal behaviour of three AEHB. The effect of geometric shape on average heat flux has been investigated. Thermal behaviours of

two designs created in new geometries and thermal behaviour of conventional model were compared. The numerical simulation shows that geometric shape plays a very significant role in the average heat flux. It has been observed that thermal efficiency can be increased by 16,51 percent for design 1 and 8,06 percent for design 2 just by changing the geometric shape. The obtained results are very useful for rising the print quality by increasing the thermal stability of 3D printers.

The results obtained from the simulation show that the thermal efficiency of the new AEHB designs is high. The thermal analysis of AEHB used in a commercial product and the designs were compared and new designs were found to be more efficient. AEHB designs with high thermal stability will increase the printing quality of 3D printer technology and take it one step further.

## References

- Abbott, A. C., Tandon, G. P., Bradford, R. L., Koerner, H., & Baur, J. W. (2018). Process-structure-property effects on ABS bond strength in fused filament fabrication. *Additive Manufacturing*, 19, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.11.002>
- Belhocine, A., & Bouchetara, M. (2012). Thermal analysis of a solid brake disc. *Applied Thermal Engineering*, 32, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.08.029>
- Bellehumeur, C., Li, L., Sun, Q., & Gu, P. (2004). Modeling of bond formation between polymer filaments in the fused deposition modeling process. *Journal of Manufacturing Processes*, 6(2), 170–178. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(04\)70071-7](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(04)70071-7)
- Çayıroğlu, İ., Yıldırım, F., & Şahin, S. (2017). İnce Cidarlı Basıncılı Kapların Dış Yükler Altında Mekanik Davranışlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(December), 99–106.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*.
- Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., & Núñez, P. J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. *Materials and Design*, 124, 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>
- Cojuhari, I., Fiodorov, I., Izvoreanu, B., Moraru, D., & Botnaru, S. (2017). Automatic temperature control in 3D printing of the polymer details. *2017 11th International Conference on Electromechanical and Power Systems, SIELMEN 2017 - Proceedings*, 2017-Janua, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123287>
- Comminal, R., Serdeczny, M. P., Pedersen, D. B., & Spangenberg, J. (2018). Numerical modeling of the strand deposition flow in extrusion-based additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 20, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.013>
- Coppola, B., Cappetti, N., Maio, L. Di, Scarfato, P., & Incarnato, L. (2018). 3D printing of PLA/clay nanocomposites: Influence of printing temperature on printed samples properties. *Materials*, 11(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma11101947>
- Demir, H., & Coşgun, A. E. (2019). Comparison of PLA and ABS on Robot Arm Model and 3D Technology. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 6(8), 38–44. <http://www.ejaet.com/PDF/6-8/EJAET-6-8-38-44>
- Dizon, J. R. C., Espera, A. H., Chen, Q., & Advincula, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44–67. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>
- Enrique, L., & Vega-rios, A. (2019). Filament Extrusion and Its 3D Printing of Poly ( Lactic Acid ) / Poly ( Styrene- co - Methyl Methacrylate ) Blends. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app9235153>
- Gök, K., & Gök, A. (2020). Numeric Simulation of Effect on The CBN Cutting Tool Stresses of Austempering Process. *Journal of Polytechnic*, 23(1), 37–44. <https://doi.org/10.2339/politeknik.452739>
- Gregor-Sveteć, D., Leskovšek, M., Vrabič Brodnjak, U., Stankovič Elesini, U., Muck, D., & Urbas, R. (2020). Characteristics of HDPE/cardboard dust 3D printable composite filaments. *Journal of Materials Processing Technology*, 276(March 2019), 116379. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116379>
- Kariz, M., Sernek, M., Obućina, M., & Kuzman, M. K. (2018). Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*, 14(December 2017), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.016>
- McIlroy, C., & Olmsted, P. D. (2017). Disentanglement effects on welding behaviour of polymer melts during the fused-filament-fabrication method for additive manufacturing. *Polymer*, 123, 376–391. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.06.051>
- Osswald, T. A., Puentes, J., & Kattinger, J. (2018). Fused filament fabrication melting model. *Additive Manufacturing*, 22(April), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.04.030>
- Peng, F., Vogt, B. D., & Cakmak, M. (2018). Complex flow and temperature history during melt extrusion in material extrusion additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 22(May), 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.05.015>
- Print Quality Guide*. (2020). <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/curling-or-rough-corners/>
- Recebli, Z., Gedik, E., & Selimli, S. (2016). Electrical field effect on three-dimensional magnetohydrodynamic pipe flow: A CFD study. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 16(4), 261–270. <https://doi.org/10.1504/PCFD.2016.077293>
- Selimli, S., & Recebli, Z. (2018). Impact of electrical and magnetic field on cooling process of liquid metal duct magnetohydrodynamic flow. *Thermal Science*, 22(1), 263–271. <https://doi.org/10.2298/TSCI151110147S>
- Selimli, S., Recebli, Z., & Arcaklioglu, E. (2015). MHD numerical analyses of hydrodynamically developing laminar liquid lithium duct flow. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(44), 15358–15364. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.02.020>
- Shah, J., Snider, B., Clarke, T., Kozutsky, S., Lacki, M., & Hosseini, A. (2019). Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04074-6>
- Singh, R., Singh, G., Singh, J., & Kumar, R. (2019). Investigations for tensile, compressive and morphological properties of 3D printed functional prototypes of PLA-PEKK-HAp-CS. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. <https://doi.org/10.1177/0892705719870595>
- Song, Y., Li, Y., Song, W., Yee, K., Lee, K. Y., & Tagarielli, V. L. (2017). Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA. *Materials and Design*, 123, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.051>

- Turner, B. N., & Gold, S. A. (2015). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Materials, dimensional accuracy, and surface roughness. *Rapid Prototyping Journal*, 21(3), 250–261. <https://doi.org/10.1108/RPJ-02-2013-0017>
- Turner, B. N., Strong, R., & Gold, S. A. (2014). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*, 20(3), 192–204. <https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2013-0012>
- Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J. K., & Little, S. H. (2017). Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 10(2), 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Yang, C., Tian, X., Li, D., Cao, Y., Zhao, F., & Shi, C. (2017). Influence of thermal processing conditions in 3D printing on the crystallinity and mechanical properties of PEEK material. *Journal of Materials Processing Technology*, 248(May), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.04.027>



# Machine Learning-based Natural Language Processing for Turkish Venue Recommendation Chatbot Application

Gorkem Toprak<sup>1</sup>, Jawad Rasheed<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering, Istanbul Aydın University, Istanbul 34295, Turkey, [gorkemtoprak99@gmail.com](mailto:gorkemtoprak99@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Department of Computer Engineering, Nişantaşı University, Istanbul 34398, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3761-1641), [jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr](mailto:jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 17 Mayıs 2022 ve Kabul Tarihi 28 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1117635)

**ATIF/REFERENCE:** Toprak, G. & Rasheed, J. (2022). Machine Learning-based Natural Language Processing for Turkish Venue Recommendation Chatbot Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 501-506.

## Abstract

In recent years, mobile applications occupy an important place in our lives. Thanks to machine learning and the chatbots advancements, people can easily access the information they want or the things they need. Our purpose in this study is that users can access detailed information about the main venues of Istanbul from a single application, access their menus and photos, read the blog posts written by gourmets about these restaurants, show nearby venues according to their instant location, and to gather young gourmets chasing different tastes under a single application by developing a Turkish chatbot that can find the most suitable venues according to users' wishes or offer suggestions about venues to visit. In order to evaluate our application, we tested it on both Android and iOS platforms and achieved successful results on two platforms.

**Keywords:** Foods, Venues, Places, Smartphones, Android, iOS, Chatbot, Flavor Hunter.

## Türkçe Mekan Öneri Chatbot Uygulaması için Makine Öğrenimi Tabanlı Doğal Dil İşleme

### Öz

Son yıllarda mobil uygulamalar hayatımızda önemli bir yer tutmaktadır. Mobil uygulamalar ve içerdikleri chatbotlar sayesinde kişiler istedikleri bilgilere veya ihtiyaç duydukları şeylere kolaylıkla ulaşabilmektedir. Bu çalışmadaki amacımız, kullanıcıların tek bir uygulamadan İstanbul'un belli başlı mekanları hakkında detaylı bilgiye ulaşabilmeleri, menülerine ve fotoğraflarına ulaşabilmeleri, gurmelerin bu restoranlar hakkında yazdıkları blog yazılarını okuyabilmeleri, yakındaki mekanları anlık konumlarına göre gösterebilmeleri ve kullanıcıların isteklerine göre en uygun mekanları bulabilen veya gidilecek mekan önerilerini sunabilen bir Türkçe chatbot geliştirerek farklı tatlar peşinde koşan genç gurmeleri tek bir uygulama altında toplamak. Uygulamamızı değerlendirmek için hem Android hem de iOS platformlarında test ettik ve iki platformda başarılı sonuçlar elde ettik.

**Anahtar Kelimeler:** Yemekler, Mekanlar, Akıllı Telefonlar, Android, iOS, Chatbot, Lezzet Avcıları.

\* Corresponding Author: [jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr](mailto:jawad.rasheed@nisantasi.edu.tr)

## 1. Introduction

Today, with the effect of the pandemic, people's desire to eat tasty but hygienic food and drink in quality places has reached an important dimension. The pandemic has greatly affected all food service businesses and they have closed their shops for a long time. This mobile application has been developed to bring together young gourmets who have adopted the food and beverage culture and to help places even if it is small.

While the number of smartphone users has exploded, in 2021, technology research firms invested \$1.5 trillion in digital transformation technologies, with estimates that this figure will rise to \$1.8 trillion by 2022 (Samuels, 2022). In addition to this, innovative apps may now be applied in a variety of ways thanks to smartphone technology. Researchers developed various applications such as smart attendance (Rasheed et al., 2019) and blood donation system (Fahim et al., 2016) to provide hustle-free management. In the past, people had to go to more than one website to get information about restaurants and they spent a long time. However, thanks to Lezzet Avcilari, people will be able to get detailed information about the restaurants in the Istanbul region via their mobile phones and see the restaurants close to them on the map.

The Lezzet Avcilari application is a social media platform, but an application whose main subject is restaurants-spaces. In this application, people will be able to get detailed information about restaurants in Istanbul, see the atmosphere, menus, and comments made by other users, and save the current restaurant, and if they want, they will be able to read blog posts written by gourmets about that restaurant. Users will be able to register and log in to the application in a very simple way. If the user has entered his email and password correctly, the application will redirect him to the main screen. On the home screen, users will be able to access the trending restaurants according to their weekly scores, access the categories and reach the restaurants in that category, and finally, read the featured articles written by gourmets. They will be able to access all the restaurants in the application from the venues page and click to reach the page with detailed information about the restaurant. They will be able to access the restaurants nearby with the map on my nearby screen and, if they wish, they will be able to examine the region in more detail by switching between the places on the map. On the blog screen, they will be able to read the articles written by gourmets about restaurants and if they liked the article, they will be able to press the like button and leave feedback. On the profile page, users will be able to access the restaurants he has returned to, edit their profile, see the restaurants he has saved and access the settings of the application. In addition, users will be able to message each other through the application, so that young gourmets will be able to recommend quality places to each other and stay in constant communication. If one of the users who are messaging is not active in the application, they will be able to receive notifications with the message sent by the sender. And they will be able to access this notification they receive by accessing the notifications page on the main page. They will also be able to receive notifications of trending restaurants or new blog posts thanks to firebase cloud messaging within the application. Lastly, users will be able to get information about restaurants thanks to the bot on the home page, so they will not need to switch to more than one page, more precisely, users will be able to communicate with the robot

via a mobile application and determine the region and venue features in line with their preferences.

Most artificial intelligence systems have long-term aims of understanding humans and engaging with them to make their lives simpler (Wu et al., 2020). These are services that operate in a specific region and provide skilled technical solutions for certain business sectors. Recommendation systems that focus on people today provide the most logical choices to users by evaluating data from many sources in a variety of industries, including e-commerce, education, and health. Artificial intelligence-based systems speed up the finding of the best techniques and contents, especially when enormous volumes of data are accessible (Wen et al., 2015).

This mobile application, it is aimed to develop a Turkish chatbot that provides information and suggestions about food places in Istanbul. The task-oriented chatbot (Akma et al., 2018) is designed to provide both automatic and interactive written responses to user queries in Turkish using natural language processing and deep learning methods (Elifoglu & Gungor, 2018). By communicating with the chatbot through a mobile application, users can determine the region and venue features according to their preferences. It will provide a more user-friendly service to consumers via chatbot (due to conversation functionality). The places to be visited would satisfy consumers' expectations due to the exact choices that may be specified ahead of time (Keeble et al., 2020). Customers and venues benefit economically and socially from these types of apps. Instead of spending time researching to find a dining venue, people would save this time to do something else. Furthermore, clients from various places would be able to communicate globally. Although the application will keep some personal data (such as location, socio-economic status, etc.), we don't anticipate any direct legal impact.

When we examine the use case of the study, people seeking eating places can benefit from a more helpful system that integrates with booking, travel, and food-ordering sites (Kim et al., 2020). It may be used as a stand-alone application to quickly investigate meal options. On the other hand, When we examined the success criteria of the study, we thought that we could obtain the following items:

- A dialogue system that helps users feel as though they're conversing with real individuals.
- Generating human-like phrases
- Users are guided appropriately and accurately by the chatbot system.
- Retrieval of a collection of meal options based on the preferences of the users.

The rest of the paper is divided into four sections. Section 2 outlines the relevant applications. Section 3 describes the suggested design and implementation details along with test results. Finally, Section 4 concludes the paper.

## 2. Materials and Methods

In this section, we are going to discuss the methods and frameworks we used in this study.

### 2.1. Dialogflow

Dialogflow is Google's natural language understanding tool, which allows your chatbot to comprehend language. Dialogflow

tries to comprehend the user's intent based on the training sentences you provide. Dialogflow knows how to automatically react to inquiries from your users based on those training phrases. It was first released as an API. All of the capabilities you'd expect are included in Dialogflow, including:

- The ability to extract user intents from each given speech using natural language processing (NLP).
- Machine learning is used to educate your bot to provide increasingly useful replies.
- Scalability is achieved by using Google services that are close by. Google Cloud Platform is where Dialogflow is hosted.
- Integration with a variety of chat applications and messaging systems.

### 2.1.1. Intents

During a communication, an intent categorizes a user's intent. Several purposes can be assigned to each agent. Dialogflow intents will match the end-user phrase with the best intent in your tool when the user speaks something called an end-user expression. Goal categorization is another name for goal matching. An example of the intents in our study is given in Figure 1.



Figure 1. Simple dialogflow intent's structure

### 2.1.2. Training Phrases

End-user expressions, often known as training phrases, are hypothetical phrases that end-users could write or utter. We may phrase the same thing in a variety of ways, but it all refers to the same duty. For instance, if we want to find a restaurant to dine at, we may say, "List me the nearby restaurants or, if I'm hungry, please advise a place where I can eat". These are known as training expressions, and they are used to fit the user's wishes, as shown in Figure 2.

☞	günaydin
☞	hey
☞	nasılsın
☞	selam haber
☞	merhabalar
☞	selamtar
☞	selam
☞	Merhaba

Figure 2. Training phrases of the project

### 2.1.3. Responses

We need to get back to the user when we've completed all of the processes. We use responses to provide this feedback, as shown in Figure 3. In the dialog flow console, we may set up several replies. Platform-specific responses can also be configured.



Figure 3. Responses of the study

## 2.2. Seq2Seq Learning Method

While researching the proposed approaches, we found a method that can be useful to us. The name of this method we found was the Seq2Seq learning method. The seq2seq learning approach is the answer for sentence creation. Two components are employed in the seq2seq model: encoder and decoder. Figure 4 depicts the architecture of seq2seq. The encoder receives the user's input sequence and passes it to the decoder. It seeks to forecast the next step for each step based on the sequences generated up until that point. The decoder creates an output sequence based on the data it receives. The input is not restricted to the length of the output in the solution procedure. The lengths of the input and output sequences might be variable. In addition, if the system's input sequence is too lengthy, the system may fail. To avoid this, RNN structures are utilized, and each step of the encoder sequence is saved in a vector. This vector will be transmitted to the decoder when the encoder section is completed.

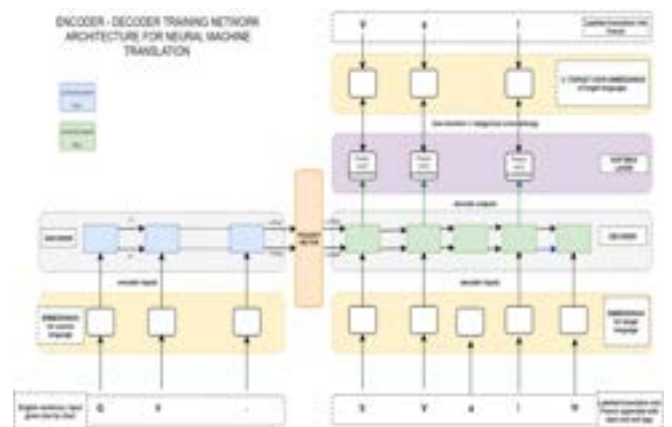


Figure 4. Architecture of Seq2Seq method

## 2.3. Flutter

The interactive mobile user interface is implemented via Flutter. Flutter is a suite of user interface tools from Google that lets you build engaging, embedded apps for mobile, website, desktop, and embedded devices with a single codebase. Flutter is a cutting-edge framework you can feel! It's a lot easier to construct mobile apps with it. The documentation for Flutter has a lot to offer, and it's all fairly extensive with easy examples for basic use cases. To the question of why we should use flutter, it is explained in short as follows:

- You can publish on 2 platforms with a single code system, that is, it provides development experience on a single platform for iOS and Android.

- Good documentation is essential for getting started with new technology. You can learn a lot from Flutter's tutorial library and it's all very insightful and meaningful with easy examples for basic use cases.
- By using Flutter's system, you can get useful and nice-looking structures.
- Thanks to the Hot-Reload feature, you can see the changes you have made to the code on your application in a short time.

More detailed information about it can be found in the next section.

### 3. Results and Discussion

The results we have obtained as a result of the work we have carried out are listed separately below.

#### 3.1. Tests/Results of the Chatbot

The performance assessment models generated phrases that were identical, comparable, or wholly different from the content expressions provided in the venue descriptions. Figure 5 shows some examples of correct and erroneous sentences generated by the natural language generation component.



Figure 5. Correct and incorrect sentences

Furthermore, the sentences with errors were generated by the model. These mistakes can be divided into two categories. The structure and content of the first wrong statement are accurate, however, the field values in the sentence are incorrect in the conversation act. There are structural and contextual issues with the second wrong sentence. Delexicalization is done on the input dialogue acts before forwarding to the natural language generation component to overcome these issues (Li et al., 2018). Figure 6 shows the natural language understanding component's projected purpose and entities for a text. The component forecasts the top intent, as well as its entities and other potential intentions, and examples of discussion flow with user statements and chatbot behaviors.

Figure 7 shows examples of discussion flows with user statements and chatbot behaviors. Also, below are examples of both good and bad conversations. As the bad dialogue demonstrates, the chatbot can reply to unconnected sentences. We are going to work on the training set and the technology to increase the chatbot's accuracy.



Figure 6. Proposed application dialog workflow

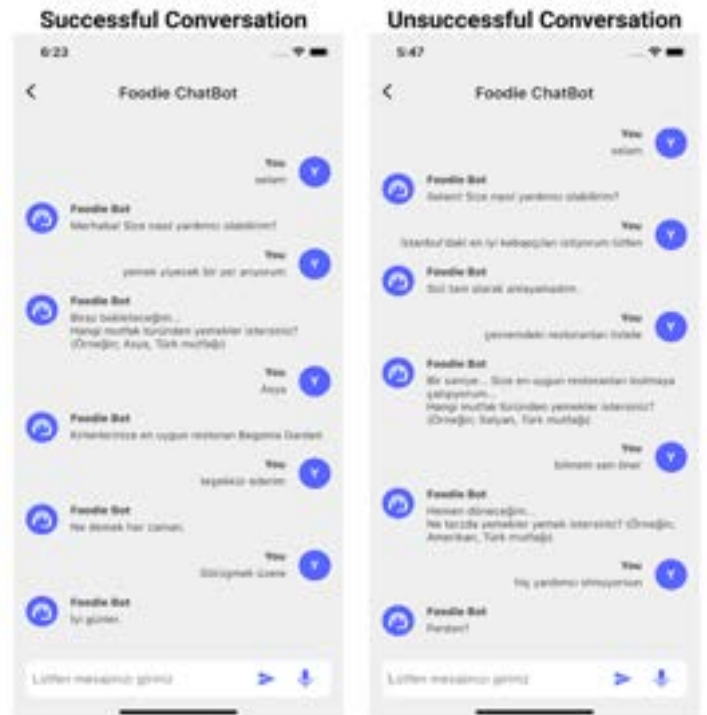


Figure 7. Successful and unsuccessful conversation

#### 3.2. Tests/Results of the Mobile Application

When designing a mobile app project, tests are conducted to verify or validate whether it meets user needs. For these and other reasons, mobile app testing is critical. It is critical to test mobile apps to ensure that they function properly. Manual or automated testing of the application on mobile devices is possible. The lower the quality of a mobile application means that the less fixed code is written on the device, the better it is. In other words, if the dependency is fully dependent on your service layer and managed from here according to the changes, the application will be quite manageable. An authentication module, a restaurant review module, creating a new restaurant feedback module, a map module, review blogs, and chat are all included in the test plan.

flow of the application and have been faithfully advanced in design.



Figure 8. Successful and unsuccessful conversation

The mobile application is very simple to use. Users do not need any technical information; all they need to do is to get information about the restaurants they are interested in, whether through a smart chatbot or by navigating through the application. Many users can log in and use the application simultaneously. For users to communicate with the smart chatbot, it is expected that they will first send a message. Because this bot, which has been trained, prepares its answers according to the messages written by users. If the chatbot does not understand the message written by the user, in this case, it responds by entering the fallback intent and telling the user that the fallbacks it has received are like "I don't understand, please repeat". And lastly, the implementation is highly flexible and fault-tolerant, also scalable in the future, and easy to maintain and add new features.

### 3.3.2. Chatbot

Chatbots are a sort of computer software that mimics and processes human speech (Akma et al., 2018), allowing users to converse with digital devices as if they were conversing with actual people. Chatbots can range from simple programs that can always respond to a simple question with a one-line response to digital assistants that learn and grow as they collect and analyze data. Chatbots follow a set of restrictions that limit their ability to reply to specific predetermined words or orders that have no meaning. As a result, if you don't utilize the suitable term while interacting with the bot, the chatbot may get stumped and react with "sorry, I don't understand, please repeat" responses. You may converse with chatbots as if they were actual people since they are powered by artificial intelligence. Because artificial intelligence allows them to comprehend the language and reply appropriately. Furthermore, chatbots get smarter over time as they learn something from each interaction with users. Besides, the Dialogflow framework is used to create the chatbot. To train the chatbot, a dataset was created from human-annotated Turkish conversational data in the restaurant reservation domain (Ofłazer & Saraçlar, 2018). Task-oriented (declarative) chatbots are one-purpose systems that specialize in a specific task. They create replies to user inquiries using rules, NLP, and a small amount of machine learning. Interactions with these chatbots are particularly well-structured. Task-oriented chatbots may answer typical queries in everyday life, such as questions regarding basic procedures. These are the most popular chatbots right now. As there are no Turkish dialogs available to train a dialog management component, we first examine the E2E dialog dataset of Turkish dialogs in the domain of the venue (Sharma et

- The authentication module will be the focus of the first test. The goal of the test is to ensure that none of the authentication processes fail. Users must double-check their email addresses and passwords.
- The second test will primarily focus on the process of users receiving restaurant reviews. The goal of the test is to guarantee that the user receives a unique result. Users will see a restaurant list that includes information such as the restaurant's name, photos, menus, and operating hours
- The third test will mainly test the module for generating feedback by users on the restaurant's detail screen.
- The fourth test will test whether users can view restaurants within the application via a Google Maps module. Users will be able to see a restaurant list that includes information such as the restaurant's name, photos, rates, and phone numbers.
- The fifth test will essentially test whether users can access blogs written by gourmets.
- The last test will test whether users can message privately, whether the message is read or not, and whether a notification is sent by the message user.

### 3.3. Discussion on Working of Proposed Approach

After researching the issues in the related works and techniques mentioned in the previous section, we recommended the architecture of the mobile application in Figure 8. We have divided the architecture into 3 main parts, taking into account the hardware requirements, the demands of the application development platform for smartphones, interaction, and task-oriented chatbots. These 3 main parts are; mobile application, chatbot-oriented chatbot, and database. oriented chatbots.

#### 3.3.1. Mobile Application

The system interacts with users via a mobile application (Vinaik et al., 2019). The mobile application is implemented in Flutter/Dart. Users interact with our stylish and design-friendly mobile application that displays a list of restaurants to access the details of their dining venues and for reliable information. Users are required to register when they first download the application. Registration and login processes are quite simple. Those who have successfully logged in can start using our modern and aesthetic application, try restaurants and dishes of different cultures, communicate with a task-oriented chatbot, read blog posts and message different users. Venues that match the user's choices are gathered and shown on a map based on the preferences obtained through the mobile app. Users may traverse the map and set their search criteria, as well as read one-sentence descriptions of locations (Isabela et al., 2018). Moreover, all of the screens are carefully linked with each other to understand the



al., 2021). We compile and implement training data for our chatbot by examining these provided dialogues and extracting dialogues other than the purpose of our application.

### 3.3.3. Database

The application's database is built on Firebase. Firebase is a NoSQL cloud storage solution for collections and documents. Because the application must adapt to a variety of use cases, it is well suited for usage as the application database. This is not the case with a structural database like a SQL database. Cloud Firestore is essentially a cloud-hosted NoSQL database for storing and synchronizing data. It, like Firebase Realtime Database, uses real-time listeners to keep the data in sync across client apps and provides offline support for mobile and web, allowing you to create responsive apps that run regardless of network latency or Internet access. Firestore is used to store all the data of the user account, restaurants, blogs, comments, and chats. Firebase Cloud Storage is utilized to store larger files such as photos and videos. Cloud storage is utilized in the mobile application to save all of the photographs of users, and restaurants to store images. Moreover, it is preferred for security reasons provided by Google when uploading or downloading files from our Firebase-connected applications.

## 4. Conclusion

This study highlights our attempts to create a task-oriented conversation system in Turkish for venue recommendation. The Dialogflow framework is used to create natural language comprehension and conversation management components. People nowadays have a difficult time deciding where to eat depending on their unique tastes. The main purpose of this study is to provide a user-friendly, human-like agent that interacts with people to solve the time-consuming problems people face and find places to eat. It will be an innovation for both individuals and restaurants to develop an application that tackles this problem. Also, another purpose of the study is to provide a little help to places that have been closed for a long time due to the pandemic. Lastly, The mobile application has been developed and tested on actual devices and within the internet context, it functions without a hitch. This is only a beta version, and there will be more updates in the future.

## References

- Akma, N., Hafiz, M., Zainal, A., Fairuz, M., & Adnan, Z. (2018). Review of Chatbots Design Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 181(8), 7–10. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917606>
- Elifoglu, M., & Gungor, T. (2018). A restaurant recommendation system for Turkish based on user conversations. *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404153>
- Fahim, M., Cebe, H. I., Rasheed, J., & Kiani, F. (2016). mHealth: Blood donation application using android smartphone. *2016 Sixth International Conference on Digital Information and Communication Technology and Its Applications (DICTAP)*, 35–38. <https://doi.org/10.1109/DICTAP.2016.7543997>
- Isabela, E., Drona, J., Fadhilah, N., Tanoto, D. F., Harefa, J., Prajena, G., Chowanda, A., & Alexander. (2018). NYAM: An e-ISSN: 2148-2683

- Android Based Application for Food Finding Using GPS. *Procedia Computer Science*, 135, 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.189>
- Keeble, M., Adams, J., Sacks, G., Vanderlee, L., White, C. M., Hammond, D., & Burgoine, T. (2020). Use of Online Food Delivery Services to Order Food Prepared Away-From-Home and Associated Sociodemographic Characteristics: A Cross-Sectional, Multi-Country Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5190. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145190>
- Kim, H., Jung, S., & Ryu, G. (2020). A Study on the Restaurant Recommendation Service App Based on AI Chatbot Using Personalization Information. *International Journal of Advanced Culture Technology*, 8(4), 263–270. <https://doi.org/10.17703/IJACT.2020.8.4.263>
- Li, X., Wang, Y., Sun, S., Panda, S., Liu, J., & Gao, J. (2018). *Microsoft Dialogue Challenge: Building End-to-End Task-Completion Dialogue Systems*. <http://arxiv.org/abs/1807.11125>
- Oflazer, K., & Saraçlar, M. (Eds.). (2018). *Turkish Natural Language Processing*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90165-7>
- Rasheed, J., Alimovski, E., & Rasheed, A. (2019). mManagement: Wi-Fi Hotspot based Attendance Application using Android Smartphone. *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/UBMYK48245.2019.8965588>
- Samuels, M. (2022). *What is digital transformation? Everything you need to know about how technology is changing business*. Zdnet. <https://www.zdnet.com/article/what-is-digital-transformation-everything-you-need-to-know-about-how-technology-is-reshaping/>
- Sharma, R., Dhir, A., Talwar, S., & Kaur, P. (2021). Over-ordering and food waste: The use of food delivery apps during a pandemic. *International Journal of Hospitality Management*, 96, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.102977>
- Vinaik, A., Goel, R., Sahai, S., & Garg, V. (2019). The Study of Interest of Consumers In Mobile Food Ordering Apps. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(1), 3424–3429. <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i1/A9219058119.pdf>
- Wen, T.-H., Gasic, M., Mrkšić, N., Su, P.-H., Vandyke, D., & Young, S. (2015). Semantically Conditioned LSTM-based Natural Language Generation for Spoken Dialogue Systems. *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1711–1721. <https://doi.org/10.18653/v1/D15-1199>
- Wu, C.-S., Hoi, S. C. H., Socher, R., & Xiong, C. (2020). TOD-BERT: Pre-trained Natural Language Understanding for Task-Oriented Dialogue. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 917–929. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.66>



# Aydın İlinde Tüketime Sunulan Marullarda *E. coli* O157:H7 Varlığının Araştırılması

Nalan Turgut<sup>1\*</sup>, Osman Kaya<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Nalan Turgut, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye, ORCID: 0000- 0001- 5099-5024),  
ncubukcu@gmail.com

<sup>1</sup> Osman KAYA, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye, okaya@adu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 5 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 29 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141099)

**ATIF/REFERENCE:** Turgut, N., Kaya, O. (2021). Aydın İlinde Tüketime Sunulan Marullarda *E. coli* O157:H7 Varlığının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 507-513.

## Öz

Bu çalışmada Aydın ilinde bulunan semt pazarlarından ve marketlerden alınan marul örneklerinde ilk kez *Escherichia coli* O157:H7 varlığı araştırılmış, izolasyon ve identifikasyon çalışmaları yapılmıştır. Toplum sağlığı açısından önemi olan *E. coli* O157:H7'nin gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalardan birisi olması sebebiyle, söz konusu patojenin yaygınlığı ve bulaşıklık durumu ile benzer iklim özelliklerine sahip olan bölgeler için önemli bir veri kaynağı oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında semt pazarlarından ve marketlerden alınan toplam 100 adet marul örneklerinin izolasyon ve identifikasyon çalışmaları sonucunda örneklerin tümünden toplam 17 (%17) adet *E. coli* O157:H7 izole ve teşhisi yapılan, patojenlerin 12 (%12) adedi pazarlardan, 5 (%5) adedi ise marketlerden alınan örneklerden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda pazar ve marketlerden satın alınan marul örnekleri *E. coli* O157:H7 varlığı açısından risk teşkil ederken konu ile ilgili olarak yetiştirme, gübreleme, sulama, taşıma ve depolama aşamalarında bulaşmayı engelleyici önlemlerin alınması gerektiği konusu vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *E. coli* O157:H7, marul, kontaminasyon.

## Investigation of *E. coli* O157:H7 Presence in Lettuce Served for Consumption in Aydın Province

### Abstract

In this study, the presence of *Escherichia coli* O157:H7 was investigated for the first time in lettuce samples taken from the neighborhood markets and markets in Aydın, and isolation and identification studies were carried out. Since *E. coli* O157:H7, which is important for public health, is one of the food-borne pathogenic microorganisms, it is aimed to create an important data source for regions with similar climatic characteristics with the prevalence and contamination status of the pathogen. As a result of isolation and identification studies of 100 lettuce samples taken from neighborhood markets and markets, a total of 17 (17%) *E. coli* O157:H7 samples were isolated and identified from all samples, 12 (12%) of pathogens were from markets, 5 (5%) were obtained from samples taken from the markets. In line with the results obtained, it was stated that while the lettuce purchased from markets and markets poses a risk in terms of the presence of *E. coli* O157:H7, it is stated that preventive measures should be taken in the stages of cultivation, fertilization, irrigation, transportation and storage.

**Keywords:** *E. coli* O157:H7, lettuce, contamination.

## 1. Giriş

İnsan beslenmesinde taze sebze ve meyve tüketimi, vitamin ve mineral değerleri bakımından zengin olmaları nedeniyle önemli bir yere sahiptir (Yücel ve Halkman, 2009). Minimal işlem görmüş sebze ve meyvelerin tüketimi gelişmiş toplumlarda oldukça yaygın iken, gelişmekte olan ülkelerde ise taze olmaları ve erişilebilirliklerinin kolay olması ve fiyatının uygun olması bakımından tercih edilmektedirler (Chaudry ve ark., 2004). Ancak sebze ve meyve tüketimindeki artışla beraber bu tip gıdalardan kaynaklanan salgınlarda artış göstermekte ve özellikle az işlem görmüş ya da herhangi bir işlem görmemiş bu besinlerin çiğ olarak tüketilmeleri, patojen mikroorganizma ile bulaşık iseler insan sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturabilmektedirler (Johannessen ve ark., 2002; Gündüz, 2008). Gıda kaynaklı olarak nitelendirilen hastalık ve patojenlerin spektrumu geçmiş yıllara kıyasla önemli ölçüde genişlediği için yaşanan patojen salgınları, halkın dikkatini gıda güvenliği konusuna çekmekte ve yapılan araştırmalarda da tüketim için hazır sunulan gıdalarda *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* ve *Listeria monocytogenes* gibi patojenlerin var olduğu belirtilmiştir. Bu tip gıdalarda patojen varlığına; gıda hammaddelerinde mikroorganizma yükünün fazlalığı, yetersiz ısı işlem, kontamine olmuş malzemeler, yetersiz muhafaza koşulları, yetersiz işletme hijyeni, çapraz kontaminasyon ve konu ile ilgili yeterli bilgiye sahip olmayan personelin neden olduğu belirtilmektedir (Öğüt ve Polat, 2009).

Sözü edilen patojenler arasında insanlar açısından önemli bir fırsatçı patojen olarak görülen *Escherichia coli*, genel olarak bakteri biyolojisinin araştırılması adına üzerinde en fazla çalışılan ve hakkında en fazla şey bilinen organizma olarak kabul edilmektedir. Enterobacteriaceae familyasına ait bir türdür ve normal bağırsak florasına ait olduğu içinde patojen mikroorganizmaların bağırsaklarda kolonizasyonunu engeller. *E. coli*'nin kalın bağırsak florası içinde bulunan yaygın bir tür olması ile bu durum onu pek çok bakteriyel enfeksiyondan da sorumlu tutmaktadır. Üriner yol enfeksiyonu, bağırsak enfeksiyonları ve bağırsak dışı enfeksiyonlar (pnömoni, menenjit, bakteriyemi) yaşanmaktadır (Ustaçelebi, 1999). Gastrointestinal patojenik *Escherichia coli*, Enteropatogenik *E. coli* (EPEC), Enterotoksijenik *E. coli* (ETEC), Enteroinvazif *E. coli* (EIEC), Enteroagregatif *E. coli* (EAEC) ve Enterohemorajik *E. coli* (EHEC) içermektedir. *E. coli* türleri arasında gıda kaynaklı hastalıkların sıklığı ve hastalık şiddetine göre en önemli grup olarak kabul edilen EHEC grubuna odaklanılmaktadır ve Enterohemorajik *Escherichia coli* (EHEC) bilinen *E. coli* tipleri içerisinde en önemlisi olup, ölümle sonuçlanan pek çok gıda kaynaklı enfeksiyonlardan sorumlu olan O157:H7 serotipini içermektedir (Meng ve ark., 2012). *Escherichia coli* O157:H7 serotipi, shiga benzeri toksin salgılayan, çubuk şekilli, gram negatif bakteriler olup *E. coli* bakterisinin yüzlerce serotipinden birisidir. Çoğu suş zararsız olup sağlıklı insanların ve hayvanların bağırsaklarında yaşarlar ancak bu serotipi oluşturan suşlar güçlü bir toksin salgılar ve ağır seyreden hastalığa neden olurlar. *E. coli* O157:H7 serotipinin kaynağı olarak özellikle sığırların rolünün etkin olduğu belirtilirken aslında sığır etinde bu bakteriye rastlanmaz fakat enfekteli bir sığır dışkısı veya bağırsakla temas eden ette hastalığın bulaşması ile ilgili risk oluşmaktadır. Meydana gelebilecek enfeksiyonlarda sığırlar birinci derecede risk grubunda yer alırken sığırların dışındaki diğer hayvanlar ise vektör görevi görmektedirler (Chapman ve ark., 1993).

Sineklerin *E. coli*'yi taşıyabildiği ve temiz alanlara aktarabildiği bir çalışmada belirtilmiş olup sığır besi yeri yakınında yaprağı tüketilen sebzelerin yetiştirildiği tarlalardan haşere sineklerinin *E. coli* O157:H7'yi 180 m kadar uzağa taşıyabildiği ve sineklerin yeşil yapraklı bitkilerin kontaminasyonu için bir araç olabildiği belirtilmiştir (De Jesus ve ark., 2004; Berry ve ark., 2019).

ABD'nin farklı eyaletlerinde marul ve ıspanak tüketiminin ardından meydana gelen gastroenterit salgınlarda *E. coli* O157:H7 sorumlu tutulmuş olup taze olarak tüketilen gıdalardan *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus* ve *B. cereus* gibi patojenler izole edilmiş ve taze olarak tüketilen ürünler nedeniyle tüm dünyada meydana gelen salgınlarda endişe verici bir hal aldığı belirtilmiştir (Seow ve ark., 2012). Taze kesilmiş marul tüketimiyle ilişkili olarak *E. coli* O157:H7 riski değerlendirildiğinde hem sulama suyunun mikrobiyal kalitesinin hem de sulama şeklinin hasatta *E. coli* O157:H7 bakterisi sayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu yapılan bir çalışmayla belirtilmiş olup damla sulama sisteminin kullanımı, uygun gübreleme şekli ve yağışın doğru şekilde değerlendirilmesi ile *E. coli* O157:H7 seviyelerinin sırasıyla 7.4, 6.5 ve 4.3 log azaldığı da kaydedilmiştir. (Bozkurt ve ark., 2021). Belçika'da marul, toprak ve su örneklerinin incelendiği bir çalışmada açık tarlalardan alınan örneklerde, seralardan alınan örneklere göre *E. coli* O157 gibi EHEC dahil patojenik bakterilerin daha fazla oranda bulunduğu bildirilmiştir (Holvoet ve ark., 2015). *E. coli* O157:H7 aynı zamanda marul tohumlarına da yapışabilmekte ve uzun süre canlılığını koruyabilmektedir. Marul tohumlarına enfekte edilen *E. coli* O157:H7 bakterisinin tohumların %8.7'sinde 2 yıl boyunca canlı kalabildiği ve patojenin tohumlara enfekte edilmesinden 2 yıl sonra fidelerin %12.5'inde rastlandığı olgun marullarda ise test edilmediği belirtilmiştir (Van der Linden ve ark., 2013; Cui ve ark., 2017). Bakteri yükü bitki çeşidine göre değişebildiği gibi aynı bitkinin yaprakları arasında bile farklılık gösterebilmektedir öyle ki meyve ve sebzelerin iç kısımları genelde steril olarak kabul edilir ancak yapılan bir çalışma *E. coli* O157:H7'nin hayvan gübresi uygulanmış topraktan marula geçebileceğini ortaya koymuş ve aynı çalışmada *E. coli* O157:H7'nin kök sisteminden marula geçebildiği ve yenebilir kısımlara doğru göç edebildiği de bildirilmiştir (Solomon ve ark., 2002). Mukherjee ve ark (2004) nın yaptığı benzer bir çalışmada marulun, taze meyve ve sebzeler arasında bakteriyel kontaminasyon açısından en elverişli sebze olduğu belirtilmiş ve yine Mukherjee ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir diğer araştırmada organik örneklerin %9.7'sinde, konvansiyonel örneklerin de %1.6'sında *E. coli* varlığı tespit edilmiş olup organik marullarda örneklerin yaklaşık % 22.4'ü *E. coli* pozitif bulunurken bu oran çalışmada kullanılan diğer örneklerden (yeşil yapraklı sebzeler, kabak, domates, yeşilbiber, salatalık ve brokoli) oldukça yüksek olarak kayıtlara geçmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örneklerin Toplanması

Çalışmada kullanılan taze marul örnekleri bir yıl boyunca düzenli olarak Aydın ilinde bulunan semt pazarlarından 50 adet, marketlerden de 50 adet olmak üzere toplam 100 adet örnek olacak şekilde satın alınarak toplanmıştır. Pazar ve marketlerden satın alınan toplam 100 adet taze marul örneklerinin aylara göre dağılımı ve satın alınan miktarları Çizelge 1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Market ve pazarlardan alınan örnekler (Table 1. Samples taken from markets and markets).

Örnek Sayısı		
Aylar	Marketlerden	Pazarlardan
Ocak	15	15
Şubat	15	15
Mart	10	10
Nisan	10	10
Mayıs	-	-
Haziran	-	-
Temmuz	-	-
Ağustos	-	-
Eylül	-	-
Ekim	-	-
Kasım	-	-
Aralık	-	-
<b>TOPLAM</b>	<b>50</b>	<b>50</b>

Ocak ve şubat aylarında market ve pazarlardan 15' er adet, mart ve nisan aylarında da 10' ar adet olmak üzere toplamda 100 adet olarak temin edilen örneklerin en dış kısmındaki yaprakları uzaklaştırıldıktan sonra göbek kısmı steril şekilde çıkarılarak steril poşetlere yerleştirilmiş ve sonrasında Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı'na soğuk zincirde getirilmiştir.

### 2.1.1. Örneklerin İzolasyon ve İdentifikasyonunda Kullanılan Besiyerleri

#### İzolasyon besiyeri

Çalışmamız için svap örneklerinin taşınmasında ve bakterinin zenginleştirilmesinde modifiye tryptic soy broth (mTSB) kullanılmıştır. Gram negatif mikroorganizmaların gelişimini engellemek için zenginleştirme besiyeri olarak kullanılan mTSB'de novobiocin veya acriflavin bulunmaktadır (Vernozy-Rozand, 1997). mTSB besiyeri 33 g L<sup>-1</sup> konsantrasyonda 1 L distile suda eritilerek hazırlanmış, erlenlere 225 ml olacak şekilde dağıtılmış ve daha sonra otoklavda 121°C'de 15 dakika sterilize edilmiştir. Alınan marul örneklerinde *E. coli* O157:H7 bakterisinin olup olmadığının belirlenmesi amacıyla 25 g örnek 225 ml mTSB (O157 Broth) ile homojenize edilerek 37±0.5°C'de 24 saatlik inkübasyon ile ön zenginleştirme yapılmıştır. İnkübasyon sonrasında öze yardımıyla SMAC Agar (Sorbitol MacConkey Agar,) besiyerine aktararak 35-37°C'de 18-24 saat süreyle inkübe edilmiştir. CT-SMAC agarda çoğalıp sorbitol negatif sonuç veren kolonilerden öze yardımı ile Fluorocult *E. coli* O157:H7 agara ekimleri yapılmıştır. Şüpheli olduğu gözlenen koloniler ise, indol içeren besiyerinde 35-37°C'de 24-48 saat inkübasyon sonrasında üzerine 1 ml kovaks ayracı dökülüp karıştırılarak doğrulama yöntemine gidilmiştir.

#### İdentifikasyon Besiyerleri

#### Sorbitol MacConkey (SMAC) Agar ve CT SMAC Agarda üreme

*E. coli* O157:H7 serotipi sorbitolü fermente etmediğinden ve diğer *E. coli* serotipleri sorbitolü fermente ettiklerinden dolayı *E. coli* O157:H7 izolasyonunda genellikle sorbitol MacConkey agar (SMAC) kullanılmaktadır (Vernozy-Rozand 1997).

Çalışmamızda da SMAC agara daha selektif olması için sefiksim (0.05 mg L<sup>-1</sup>) ve potasyum tellürit (2.5 mg L<sup>-1</sup>) (CT) katkısı ilave edilmiş ve bu şekilde diğer floranın yanlış negatif sonuçlar vermesinin önüne geçilmiştir. Sorbitol MacConkey agardan (Difco 279100) 51.6 g L<sup>-1</sup> oranla 25.8 g agar 500 ml distile su içerisinde ısıtılarak eritilmiştir ve otoklavda 121°C'de 15 dakika sterilize edilmiştir. CT-SMAC Agar katkısı agara eklenmeden önce bir şişe katkı üzerine 1 ml distile su ilave edilip karıştırılmış, otoklav sonrasında 45 °C'ye kadar soğutulan 500 ml agara aseptik şartlarda CT katkısı ilave edilerek karıştırılmış ve petri kaplarına 12.5 ml/petri olarak dağıtılmıştır (Weagant ve ark., 1995). mTSB besiyerinde çoğalan gram-negatif ve indol pozitif *E. coli* şüpheli kolonileri CT-SMAC agara öze ile ekim yapıldıktan sonra petri kapları 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyon işlemine tabi tutulmuştur. İnkübasyon sonrasında renksiz kolonilerin sorbitol negatif, pembe-kırmızı kolonilerin ise sorbitol pozitif olarak değerlendirilmeleri yapılmıştır (Doyle ve ark., 1987).

#### Fluorocult *E. coli* O157:H7 Agarda Üreme

Fluorocult *E. coli* O157:H7 agarın kullanım amacı, CT-SMAC negatif olan kolonilerin β-glukuronidaz aktivitesini belirlemek olup hazırlanan besiyeri 55 g L<sup>-1</sup> olacak şekilde ısıtılarak distile su içinde eritilmiş ve otoklavda 121°C'de 15 dakika sterilize edildikten sonra petri kaplarına boşaltılmıştır (Szabo ve ark., 1986). CT-SMAC agarda gelişip sorbitol negatif sonuç veren koloniler öze yardımıyla Fluorocult *E. coli* O157:H7 agara ekim yapıldıktan sonra petri kapları 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmış olup, inkübasyon süresi sonunda sorbitolü kullanamayan bakteriler renksiz, sorbitol pozitif bakteriler ise sarı renkli koloniler oluşturmuştur. Sorbitol negatif veren koloniler de UV ışığı (366 nm) altında incelenmiş ve ışımaya vermeyen koloniler *E. coli* O157:H7 şüpheli olarak nitelendirilmiştir.

İndol test ortamı olarak, Pepton 4 g, Sodyum klorid 2 g, Distile su 100 ml şeklinde hazırlanan karışımın pH'sı 7.4–7.6'ya ayarlandıktan sonra, tüplere 3-5 ml olacak şekilde dağıtılmış ve otoklavda 15 dakika süreyle sterilize edilmiştir (Koneman ve ark., 1997). Ayracı olarak indol ayracı, P-Dimethylaminobenzaldehyde 10g, Isoamyl alcohol 150ml, HCl (konsantre) 50 ml kullanılmış, ayrıca gram boyamalar da yapılmıştır.

Araştırmamızda *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 suşu referans suş olarak, negatif kontrol olarak ise *S. aureus* ATCC 25923 suşu kullanılmıştır.

#### Antiserum Test Kitleri

#### *E. coli* O157 lam aglutinasyon testi

*E. coli* O157 lam aglutinasyon testi, O157 somatik antijenine karşı hazırlanmış spesifik somatik (O) antikorları (polivalan antiserum: domuz; monovalan antiserum: tavşan) içeren ve koruyucu olarak 0.08 w/%v sodyum azid ilave edilmiş sıvı ürün kullanılan, lam üzerinde antijen ve antikor aglutinasyonuna dayanan test olup, test içeriğinde alternatif grup O antiserumu da bulunmaktadır. *E. coli* O157:H7 şüpheli olan kolonilerde O157 antijeninin varlığının belirlenmesi için O157 lam aglutinasyon testi uygulanmış (Sakazaki, 1992) ve şüpheli olduğu gözlenen kolonilerden üç öze dolusu alınarak 3 ml fizyolojik tuzlu su içine süspanse edilmiştir. Süspanسیون 121°C'de 15 dk, 100°C'de 1 saat bekletildikten sonra 900 devirde 20 dk santrifüj edilmiştir. Tüplerdeki süpernatant uzaklaştırılmış

çökelti 0.5 ml fizyolojik tuzlu su ile süspansiyon edilerek antijenik solüsyon olarak kullanılmıştır. Daha sonra her polivalan antiserumdan bir damla ve 30 µl fizyolojik tuzlu su, asetat kalemi ile bölmelere ayrılmış temiz lamlar üzerine damlatılmıştır. Lam üzerindeki her antiserum-fizyolojik tuzlu su karışımının üzerine antijenik süspansiyondan 5-10 µl damlatılmış ve lamlar sağa sola 1 dk boyunca hareket ettirilmiş süspansiyonların karışması sağlandıktan sonra O157 pozitif olan karışımlarda aglutinasyon deseni şekil almıştır. Aglutinasyon ilk 1 dk sonrasında oluştuğu için aglutinasyon oluşmayan veya hafif oluşan örnekler negatif olarak kabul edilirken, tam aglutinasyon şekillenenler pozitif olarak kaydedilmiştir. Polivalan serum ile pozitif sonuç veren örnekler polivalan serumun içerdiği monovalan serumlar belirlenerek, yukarıdaki işlemler monovalan serum kullanılarak da tekrarlanmış olup aglutinasyon pozitif O antiserumları tespit edilmiştir.

### ***E. coli* O157 Lateks Aglutinasyon Testi**

Bu test, O157 somatik antijenine karşı spesifik antikorların *E. coli* O157 şüpheli kolonilerle temas ettiğinde aglutinasyon şekillenmesine dayalı hızlı bir test olup test kitinin içeriğinde test lateksi, kontrol lateksi, pozitif ve negatif kontrol süspansiyonları ve reaksiyon kartları bulunmaktadır. *E. coli* O157 lam aglutinasyon testi ile O157 antijenine sahip olduğu tespit edilen kolonileri desteklemek için *E. coli* O157 lateks aglutinasyon testi yapılmıştır (March ve ark., 1989). Buzdolabında 2-8°C arasında bekletilen lateks belirteçleri oda sıcaklığına getirilmiş, lateks süspansiyonları iyice çalkalanmış, bu sırada süspansiyonların dökülmemesine çok dikkat edilmiştir. Reaksiyon kartının üzerindeki dairelerden birine dairenin iç kenarına gelecek biçimde 1 damla test lateksi damlatılmış, dairenin bir başka kenarına da lateks süspansiyonu ile karışmayacak biçimde 1 öze dolusu fizyolojik tuzlu su damlatılmıştır. Sonrasında test edilecek koloniden 1 öze dolusu alınıp fizyolojik tuzlu su damlası ile dikkatlice iyice karıştırılmıştır. Örnek-fizyolojik tuzlu su süspansiyonu test lateksi damlasıyla karıştırılıp dairenin içine öze ile yayıldıktan sonra öze alevden geçirilip sterilize edilmiştir. Reaksiyon kartı 1 dk kadar dairesel hareketlerle sallanmış aglutinasyonun şekillenmesi için beklenmiştir ve kartın 1 dakika süreden fazla sallanmamasına özen gösterilmiştir. Aglutinasyon şekli veren örneklerin O157 serotipine ait olduğu bu sayede doğrulanmıştır. Bir dakika içinde aglutinasyon şekillenmeyen izolatlar O157 negatif olarak değerlendirilmeliydi fakat yaptığımız O157 lam aglutinasyon testini doğrular biçimde lateks testte kullanılan izolatların tamamı pozitif sonuç göstermiştir.

### **H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi**

H7 tüp aglutinasyon testinde, H7 flagellar antijenine karşı hazırlanmış spesifik flagella (H) antikorları (tavşan) bulunan ve koruyucu olarak 0.08 w/v sodyum azid eklenmiş sıvı ürün içeren, tüp içinde antijen ve antikor aglutinasyonu esasına dayanan bir test olup test kiti içeriğinde bulunmayan ancak kullanımı gerekli yarı sıvı medyum, sıvı medyum ve %1 formalin içeren fizyolojik tuzlu su ve su banyosu (50°C) gibi bazı materyaller mevcuttur. *E. coli* O157 olarak belirlenen kolonilerde *E. coli* O157:H7 varlığının incelenmesi amacıyla H7 antiserumuyla tüp aglutinasyon testi uygulanmış (Sakazaki, 1992), koloniler Brain Heart infüzyon sıvı besiyerine inokulasyona hazırlanmaları için Craigy's tüpü içinde bulunan yarı sıvı medyumdan 3-5 defa geçirilmiştir. Ardından BHI sıvı

medyumuyla hücre kültürü hazırlanmış ve 37 °C'de bir gece süreyle inkübe edilmiş eşit miktarda %1 w/v formalin içeren fizyolojik tuzlu su ile karıştırılmıştır. Test tüplerine üçer damla H antiserumlarından ilave edildikten sonra her bir tüpe 0.5 ml hücre süspansiyonundan damlatılmış ve H antiserumu bulunmayan bir tüp de kontrol kabul edilmiştir. Tüplerde bulunan antiserum ile hücre süspansiyonları tamamen karıştırıldıktan sonra 50°C'lik su banyosunda 1 saat süreyle bekletilmiş daha sonra tüpler aglutinasyon oluşup oluşmadığını anlamak için çıplak gözle incelenmiştir. Aglutinant kolay dağılabileceği için inceleme yapılırken tüplerin sarsılmamasına özen gösterilmiştir ve sonrasında H7 antiserumuyla aglutinasyon deseni şekillenmiş olan tüplerdeki koloniler *E. coli* O157:H7 pozitif kaydedilmiştir.

## **3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma**

Bu çalışmada kullanılan marul örneklerinde yapılan izolasyon ve identifikasyon prosedürleri sonucunda örnek alınan marulların tümünden toplam 17 (%17) adet *E. coli* O157:H7 izole ve tanımlanmış olup *E. coli* O157:H7 patojenlerinin 12 (%12) adedi semt pazarlarından alınan marul numunelerinden, 5 (%5) adedi ise marketlerden alınmış olan numunelerden elde edilmiştir. *E. coli* O157:H7 sayıları dağılım olarak Çizelge 2'de gösterilmiştir.

*Çizelge 2. Örneklem yerleri ve örneklerdeki E. coli O157:H7 identifikasyon sayıları (Table 2. Çizelge 2. Örneklem yerleri ve örneklerdeki E. coli O157:H7 identifikasyon sayıları (Table 2. Sampling sites and E. coli O157:H7 identification numbers in samples).*

Örneklem yapılan yerler	Marul örnekleri sayısı (adet)	<i>E. coli</i> O157:H7 identifikasyon sayıları	<i>E. coli</i> O157:H7 izolatlarının yüzde oranları (%)
Semt pazarları	100	12	12
Marketler		5	5
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>17</b>

Elde ettiğimiz bulgular ışığında semt pazarlarından yapılan identifikasyon oranının market identifikasyonlarından daha yüksek olduğu gözlenmiş ve ülkemizde Kara ve ark., (2019) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da Afyonkarahisar ilindeki pazar ve marketlerden temin edilen toplam 70 adet taze marul örneğinde *E. coli* O157 varlığı 2 (%2.86) örnekte tespit edilmiş olup çalışmamızda ise bu oran toplam 100 adet örnekte 17 (%17) adet olacak şekilde daha yüksek oranda elde edilmiştir. Al-Kharousi ve ark., (2016) tarafından Oman'da yürütülen bir çalışmada da toplam 105 adet ithal taze sebze ve meyve örneği incelenmiş sebzelerin %22'sinde, meyvelerin %7'sinde *E. coli* varlığı kaydedilirken çalışmamızda ise sonuçlar sebze grubu açısından değerlendirildiğinde marul örneklerinde bu oran %17 olarak daha düşük seviyede bulunmuştur.

Çalışmada *E. coli* O157:H7 bakterisinin varlığının belirlenmesi amacıyla yapılan testlerde, ocak ayında alınan örneklerde Sefiksım-tellürit tatkılı sorbitol MacConkey agarda üreme 9 adet, Fluorocult *E. coli* O157:H7 Agarda üreme 9 adet, *E. coli* O157 Lam Aglutinasyon Testi (pozitif) 3 adet, *E. coli* O157 Lateks Aglutinasyon Testi (pozitif) 3 adet ve H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi (pozitif) 3 adet olarak kaydedilmiştir. Şubat ayında ise örneklerde Sefiksım-tellürit tatkılı sorbitol MacConkey

agarda üreme ve Fluorocult *E. coli* O157:H7 Agarda üreme 10'ar adet, *E. coli* O157 Lam Aglutinasyon Testi (pozitif), *E. coli* O157 Lateks Aglutinasyon Testi (pozitif) ve H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi (pozitif) de 3'er adet olacak şekilde kayıtlara geçmiş olup en fazla üreme ise Mart ayında yapılan testlerde gerçekleşmiştir. Buna göre Sefiksim-tellürit katkı sorbitol MacConkey agarda üreme ve Fluorocult *E. coli* O157:H7 Agarda üreme 12'şer adet, *E. coli* O157 Lam Aglutinasyon Testi (pozitif), *E. coli* O157 Lateks Aglutinasyon Testi (pozitif) ve H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi (pozitif) ise 8'er adet olacak şekilde kaydedilmiştir. Nisan ayındaki test sonuçları da Sefiksim-tellürit katkı sorbitol MacConkey agarda üreme ve Fluorocult *E. coli* O157:H7 Agarda üreme 8'er adet, *E. coli* O157 Lam Aglutinasyon Testi (pozitif), *E. coli* O157 Lateks Aglutinasyon Testi (pozitif) ve H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi (pozitif) ise 3'er adet olacak biçimde kaydedilmiştir.

Worley ve ark.,(2017) tarafından yapılan bir çalışmada marulda *E. coli* O157 yaygınlığının mevsimsel olarak farklılık gösterdiği ve Kaliforniya'da 20 farklı çiftlikten toplanan inek dışkı örneklerinde *E. coli* O157:H7 prevalansının ilkbahar (%6.8) ve sonbahar (%5.8) mevsimlerinde, yaz (%0.5) ve kış (%3.4) mevsimlerine oranla daha yüksek olduğu bildirilirken çalışmamızda laboratuvar koşullarında yapılan testlerde ise mevsimsel olarak karşılaştırma yapıldığında en fazla üremenin Mart ayında olduğu en az üremenin ise Nisan ayında gerçekleştiği gözlenmiştir. Ayrıca Kaliforniya'daki havza alanlarından toplanan su örneklerinde de *E. coli* O157:H7 varlığı ilkbaharda (%9.50) ve sonbaharda (%11.75) yaz (%4.02) mevsimine göre daha yoğun olarak bulunmuştur (Tian ve ark., 2017). Yeşil yapraklı ve doğrudan tüketilen bitkilerde *E.coli* O157:H7 gibi enterohemorajik *E.coli* (EHEC) suşlarının varlığının araştırıldığı bir başka çalışmada, EHEC prevalansının 2007-2013 yılları arasında özellikle Kaliforniya'nın orta kıyı bölgesindeki bitkilerde önemli ölçüde artış gösterdiği

(<0.01-%2.5) ve EHEC prevalansının, çevresinde çiftliklerin bulunduğu alanlardan elde edilen yeşil yapraklı bitkilerde daha yaygın olduğu belirtilmiş olup (Karp ve ark., 2015) *E. coli* O157:H7'nin yol açtığı bir dizi salgının marul tüketimi ile ilişkilendirilmesi ile beraber yapmış olduğumuz çalışmamızda da semt pazarlarından alınan örneklerden daha fazla seviyede *E. coli* O157:H7 elde edilmesi, üretim sırasında hayvansal gübre kullanılması sonucu daha fazla maruz kaldığı hipotezini desteklemektedir. Organik ürünlerde geleneksel ürünlere göre önemli ölçüde daha yüksek *E. coli* prevalansının bulunduğu ayrıca bir yıldan daha kısa bir süre depolanmış gübrelerin kullanımında daha yüksek *E. coli* prevalansı olduğu yapılan bir çalışmada belirtilmiş olup çiftliklerde kullanan gübrenin sonbaharda mı yoksa ilkbaharda mı uygulanmış olmasının üründe *E. coli* oluşumunda etkin bir rol oynamadığı da bildirilmiştir (Mukherjee ve ark., 2004). Cayalvizhi ve Balachandhar (2018) tarafından taze tüketilen sebzelerde shiga benzeri toksin salgılayan *E. coli* O157'nin prevalansı ve karakterizasyonu hakkında Hindistan'da bir çalışma yapılmış, market ve pazarlardan temin edilen salatalık, turp, marul, lahana ve mentol içerikli (menthos) bitkilerde *E. coli* O157'nin varlığı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda gözlenmiştir ki incelenen beş sebze örneği arasında en yüksek Stx pozitif koloniye sahip olarak lahana (%16) örneği bulunmuş ve bu oran çalışmamızda kullandığımız marul örneklerindeki orana (%17) yakın olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sebzelerdeki *E. coli* O157 yükü, süpermarketlerden alınan örnekler ve pazarlardan alınan örnekler açısından karşılaştırıldığında pazar örneklerinde kayda değer bir oran bulunamazken bizim çalışmamızda ise semt pazarlarından alınan örneklerden daha fazla seviyede *E. coli* O157:H7 elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada taze tüketilen sebzelerde *E. coli* O157 popülasyonunun %6' sının %2' lik eşik seviyesinin çok üzerinde olduğu belirtilmiş ve hastalık salgını ile ilgili olarak bir uyarı öngörüsü bildirilmiştir.

Çizelge 3. Yapılan testlerin aylara göre dağılımı (Table 3. Distribution of tests performed by months).

Aylar	Testler				
	Sefiksim-Tellürit Katkılı Sorbitol MacConkey Agarda Üreme	Fluorocult <i>E.coli</i> O157:H7 Agarda Üreme	<i>E. coli</i> O157 Lam Aglutinasyon Testi (pozitif +)	<i>E. coli</i> O157 Lateks Aglutinasyon Testi (pozitif +)	H7 Antiserum Tüp Aglutinasyon Testi (pozitif +)
Ocak	9	9	3	3	3
Şubat	10	10	3	3	3
Mart	12	12	8	8	8
Nisan	8	8	3	3	3
Mayıs	-	-	-	-	-
Haziran	-	-	-	-	-
Temmuz	-	-	-	-	-
Ağustos	-	-	-	-	-
Eylül	-	-	-	-	-
Ekim	-	-	-	-	-
Kasım	-	-	-	-	-
Aralık	-	-	-	-	-

## 4. Sonuç

Çalışmamızda Aydın ilinde bulunan semt pazarları ve marketlerden alınan marul örneklerinde ilk kez *E. coli* O157:H7 varlığı araştırılmış, etmenin izolasyon ve identifikasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre *E. coli* O157:H7 prevalansının semt pazarlarından alınan marul örneklerinde daha yüksek olması, ürünlerin fekal kontaminasyona müsait olduğu fikrini destekler niteliktedir. Çalışmamıza konu olan marul bitkilerine bulaşabilecek *E. coli* O157:H7 patojenlerinin bulaşma riskini azaltmak adına gübre ile bulaşma seviyelerini düşürmek için hayvancılık uygulamalarında iyileştirmeler yapılması tavsiye edilebilir. Sulama suyunun fekal materyalle bulaşmasını önlemek adına da dış alan hayvancılığı konusuna özen gösterilmeli ve hayvan gübresi ile bulaşma riski söz konusu olan suların sulama suyu olarak kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Sulama suyu olarak kullanılan suların mikrobiyolojik kalitesi düzenli olarak kontrol edilirse sudan kaynaklanabilecek bulaşmaların da bu sayede önüne geçilebilir. Ayrıca hasat öncesi ve hasat sırasında kullanılan alet-ekipmanlarında temizliğine ve bulaşık olmamasına da özen gösterilmelidir. Elde edilen sonuçlara göre insan beslenmesinde çiğ olarak tüketilen gıda ürünlerinin önemli bir yere sahip olması nedeniyle gıda güvenliği konusunda bu tip gıdaların mikrobiyolojik kalitesini arttırmada gerekli önlemler alınması gerektiği konusu ortaya konulmuştur.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri VTF-14011 kodlu proje tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Al-Kharousi, Z.S, Guizani, N., Al-Sadi, A.M., Al-Bulushi, I.M., Shaharoon, B. (2016). Hiding in fresh fruits and vegetables: Opportunistic pathogens may cross geographical barriers. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Microbiology*, Article ID 4292417, 14.
- Berry, E.D, Wells, J.E., Durso, L.M., Friesen, K.M, Bono, J.L, Suslow, T.V. (2019). Occurrence of *Escherichia coli* O157:H7 in pest flies captured in leafy greens plots grown near a beef cattle feedlot. *J. Food Prot*, 82, 1300–1307.
- Bozkurt, H., Bell, T., Ogtrop, F., Kim-YenPhan-ThieN, McConchie, R. (2021). Assessment of microbial risk during Australian industrial practices for *Escherichia coli* O157:H7 in fresh cut-cos lettuce: A stochastic quantitative approach. *Food Microbiology*, 95, 103691.
- Cayalvizhi, B.S., Balachandhar, D. (2018). Prevalence of Shiga-like toxin producing *Escherichia coli* strain (*E. coli* O157) in freshly consumed vegetables and its characterization. *Journal of Food Safety*, 39(1).
- Chapman, P.A., Siddons, A., Wright, D.J, Norman, P., Fox, J., Crick, E, (1993). Cattle as a possible source of verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 infections in man. *Epidemiology of Infection*, 111, 439-447.
- Chaudry, M.A., Bibi, N., Khan, M., Badshah, A., Qureshi, M.J., (2004). Irradiation treatment of minimally processed carrots for ensuring microbiological safety. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 169–173.
- Cui, Y., Walcott, R., Chen, J. (2017). Differential attachment of *Salmonella enterica* and enterohemorrhagic *Escherichia coli*

- to alfalfa, fenugreek, lettuce, and tomato seeds. *Appl. Environ. Microbiol*, 83(7), 1-7.
- De Jesus, A.J, Olsen, A.R, Bryce, J.R., Whiting, R.C. (2004). Quantitative contamination and transfer of *Escherichia coli* from foods by houseflies, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Int. J. Food Microbiol*, 93, 259–262.
- Doyle, M.P., Schoeni, J.L. (1987). Isolation of *Escherichia coli* O157:H7 from retail fresh meats and poultry. *Applied Environmental Microbiology*, 53 (10), 2394-2396.
- Gündüz, T.G. (2008). Engelleme Teknolojisinin Sebze Patojen İnaktivasyonu ve Raf Ömrü Açısından Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Holvoet, K., Sampers, I., Seynaeve, M., Jacxsen, L., Uyttendaele, M. (2015). Agricultural and management practices and bacterial contamination in greenhouse versus open field lettuce production. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12(1), 32-63.
- Johannessen, G.S., Loncarevic, S., Kruse, H. (2002). Bacteriological analysis of fresh produce in Norway. *International Journal of Food Microbiology*, 77, 199-204.
- Kara, R., Acaröz, U., Gürler, Z., Soylu, A., Küçükkurt, O. (2019). Taze marul örneklerinde *Escherichia coli* O157 ve *Listeria monocytogenes* varlığının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 871-873.
- Karp, D.S., Gennet, S., Kilonzo, C., Partyka, M., Chaumont, N., Atwill, E.R, Kremen, C. (2015). Comanaging fresh produce for nature conservation and food safety. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 112, 11126-1131.
- Koneman, E.W., Allen, S.D., Janda, W.M, Schreckenberger, P.C., Winn, W.C. (1997). Color atlas and textbook of diagnostic microbiology (fifth edition), Eds Andrew Allen, Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, 1307-1371.
- March, S.B., Ratnam, S.J. (1989). Latex agglutination test for detection of *Escherichia coli* serotype O157. *Journal of Clinical Microbiology*, 27(7), 1675–1677.
- Meng, J., LeJeune, J.T, Zhao, T, Doyle, M.P. (2012). Enterohemorrhagic *Escherichia coli*. Chapter 12.
- Mukherjee, A., Speh, D., Dyck, E., Diez-Gonzales, F. (2004). Preharvest evaluation of coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* And *Escherichia coli* O157:H7 in organic and conventional produce grown by Minnesota farmers. *Journal of Food Protection*, 67, 894–900.
- Mukherjee, A, Cho, S., Scheffel, J., Jawahir, S., Smith and Diez-Gonzalez F. (2006). Soil survival of *Escherichia coli* O157 H7 acquired by a child from garden soil recently with cattle manure. *Journal of Applied Microbiology*, 101, 429-436.
- Öğüt, S., Polat, M. (2009). Bazı Beş Yıldızlı Otellerde Hazırlanan Gıdaların Mikrobiyolojik Açısından Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yaşam Dergisi*, 12-16.
- Sakazaki, R. (1992). Serotyping of diarrheagenic *E. coli*. *Media Circle*, 34, 117.
- Seow, J., Agoston, R., Phus, L., Yuk, H. (2012). Microbiological quality of fresh vegetables and fruits sold in Singapore. *Food Control*, 25, 39-44.
- Solomon, E., Yaron, S., Matthews, K. (2002). Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. *Applied Environmental Microbiology*, 68, 397–400.
- Szabo, R.A., Todd, E.C.D., Jean, A. (1986). A method to isolate *Escherichia coli* O157:H7 from food. *Journal of Food Protection*, 49: 768-772.

- Tian, P., Yang, D., Shan, L., Wang, D., Li, Q., Gorski, L., Lee, B.G., Quinones, B., Cooley, M.B. (2017). Concurrent detection of human norovirus and bacterial pathogens in water samples from an agricultural region in central California coast. *Front. Microbiol*, 8 (1560).
- Ustaelebi, Ő. (1999). Temel ve Klinik Mikrobiyoloji. Ankara. ncü Basımevi, 470-485.
- Van der Linden, I., Cottyn, B., Uyttendaele, M., Vlaemynck, G., Maes, M., Heyndrickx, M. (2013). Long-term survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on butterhead lettuce seeds, and their subsequent survival and growth on the seedlings. *Int. J. Food Microbiol*, 161, 214–219.
- Vernozy-Rozand, C. (1997). Detection of *Escherichia coli* O157:H7 and other Verocytotoxinproducing *E. coli* (VTEC) in food. *Journal of Applied Microbiology*, 82,537-551.
- Weagant, S.D, Bryant, J.L, Jinneman, K.G. (1995). An improved rapid technique for isolation of *Escherichia coli* O157:H7 from foods, *Journal of Food Protection*, 58 (1), 7-12.
- Worley, J.N., Flores, K.A, Yang, X., Chase, J.A, Cao, G., Tang, S., Meng, J., Atwill, E.R. (2017). Prevalence and genomic characterization of *Escherichia coli* O157:H7 in cow-calf herds throughout California. *Appl. Environ. Microbiol*, 83(16).
- Yücel, P.K., Halkman, H.B.D. (2009). Minimal İşlem Görmüş Meyve ve Sebzelerin İşınlama ile Kalitesinin Arttırılması. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim, Muğla, 291-301.





# Some Binary Quasi-perfect Linear Codes Defined by APN Functions

Seher Tutdere \*

\*Balıkesir University, Faculty of Science and Letters, Department of Mathematics, Balıkesir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5645-8174), stutdere@gmail.com

(First received 13 January 2022 and in final form 28 August 2022)

(DOI:10.31590/ejosat.1057393)

**ATIF/REFERENCE:** Tutdere, S. (2022). The Covering Radii of Some Linear Codes Defined by APN Functions. *European Journal of Science and Technology*, (38), 514-519.

## Abstract

In 2022, Tutdere proved that the covering radii  $R$  of a class of primitive binary cyclic codes with minimum distance strictly greater than an odd integer  $\ell$  satisfy  $r \leq R \leq \ell$ , where  $\ell, r$  are some integers depending on the given code. We here first discuss some equivalences of linear codes defined by Gold functions, which are quadratic APN (almost perfect nonlinear) functions. We then show that by applying the result of Tutdere one can find the covering radii of these quasi-perfect codes. In 2016, Li and Hellesteth proved that the linear codes defined by the quadratic APN functions are quasi-perfect and they asked whether the linear codes defined by the non-quadratic APN functions are quasi-perfect or not. We here prove that the linear codes defined by some non-quadratic APN functions over the finite field  $\mathbb{F}_{2^m}$ , for  $1 \leq m \leq 8$ , are quasi-perfect, by computing the covering radii of these codes.

**Keywords:** APN functions, Finite field, Covering radius, Cyclic code.

## APN Fonksiyonlar ile Tanımlanan Bazı İkili Yarı-mükemmel Lineer Kodlar

### Öz

2022 yılında, Tutdere, minimum uzaklığı bir tek  $\ell$  sayısından büyük olan bir primitif ikili devirli kodlar sınıfının örtme yarıçapı  $R$  nin  $r \leq R \leq \ell$  eşitsizliğini sağladığını göstermiştir, burada  $\ell, r$  verilen koda bağlı olan tam sayılardır. Burada, ilk olarak kuadratik APN (hemen hemen mükemmel lineer olmayan) fonksiyon olan Gold fonksiyonlar ile tanımlanan lineer kodların bazı denklikleri incelenmiştir. Daha sonra Tutdere'nin elde ettiği sonucun uygulanarak bu yarı-mükemmel kodların örtme yarıçaplarının hesaplanabileceği gösterilmiştir. 2016 yılında Li ve Hellesteth, kuadratik APN fonksiyonlar ile tanımlanan lineer kodların yarı-mükemmel olduklarını göstermişlerdir ve kuadratik olmayan APN fonksiyonlar ile tanımlanan kodların yarı-mükemmel olup olmadığı problemini sunmuşlardır. Burada, sonlu cisim  $\mathbb{F}_{2^m}$ ,  $1 \leq m \leq 8$  için, üzerinde tanımlanan kuadratik olmayan bazı APN fonksiyonlar ile tanımlanan lineer kodların örtme yarıçapları hesaplanarak bu kodların yarı-mükemmel olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** APN fonksiyonlar, Sonlu Cisim, Örtme Yarıçapı, Devirli Kodlar.

\*Corresponding Author: stutdere@gmail.com

### 1. Introduction

In coding theory, cyclic codes are an important class of error-correcting codes which have favorable algebraic properties for efficient error detection and correction. In literature, there are many examples and studies on these codes, for instance see (Çalışkan, 2021), (Moreno et al., 2003), (Kavut et al., 2019). We here consider binary primitive cyclic codes defined by the APN functions over finite fields, which are linear codes. Let  $\mathbb{F}_q$  be a finite field, with  $q = 2^m$  where  $m \geq 1$  is an integer, and let  $C$  be a binary cyclic  $[n, k, d]$  code having length  $n$ , dimension  $k$ , minimum distance  $d := d(C)$ , and covering radius  $R := R(C)$ . By definition,  $R$  is the smallest integer  $r$  such that every element of  $\mathbb{F}_q^{n-k}$  can be written as a linear combination of at most  $r$  columns of the parity-check matrix of  $C$ . In other words, the covering radius of  $C$  is the maximal distance of any vector from the code, i.e.,

$$R := \max\{\min\{d(x, c) : c \in C\} : x \in \mathbb{F}_q\}$$

where  $d(\dots)$  is the Hamming distance. It has many applications in the information theory, such as data compression, testing, and write-once memories, for instance see (Cohen et al., 1997).

The covering radii of cyclic codes has been comprehensively studied by many researchers since the paper (Delsarte, 1973), for instance see (Carlet, 2010), (Cohen et al., 1985). Let  $\alpha$  be a primitive element of  $\mathbb{F}_{2^m}$  and let  $C$  be a primitive binary cyclic code. In (Moreno et al., 2003, Theorem 6), Moreno and Castro proved that if the zeros of  $C$  are  $\alpha, \alpha^{2^{i+1}}$  with  $(i, m) = 1$ , then  $R(C) = 3$ , where  $d(C) = 5$  (Van Lint et al., 1986). They also showed that if the zeros of  $C$  are  $\alpha, \alpha^{2^{i+1}}, \alpha^{2^{j+1}}$  with distinct positive integers  $i, j$  and  $d(C) = 7$ , then  $R(C) = 5$  for  $m > 8$  (Moreno et al., 2003, Theorem 9). In (Kavut et al., 2019) Kavut and Tutdere gave a generalization of the aforementioned results of Moreno and Castro as follows: if the zeros of  $C$  are  $\alpha, \alpha^{2^{i_1+1}}, \dots, \alpha^{2^{i_t+1}}$ , where  $t = (r - 1)/2$ ,  $r$  is any odd integer such that  $d(C) \geq r + 2$ , then  $R(C) = r$ , under some restrictions on  $m$  and  $r$ . In (Tutdere, 2022), Tutdere proved the following: if the zeros of  $C$  are  $\alpha^{d_0}, \alpha^{d_1}, \dots, \alpha^{d_t}$ , where  $d_i$ 's are distinct positive integers, and the sum of 2-weights of  $d_i$ 's, which we call  $\ell$ , is odd such that  $d(C) > \ell$ , then  $r \leq R(C) \leq \ell$ , under some assumptions on  $m$  and  $r$ .

APN functions have a great importance in cryptography for the attacks on block ciphers. In (Li et al., 2016), Li and Helleseth proved that the codes defined by the binary quadratic APN functions are quasi-perfect by computing the covering radii of these codes, and they asked whether the codes defined by the non-quadratic functions are quasi-perfect or not. Note that quasi-perfect codes are the codes having covering radius one more than their packing radius. To find a classification of the parameters for which quasi-perfect codes exist is a hard task. In particular, binary quasi-perfect codes play a fundamental role in information theory when using a binary symmetric channel.

We here first discuss some linear equivalent quasi-perfect cyclic codes defined by the Gold functions, which are quadratic APN functions. We then show that one can obtain the covering radii of these codes by applying the result of (Tutdere, 2022).

We next prove that the codes defined by some non-quadratic APN functions over the finite field  $\mathbb{F}_{2^m}$ , for  $1 \leq m \leq 8$ , are quasi-perfect, by computing the covering radii of these codes.   
 e-ISSN:2148-2683

Further, we find in the process that the covering radii of the codes defined by the inverse function for odd values of  $m$ , which are not APN, is the same as those of the APN functions.

The organization of the paper is as follows: We give, in Section 2, some basic background and known results which will be used in the subsequent sections. In Section 3, we give the main results and discussion. Section 4 is devoted to the conclusion and some recommendations.

### 2. Material and Method

For any prime number  $p$ , let  $f: \mathbb{F}_{p^m} \rightarrow \mathbb{F}_{p^m}$  be a function with  $f(0) = 0$  and let  $\alpha$  be a primitive element of the field  $\mathbb{F}_{p^m}$ . Set  $n := p^m - 1$ . Consider the matrix

$$H_f = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \dots & \alpha^{n-1} \\ f(1) & f(\alpha) & f(\alpha^2) & \dots & f(\alpha^{n-1}) \end{bmatrix}$$

where each entry stands for the column of its coordinate with respect to a basis of the vector space  $\mathbb{F}_{p^m}$  over the field  $\mathbb{F}_p$ . We denote the code having  $H_f$  as a parity-check matrix by  $C_f$ . It is clear that when  $f(x) = x^d$  is a power function,  $C_f$  is a cyclic code with the generator polynomial  $g(x) = m_1(x)m_d(x)$ , where  $m_i(x)$  is the minimal polynomial of  $\alpha^i$  over  $\mathbb{F}_p$  for  $i = 1, d$ . We here consider only power functions. Throughout this paper,  $f$  is a power function and the related code  $C_f$  is a binary primitive cyclic  $[n, k, d]$  code having length  $n = 2^m - 1$ , dimension  $k$ , minimum distance  $d = d(C)$ , and covering radius  $R = R(C_f)$ .

**Definition 2.1.** The linear codes satisfying the condition that  $R = \lfloor \frac{d+1}{2} \rfloor$  are called quasi-perfect codes.

**Definition 2.2.** A function  $f: \mathbb{F}_{p^m} \rightarrow \mathbb{F}_{p^m}$  of the form

$$f(x) = \sum_{i,j=0}^{m-1} a_{ij} x^{2^i+2^j},$$

where  $a_{ij} \in \mathbb{F}_{p^m}$  is called a quadratic function.

**Definition 2.3.** A function  $f: \mathbb{F}_{p^m} \rightarrow \mathbb{F}_{p^m}$  is called almost perfect nonlinear (APN) if

$$\max_{a,b \in \mathbb{F}_{p^m}, a \neq 0} |\{x \in \mathbb{F}_{p^m} : f(x+a) - f(x) = b\}| = 2.$$

In other words, if  $f$  is differentially 2-uniform, then it is called an APN function. In particular, when  $p = 2$ ,  $f$  is called APN if and only if the function  $x \rightarrow f(x+a) - f(x)$  is two-to-one for all  $0 \neq a \in \mathbb{F}_{2^m}$ .

**Lemma 2.1.**(Carlet et al., 1998, Theorem 5(ii)) Let  $f: \mathbb{F}_{2^m} \rightarrow \mathbb{F}_{2^m}$  be a function with  $f(0) = 0$ . Then  $f$  is APN if and only if the code  $C_f$  defined by  $f$  has minimum distance 5.

In (Carlet et al., 1998), it is shown that if  $f$  is a quadratic APN function in odd number of variables, i.e.,  $m$  is odd, then the related code  $C_f$  has covering radius 3. In (Li et al., 2016), the following result is obtained.

**Theorem 2.1.**(Li et al., 2016, Theorem 1) Let  $m \geq 3$  and

$$f(x) = \sum_{i,j=0}^{m-1} a_{ij} x^{2^i+2^j},$$

where  $a_{ij} \in \mathbb{F}_{2^m}$ , be a quadratic function. Then the code  $C_f$  defined by  $f$  is quasi-perfect if and only if  $f$  is APN.

In (Li et al., 2016), the following open problem is proposed:

**Open problem:** For all APN functions  $f$  over  $\mathbb{F}_{2^m}$ , are the codes  $C_f$  defined by  $f$  quasi-perfect or not?

**Theorem 2.2.** (Tutdere, 2022) Let  $C$  be a primitive binary cyclic code with the zero set  $Z(C) = \{\alpha^{d_0}, \alpha^{d_1}, \dots, \alpha^{d_t}\}$  for some distinct positive integers  $d_0, d_1, \dots, d_t$ . Suppose that there is a code  $C'$  such that  $C \subset C'$  and  $d(C') = r$  for any integer  $r$ . Assume that the sum  $\ell := \sum_{i=0}^t \sigma_2(d_i)$  is an odd integer. If  $d(C) > l$ , then  $r \leq R(C) \leq \ell$  for

$$f > (\ell - s) \max \sigma_2(d_i),$$

where  $s$  is the largest integer such that  $2^s | (\ell + 1)$ .

In Section 3.1. we propose an application of Theorem 2.2. We now give the following notion which will be used frequently throughout the paper.

**Definition 2.4.** Let  $p$  be a prime number and  $n$  be an integer with  $p$ -expansion

$$n = a_0 + a_1p + \dots + a_s p^s$$

where  $0 \leq a_i < p$ . The sum  $\sigma_p(n) := \sum_{i=0}^s a_i$  is called the  $p$ -weight of  $n$  and the  $p$ -weight degree of a monomial  $x^d := x_1^{d_1} x_2^{d_2} \dots x_n^{d_n}$  is defined as

$$\omega_p(x^d) := \sigma_p(d_1) + \sigma_p(d_2) + \dots + \sigma_p(d_n).$$

The  $p$ -weight degree of a polynomial  $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_d a_d x^d$  is

$$\omega_p(F) := \max_{x^d, a_d \neq 0} \omega_p(x^d)$$

**Definition 2.5.** Two codes  $C_1$  and  $C_2$  of the same length over the field  $\mathbb{F}_q$  are called equivalent if  $C_2$  is obtained from  $C_1$  by applying a combination of the following operations:

- (i) multiplication of the symbols appearing in a fixed position in all codewords of  $C_1$  by a nonzero scalar,
- (ii) a permutation of the digits in all codewords of  $C_1$ .

Note that a function  $f$  from  $\mathbb{F}_{2^m}$  has a unique representation as follows:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{2^m-1} a_i x^i, \text{ where each } a_i \in \mathbb{F}_{2^m}.$$

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Some Equivalences of Linear Codes Defined by Gold Functions

The functions  $f_i(x) = x^{2^i+1}$ , with  $(i, m) = 1$  are called Gold functions (Gold, 1968) for all  $m \geq 3$ , which are quadratic APN power functions. In this section we first discuss some equivalences of codes defined by Gold functions. We then more generally mention from some equivalences of codes defined by power functions.

**Proposition 3.1.** Let  $C$  be a primitive cyclic code with the zero set  $\{\alpha^{d_1}, \alpha^{d_2}\}$  for some distinct  $d_1$  and  $d_2$  over the field  $\mathbb{F}_{2^m}$  such that  $(d_1, 2^m - 1) = 1$ . Then  $C$  is equivalent to the code defined by Gold function  $f(x) = x^{2^i+1}$ , for some  $i$  such that

$(i, m) = 1$  if  $d_2 \equiv d_1(2^i + 1) \pmod{2^m - 1}$ , and hence these codes are quasi-perfect.

**Proof.** Set  $n = 2^m - 1$ . It is well-known that if  $(d_1, 2^m - 1) = 1$ , then  $\beta = \alpha^{d_1}$  is also a primitive element of  $\mathbb{F}_{2^m}$ . Therefore, there is a positive integer  $k$  such that  $\alpha^{d_2} = \beta^k$  for some  $k$ . Then by assumption we have  $\beta^k = \alpha^{d_2} = \alpha^{d_1(2^i+1) \pmod{2^m-1}}$ , and so  $k = 2^i + 1$ . That means,  $C$  is equivalent to the code with the zero set  $\{\beta, \beta^{2^i+1}\}$ , which corresponds to the code defined by the Gold function  $f(x) = x^{2^i+1}$ .

It is known from (Moreno et al., 2003) that the code with the zero set  $\{\beta, \beta^{2^i+1}\}$  is quasi-perfect. We here give a detailed proof by using the result of (Tutdere, 2022) which covers that result of (Moreno et al., 2003). The parity-check matrix of the code corresponding to the function  $f$  is as follows:

$$H_f = \begin{bmatrix} 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{n-1} \\ f(1) & f(\beta) & f(\beta^2) & \dots & f(\beta^{n-1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{n-1} \\ 1 & \beta^{2^i+1} & \beta^{2(2^i+1)} & \dots & \beta^{(n-1)(2^i+1)} \end{bmatrix}.$$

By Lemma 2.1, the code  $C_f$  has minimum distance  $d(C) = 5$ . It is well-known that the code  $C'$  with the zero set  $\{\beta\}$  is the Hamming code and  $d(C') = 3$ . Since  $C \subset C'$ , we can apply Theorem 2.2 with  $\beta, C = C_f, C'$ , and the parameters  $r = 3, d_0 = 1, d_1 = 2^i + 1$ . Then the parameter  $\ell = 1 + 2 = 3$ . Clearly, the condition  $d(C) > l$  is satisfied. Thus, it follows from Theorem 2.2 that  $R(C) = 3$  for all  $m > (l - s) \max_i \sigma_2(d_i) = (3 - 2) \cdot 2 = 2$ , i.e.,  $m \geq 3$ . Then, it follows from Definition 2.1 that the related code is quasi-perfect.

**Example 3.1.** Let us consider the code  $C$  over  $\mathbb{F}_{2^4}$  having the zero set  $\{\alpha^3, \alpha^7\}$ , where  $\alpha$  is a primitive element of  $\mathbb{F}_{2^4}$ . The parity-check matrix  $H$  of the code  $C$  is then obtained as follows:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha^3 & (\alpha^3)^2 & \dots & (\alpha^3)^{14} \\ 1 & \alpha^7 & (\alpha^7)^2 & \dots & (\alpha^7)^{14} \end{bmatrix}.$$

As  $(7, 15) = 1, \beta = \alpha^7$  is also a primitive element of  $\mathbb{F}_{2^4}$  and then we have  $\beta^k = \alpha^3 = (\alpha^7)^k$ , from which it is found that  $k = 2^3 + 1 = 9$ . Therefore, the zero set  $\{\alpha^3, \alpha^7\}$  can be equivalently considered as  $\{\beta, \beta^9\}$ , which gives the code equivalent to the one defined by the Gold function  $f_3(x) = x^{2^3+1}$  (notice that  $(3, 4) = 1$ , satisfying the condition imposed by the definition). Hence, the parity-check matrix  $H$  can be expressed in the following form:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \beta^9 & (\beta^9)^2 & \dots & (\beta^9)^{14} \\ 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \beta^9 & (\beta^2)^9 & \dots & (\beta^{14})^9 \\ 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{14} \end{bmatrix}.$$

Since permuting the positions of a code generates an equivalent code, the code  $C$  is equivalent to the code  $C'$  having the parity check matrix  $H'$  given below:

$$H' = \begin{bmatrix} 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{14} \\ 1 & \beta^9 & (\beta^2)^9 & \dots & (\beta^{14})^9 \end{bmatrix}.$$

In (Tutdere, 2022) the covering radii and the minimum distances of the primitive cyclic codes having distinct zero sets are given for  $\mathbb{F}_{2^4}$  and  $\mathbb{F}_{2^5}$  in Tables 1 and 2, respectively. It can be seen from Table 1 in (Tutdere, 2022) that there are only three quasi-perfect codes having distinct zero sets which are  $\{\alpha^5\}, \{\alpha, \alpha^3\}$

and  $\{\alpha^3, \alpha^7\}$ . We have already shown that the code with zero set  $\{\alpha, \alpha^3\}$  is equivalent to the one with zero set  $\{\alpha, \alpha^9\}$ ; however as  $\alpha^3$  and  $\alpha^9$  are in the cyclotomic coset, i.e.,  $\alpha^9 = \alpha^{3 \cdot 2^i \text{ mod } 15}$  for  $i = 3$ , these two codes are also equivalent. As a consequence, there is only one quasi-perfect code defined by the power functions different up to the equivalence which corresponds to the code defined by the Gold function for the field  $\mathbb{F}_{2^4}$ .

Let us now relax the condition of being equivalent to the Gold function in Proposition 3.1, by permitting that the exponent  $k$  can be any positive integer. In this case, assuming as in Proposition 3.1 that the primitive cyclic code  $C$  has the zero set  $\{\alpha^{d_1}, \alpha^{d_2}\}$  for some distinct  $d_1$  and  $d_2$  over the field  $\mathbb{F}_{2^4}$  such that  $(d_1, 2^m - 1) = 1$ , the code  $C$  is equivalent to the code defined by the power function  $f(x) = x^d$  for some  $d$  if  $d_2 \equiv d_1 d \text{ mod } (2^m - 1)$ , which can be considered as a more general form of Proposition 3.1. Next, we give an example for this situation.

**Example 3.2.** We here consider the code  $C$  over  $\mathbb{F}_{2^5}$  with the zero set  $\{\alpha^3, \alpha^{11}\}$ , where  $\alpha$  is a primitive element of  $\mathbb{F}_{2^5}$ . The parity-check matrix  $H$  of the code  $C$  is then obtained as follows:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha^3 & (\alpha^3)^2 & \dots & (\alpha^3)^{30} \\ 1 & \alpha^{11} & (\alpha^{11})^2 & \dots & (\alpha^{11})^{30} \end{bmatrix}.$$

One can choose  $\beta = \alpha^3$ , which is another primitive element of  $\mathbb{F}_{2^5}$  and then it is found that  $(\alpha^3)^{14} = \beta^{14} = \alpha^{11}$ . Thus, the zero set can be equivalently represented by  $\{\beta, \beta^{14}\}$ , for which the parity-check matrix  $H$  can be written as follows:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{30} \\ 1 & \beta^{14} & (\beta^{14})^2 & \dots & (\beta^{14})^{30} \end{bmatrix}.$$

Consequently, the code with the zero set  $\{\alpha^3, \alpha^{11}\}$  is equivalent to that with the zero set  $\{\alpha, \alpha^k\}$  for any  $k \in \{7, 14, 19, 25, 28\}$ , as  $\alpha^7, \alpha^{14}, \alpha^{19}, \alpha^{25}, \alpha^{28}$  are in the same cyclotomic coset. In (Tutdere, 2022), it can be seen from Table 2 that every code over the field  $\mathbb{F}_{2^5}$  with the zero set  $\{\alpha^{d_1}, \alpha^{d_2}\}$  such that  $\{d_1, d_2\} \in \{1, 3, 5, 7, 11, 15\}$  has the covering radius 3 and the minimum distance 5, satisfying the condition of being quasi-perfect. Hence, the code  $C$  that we consider in this example is quasi-perfect.

As the mentioned quasi-perfect codes given in (Tutdere, 2022) is complete for the field  $\mathbb{F}_{2^5}$ , we have checked the codes which are different up to the equivalence, following our argument used in the above examples. Then we have found that there are five such codes having the zero sets  $\{\alpha, \alpha^3\}$ ,  $\{\alpha, \alpha^5\}$ ,  $\{\alpha, \alpha^7\}$ ,  $\{\alpha, \alpha^{11}\}$ , and  $\{\alpha, \alpha^{15}\}$ . On the other hand, it is well-known that the inverse of an APN function is also an APN (Carlet, 2010). Recalling from (Nyberg, 1994) that the inverse of  $x^{2^i+1}$  is  $x^d$ , where

$$d = \sum_{k=0}^{\frac{m-1}{2}} 2^{2ik} \text{ mod } (2^m - 1),$$

with  $m$  being odd. It can be easily found that the exponents  $x^7$  and  $x^{11}$  are obtained from the inverses of the Gold functions.

### 3.2. Covering Radius for Non-quadratic APNs

In (Li et al., 2016), Li and Helleseth computationally find for small values of  $m$  that the covering radius of the codes defined by the known non-quadratic APN functions on  $\mathbb{F}_{2^m}$  is 3 and *e-ISSN:2148-2683*

mainly based on this observation, whether the codes for all APN functions are quasi-perfect is posed as an open question (see Section 2), which is still unsettled. However, the details of their computation and the values of  $m$  is not given in (Li et al., 2016). We here compute the covering radii for  $m \leq 8$  for all the known non-quadratic APN functions, which are listed in Table 1, and find that the codes defined by those APN functions have covering radius 3, which confirms the result of (Li et al., 2016) independently. As a result we obtain the following.

**Theorem 3.2.** The codes defined by the non-quadratic APN functions given in Table 1 are quasi-perfect for all  $m \leq 8$ .

**Proof.** Let  $C_f$  be a code defined by a non-quadratic APN function  $f$  over the finite field  $\mathbb{F}_{2^m}$  given in Table 1. By Lemma 2.1. the minimum distance of  $C_f$  is 5. By using the Sage code given in Figure 1, we obtain that the covering radius of  $C_f$  is 3. Therefore, by Definition 2.1,  $C_f$  is a quasi-perfect code.

Tablo 1.  $\mathbb{F}_{2^m}$  üzerinde kuadratik olmayan ve bilinen tüm  $x^d$  biçimindeki APN fonksiyonları.

Table 1. All the known non-quadratic APN functions in the form of  $x^d$  on  $\mathbb{F}_{2^m}$ .

Family	Exponent (d)	Condition
(Dobbertin,2001)	$16^i + 8^i + 4^i + 2^i - 1$	$i = m/5$
Inverse (Nyberg, 1994)	$4^i - 1$	$i = \frac{m-1}{2}$
(Kasami,1971)	$4^i - 2^i + 1$	$(i, m) = 1$
Niho (Dobbertin,1999), (Hollmann et al., 2001)	$2^i + 2^{i/2} - 1$ , for even $i$ $2^i + 2^{\frac{3i+1}{2}} - 1$ , for odd $i$	$i = \frac{m-1}{2}$
Welch (Canteaut et al., 2000), (Dobbertin, 1999)	$2^i + 3$	$i = \frac{m-1}{2}$

We use Sage (Developers et al., 2020) with GAP package Guava, which is limited to computing with finite fields of size at most 256, to find the covering radius of codes corresponding to the APN functions in Table 1. The Sage code that we use is given in Figure 1.

```

1: m=eval(input('Enter m:'))
2: d=eval(input('Enter d:'))
3: R.<x> = PolynomialRing(GF(2))
4: F.<t> = GF(2^m)
5: p = t.minpoly()
6: q = (t^d).minpoly()
7: g = p*q
8: C = codes.CyclicCode(generator_pol = g, length = 2^m-1)
9: print('Covering radius =',C.covering_radius())

```

Figure 1. Sage code used to compute the covering radius.

Şekil 1. Örtme yarıçapını hesaplamak için kullanılan Sage kodu.

In Figure 1, lines 1 and 2 request from user to enter the degree of the extension field ( $m$ ) and the exponent ( $d$ ), respectively. Line 3 creates a univariate polynomial ring  $R$  in  $x$  over  $\mathbb{F}_2$  and line 4 builds a finite field  $F$  in  $t$  of size  $2^m$ . Lines 5 and 6 obtain the minimal polynomials of  $t$  and  $t^d$  as  $p$  and  $q$ , respectively. Then, multiplying the minimal polynomials  $p$  and  $q$ , the generator polynomial  $g$  of the cyclic code  $C$  is found in line 7. After that, the cyclic code  $C$  of length  $2^m - 1$  is constructed in line 8 by

using the generator polynomial  $g$ . Finally, line 9 computes and displays the covering radius of the code  $C$ . Notice that the command `covering_radius` in line 9 requires the GAP package Guava.

**Remark 3.3.** It is well-known that the inverse function  $x \rightarrow x^{-1}$  on  $\mathbb{F}_{2^m}$  is differentially 4-uniform for even values of  $m$ , that is, it is not an APN function. For this case, we have checked the covering radius of the inverse function for even  $m \leq 8$  and found that it is also 3. However, it is necessary to find the minimum distance to show that whether they are quasi-perfect or not (see Definition 2.1), which may require a huge computation power. Hence, with a personal computer we could only compute (by using Sage) for a small value of  $m = 4$  that the inverse function is not quasi-perfect as the minimum distance is found as 3.

We now give an example to illustrate the computation of the covering radius of a code corresponding to an APN function.

**Example 3.3.** For simplicity, let us consider the inverse function  $f(x) = x^3$  on  $\mathbb{F}_{2^3}$ , i.e.,  $m = 3$  and  $d = 3$  (see Table 1). It should be noted that in this case all the APN functions (except the Dobbertin family for which the corresponding condition is not satisfied for  $m = 3$ ) in Table 1 are quadratic and equivalent to the Gold function. The parity-check matrix of the corresponding code  $C_f$  of length  $2^3 - 1 = 7$  is then obtained as follows:

$$H_f = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 & \alpha^5 & \alpha^6 \\ f(1) & f(\alpha) & f(\alpha^2) & f(\alpha^3) & f(\alpha^4) & f(\alpha^5) & f(\alpha^6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 & \alpha^5 & \alpha^6 \\ 1 & \alpha^3 & \alpha^6 & \alpha^2 & \alpha^5 & \alpha & \alpha^4 \end{bmatrix},$$

where  $\alpha$  is a primitive element of the field  $\mathbb{F}_{2^3}$  and each element of the parity-check matrix  $H_f$  can be represented by a binary vector of length 3. The binary representation of the elements of  $\mathbb{F}_{2^3}$  is given by Table 2, in which  $\alpha$  is the primitive element of the irreducible polynomial  $\alpha^3 + \alpha + 1$ .

Tablo 2.  $\mathbb{F}_{2^3}$  sonlu cisim elemanlarının ikili gösterimleri.

Tablo 2. The binary representations of the elements of the finite field  $\mathbb{F}_{2^3}$ .

Field elements	Polynomial representation	Binary representation
0	0	(0, 0, 0)
1	1	(0, 0, 1)
$\alpha$	$\alpha$	(0, 1, 0)
$\alpha^2$	$\alpha^2$	(1, 0, 0)
$\alpha^3$	$\alpha + 1$	(0, 1, 1)
$\alpha^4$	$\alpha^2 + \alpha$	(1, 1, 0)
$\alpha^5$	$\alpha^2 + \alpha + 1$	(1, 1, 1)
$\alpha^6$	$\alpha^2 + 1$	(1, 0, 1)

Substituting the binary representations for the respective field elements of the parity-check matrix, we get the following form of  $H_f$ :

$$H_f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

from which we should find the smallest number such that every element of  $\mathbb{F}_2^6$ , i.e., every binary vector of length 6 corresponding to the 8-ary 2-tuples, can be represented by a linear combination of at most that number of columns to determine the covering radius of the code  $C$ . Clearly, there are 7 columns of  $H_f$  and the numbers  $1 + \binom{7}{1} = 8$  and  $1 + \binom{7}{1} + \binom{7}{2} = 29$  of the linear combinations of at most one and two columns, respectively, are less than the number  $2^6 = 64$  of the elements of  $\mathbb{F}_2^6$ . Thus, the covering radius should be greater than 2. One can computationally check that when we take into account the linear combinations of 3 columns, all the binary vectors of length 6 are produced, and consequently the covering radius of the code  $C_f$  obtained from the inverse function  $f(x) = x^3$  on  $\mathbb{F}_{2^3}$  is 3. Notice that the code  $C_f$  has minimum distance 5 due to Lemma 2.1, and hence the condition of being quasi-perfect given by Definition 2.1 is satisfied.

### 4. Conclusions and Recommendations

In this paper, we studied on the covering radii of some cyclic codes defined by the quadratic and non-quadratic APN functions over the finite fields  $\mathbb{F}_{2^m}$ . We first gave a discussion on some equivalences of quasi-perfect codes defined by Gold functions, and showed that by applying the result of (Tutdere, 2022), one can obtain the covering radii of these codes. Next, by computing the covering radii of the codes defined by some non-quadratic APN functions over the finite field  $\mathbb{F}_{2^m}$ , for  $1 \leq m \leq 8$ , we showed that these codes are quasi-perfect. Moreover, we found out in the process that the covering radii of the codes defined by the inverse function for odd values of  $m$ , which are not APN, is the same as those of the APN functions. By studying on the method of (Tutdere, 2022), one may obtain the covering radii of the codes defined by the non-quadratic APN functions for large values of  $m$  ( $m \geq 9$ ) as a future work. If it is true that all these codes have covering radius 3, then as the minimum distance of these codes is 5, one obtains a large class of binary quasi-perfect codes.

### References

Canteaut, A., P. Charpin, P., & Dobbertin, H. (2000). Binary  $m$ -sequences with three-valued crosscorrelation: a proof of Welch's conjecture. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 46(1), 4-8.

Carlet, C. (2010). Vectorial Boolean functions for cryptography. In *Boolean Models and Methods in Mathematics, Computer Science, and Engineering*. Eds. Y. Crama and P. L. Hammer, Cambridge Univ. Press, 398-469.

Carlet, C., Charpin, P., & Zinoviev, V. (1998). Codes, bent functions and permutations suitable for DES-like cryptosystems. *Des. Codes. Crypt.*, 15(2), 125-156.

Cohen, G. D., Honkala, I., Litsyn, S., & Lobstein, A. (1997). *Covering Codes*. Elsevier.

Cohen, G. D., Karpovsky, M. G., Jr. Mattson, H. F., and Schatz, J. R. (1985). Covering radius-survey and recent results. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 31(3), 328-343.

Cohen, G. D., Litsyn, S. N., Lobstein, A. C., & Jr. Mattson, H. F. (1997). Covering radius 1985-1994. *Appl. Algebra Engrg. Comm. Comput.*, 8(3), 173-239.

Çalışkan, B. (2021).  $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$  Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 660-664.

- Delsarte, P. (1973). Four fundamental parameters of a code and their combinatorial significance. *Inf. Control*, 23, 407-438.
- Dobbertin, H. (1999). Almost perfect nonlinear power functions on  $GF(2^n)$ : the Welch case. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 45(4), 1271-1275.
- Dobbertin, H. (1999). Almost perfect nonlinear power functions on  $GF(2^n)$ : the Niho case. *Inf. Comput.*, 151(1), 57-72.
- Dobbertin, H. (2001). Almost perfect nonlinear power functions on  $GF(2^n)$ : a new case for  $n$  divisible by 5. *Finite Fields and Applications, Springer, Berlin, Heidelberg*. 113-121. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-56755-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56755-1_11)
- Gold, R. (1968). Maximal recursive sequences with three-valued recursive cross-correlation functions. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 14(1), 154-156.
- Hollmann, H. & Xiang, Q. (2001). A proof of the Welch and Niho conjectures on cross-correlations of binary  $m$ -sequences. *Finite Fields and Their Applications*, 7(2), 253-286.
- Kavut, S. & S. Tutdere, S. (2019). The covering radii of a class of binary cyclic codes and some BCH codes. *Des. Codes Cryptogr.*, 87, 317-325.
- Kasami, T. (1971). The weight enumerators for several classes of subcodes of the 2nd order binary Reed-Muller codes. *Inf. Control*, 18(4), 369-394.
- Nyberg, K. (1994). Differentially uniform mappings for cryptography. *Advances in Cryptology- Eurocrypt'93, LNCS 765. Springer, Berlin Heidelberg*, 55-64.
- Li, C. & Helleseht, T. (2016). Quasi-perfect linear codes from planar and APN functions. *Cryptography and Communications*, 8(2), 215-227.
- Moreno, O. & Castro, N. F. (2003). Divisibility properties for covering radius of certain cyclic codes. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 49(12), 3299-3303.
- Tutdere, S. (2022). On the covering radii of a class of binary primitive cyclic codes. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 51(1), 20-26.
- Van Lint, J. H. & R. Wilson, R. (1986). On the minimum distance of cyclic codes. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 32(1), 23-40.
- Developers, T. S., Stein, W., Joyner, D., Kohel, D., Cremona, J., & Eröcal, B. (2020). *SageMath, version 9.0*. Retrieved from <http://www.sagemath.org>



# İnvazive Mekanik Ventilatörde Hava Miktarını Ölçmek için Hava Ölçme Sensörünün Tasarımı, İmalatı ve Testi

Mahmut Turhan\*

\*Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7633-483), [drmahmutturhan@gmail.com](mailto:drmahmutturhan@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 25 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 21 Ağustos 2022)

(DOI:10.31590/ejosat.1108820)

**ATIF/REFERENCE:** Turhan, M. (2022). İnvazive Mekanik Ventilatörde Hava Miktarını Ölçmek için Hava Ölçme Sensörünün Tasarımı, İmalatı ve Testi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 520-523.

## Öz

Çinin Wuan kentinde başlayan korana virüsün yol açtığı Covid-19 Hastalığı, bütün dünyayı etkileyen bir pandemiye dönüştü. Bu hastalık akciğerlerin çalışmasını etkilediği için mekanik ventilatör ihtiyacı dünyada hızlı bir şekilde artmıştı. Bütün dünya ülkelerinin aynı anda cihaza ihtiyaç duyulmaları talebin patlamasına neden olmuştu. Talebin yüksek olup arzın az olması yedek parça ve cihaz ihtiyacının artmasına neden olmuş bu da yerli imkânlarla konunun çözümünün gerekliliğini ortaya koymuştur. Pandemi süresinde daha hassas ve daha ucuz hava ölçme sensörlerini üretmekten ziyade tedarik edebilmek en büyük problem olarak ortaya çıkmıştır. İnvazive mekanik ventilatörde hava miktarının ölçmek için uygun çapta venturi tüpü tasarlanarak tasarlanan sisteme göre yazılım yapıp hava ölçme sensörünün üretimi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnvazive, Mekanik ventilatör, Air measurement sensor, Venturi tüp, Venturi metre, Bernoulli, Covid-19

## Air Measuring Sensor, Design, Manufacture and Test to Measure the Amount of Air in the Invasive Mechanical Ventilator

### Abstract

The Covid-19 Disease, caused by the corona virus that started in Wuan, China, has turned into a pandemic that affects the whole world. Since this disease affects the functioning of the lungs, the need for mechanical ventilators has increased rapidly in the world. The need for the device in all the countries of the world at the same time caused the demand to explode. The high demand and low supply led to an increase in the need for spare parts and devices, which revealed the necessity of solving the issue with domestic means. During the pandemic, supplying more sensitive and cheaper air measurement sensors rather than producing them has emerged as the biggest problem. In order to measure the amount of air in the invasive mechanical ventilator, a venturi tube of suitable diameter was designed and the software was made according to the designed system, and the air measurement sensor was produced.

**Keywords:** Invasive mechanical ventilator, Venturi tube, Venturi meter, Bernoulli, Covid-19

\*Sorumlu Yazar: [drmahmutturhan@gmail.com](mailto:drmahmutturhan@gmail.com)

## 1. Giriş

2019'un sonunda, Şiddetli Akut Solunum Sendromu CoronaVirus (SARS-CoV-2) adı verilen yeni bir koronavirüs, Çin'in Vuhan kentinde akut solunum yolu hastalığı salgınıyla sonuçlandı. Pandemi dünyada entübe edilen hasta sayısını artırdı. Türkiye'de de diğer ülkelere benzer şekilde entübe edilen hasta sayısında önemli ölçüde artış görüldü. Hastaların entübasyonu mekanik invazive ventilatörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Ventilatör gaz akışını kontrollü bir şekilde hastanın solunum yollarına göndererek solunum oluşturmaya veya solunum sürecini devralmaya yardımcı olan tıbbi cihazdır. Bu cihazlar genellikle önceden ayarlanmış ayarlara göre pozitif basınçlı gaz akışları oluşturarak akciğerlerin aralıklı şişirilmesini sağlayarak bozulan gaz değişimini düzenler. Bu cihazlardaki can alıcı nokta hastaya verilen hava miktarının ölçülmesidir. Solunum cihazlarında hastaya verilen hava miktarının ve hastadan geri dönen hava miktarının ölçülmesi hayati öneme sahiptir. Hastaya giden ve gelen hava miktarı hava ölçüm sensörü vasıtasıyla yapılmaktadır.

Ventüri metre gaz ve sıvı haldeki maddelerin akışkan haldeyken miktarlarını ölçmeye yarayan ölçü aletidir. Hava ölçüm sensörünün üretimini en temel yapı taşı ventüri tüptür. Ventüri tüpünün temel ölçme mantığı Bernoulli prensibinde belirtildiği gibi basınç farkı oluşturmaktır. Bunun için ölçü aletinde akışkanın içerisinden geçtiği boru akış yönüne doğru daralmakta dar alandan geçtikten sonra, daralan alan tekrar giriş yönündeki boru çapına gelene kadar genişlemektedir. Borunun daralarak oluşturduğu dar alanda akışkanın hızı artar ve basıncı düşer bu denden dolayı giriş alanındaki hızı ile dar alandaki hız arasında fark olduğu gibi geniş alandaki basıncı ile dar alandaki basınç arasında da bir fark oluşur. Bu temel mantık kapsamında hava ölçüm sensörü dizayn edilmiştir.

## 2. Dizayn

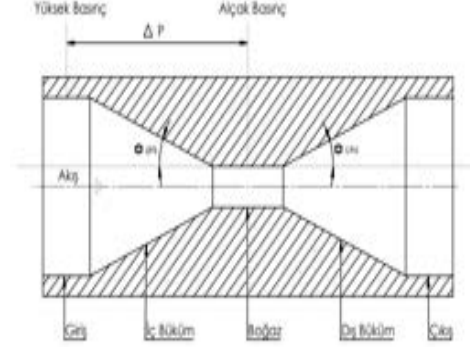
Hastaya giden ve gelen hava miktarı ve hava akış hızı ventilatörden izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken en önemli parametredir. Genel olarak kullanılan invazive mekanik ventilatörde kullanılan hava akış hızı 50l/dak. ile 60l/dak arasında değişmektedir. (21) Limitler dışındaki hava miktarı hava akış hızı dokuya dolaylı olarak hastaya geri dönülmez zararlar verebilir. (23) Hava akış miktarı ventüri metreler ile basınç farkı yoluyla ölçülebilmektedir.

Bu çalışma ile ithal edilmekte olan hava ölçüm sensörleri yerine yerli imkanlarla invazive mekanik ventilatörde kullanılmak üzere hava ölçüm sensörü geliştirilmeye çalışılmıştır. Ventilatör için gerekli olan hastaya verilen ve alınan hava basıncı, akış miktarı ve hacmi bu sayede doğru bir şekilde ölçülmeye çalışılmıştır. Bunu için mikro işlemci, 2 adet basınç sensörü, bir adet oksijen sensörü ve bir adette ventüri tüp kullanılmış akciğerin yerini alacak yapay akciğer kullanılmıştır.

Hava ölçme sensöründe ventüri tüpün üzerinde basınç farkı ile çalışan debi metre, oksijen sensörü ve basınç sensörleri mevcut olup anılan sensörlerden gelen değerler bilgisayar yazılımı vasıtasıyla hesaplanarak bilgi ekranına verilmektedir. Hava miktarı ventüri tüpün giriş ve çıkış basınç farkları Bernoulli prensibine dayanarak mikro işlemci tarafından ölçülmektedir. Ventüri tüpün tasarım ve dizayn karakteristiğine bağlı olarak

elde edilen katsayılar hesaplanarak bilgisayar programında kullanılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Seçilmiş olan sensörler ölçmüş oldukları basınca göre doğrusal ve net bir çıkış voltajı vermektedir. Basıncın artmasına bağlı olarak çıkış voltajı da artmaktadır.

Ventüri tüpün geometrik yapısı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Ventüri metrenin iç yapısı. (Figure 1. Venturimeter internal structure)

Ventüri tüpünün giriş boru çapı 26mm olup 30mm çapındaki alüminyum bloğun içi talaşlı imalat ile işlenerek elde edilmiştir. Ventüri tüpünün giriş kısmına yüksek basınç ölçüm sensörü bağlantı deliği boğaz kısmına düşük basınç ölçme sensörü bağlantı deliği açılmıştır. Ventüri tüpünün girişi 22 derece eğim ile 6mm çapındaki boğaz bölümüne gelmekte tekrar 22 derecelik eğim ile çıkış yapmaktadır. Hesaplama alanı olarak giriş ventüri çapı ile boğaz çapı alınmıştır. Akışkanın daha doğru hesaplanabilmesi için 22 derecelik yumuşatma açısıyla havanın boğaza girişi sağlanmakla beraber hassasiyeti artırmak için boğaz çapı giriş çapının ¼ olarak seçilmiştir.

İçerisinde nemsiz gaz geçen tüplerde basınç farkı ile gaz miktarının ölçülmesi Bernoulli prensibi ile 1 nolu denklemde verilmekte;

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (1)$$

Olarak ölçülmekte teorik hacimsel akış miktarı

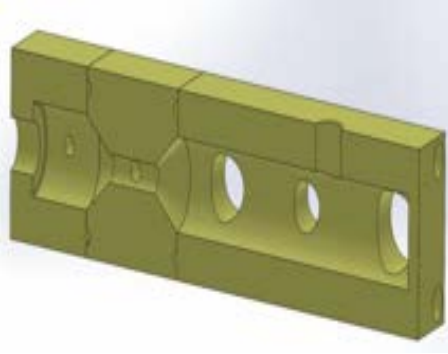
$$\dot{V} = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (2)$$

2 nolu denklemde hacimsel akış oranı  $V[L.s^{-1}]$ , giriş boru çapı  $A_1[m^2]$ , boğumlu boru çapı  $A_2[m^2]$ , basınç farkı  $P_a$  akışkan yoğunluğu  $\rho[kg/m^3]$  ile gösterilmiş olup hesaplanan değer ile gerçek değer arasında sapma sabiti vardır. Sapma sabiti  $C_D$  3 nolu denklemde gösterilmiştir.

$$C_D = \left( \frac{\dot{V}_{Actual}}{\dot{V}_{Theoretical}} \right) \quad (3)$$

Ventüri tüpünün 3 boyutlu geometrik boyutu Şekil 2'de sunulmuştur.





Şekil 2.Ventüri metrenin iç kesiti(Figure 2.Inner section of venturimeter. )

Ventüri tüpünü oluşturan blok içerisinde geçen havayı hesaplamamız için basınç fark sensörü ile çalışan debimetre, akan havadaki oksijen gazı miktarını ölçen oksijen sensörü havanın basıncını ölçen basınç metre bulunmaktadır. Ventüri metrenin yapısını Şekil 2 de fotoğrafı Şekil 3' de sunulmuştur.



Şekil 3.Ventüri metrenin fotoğrafı (Figure 3. Picture of venturimeter )

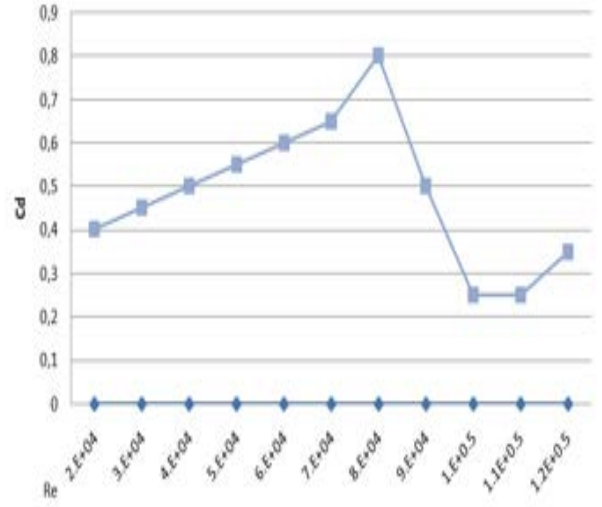
Doğru ventilasyon ölçümü hastanın oksidasyonun düzeyi için dolaylı olarak ta hasta için hayati öneme sahiptir. Tasarımı yapılmış olan ventüri tüp ile üretilmiş olan ventüri tüpünün yapılan ölçümlerinde standart bir fark oluşmaktadır. 4 nolu denklemde volumetric akış oranı  $Q$  nun hesaplanması gösterilmiştir.

$$Q = \left[ C_d A_2 \left( \frac{2 \Delta p}{\rho (1 - \beta^4)} \right)^{0.5} \right] \cdot F_a \cdot Y \quad (4)$$

$$C_d = a \cdot Re^b \quad (5)$$

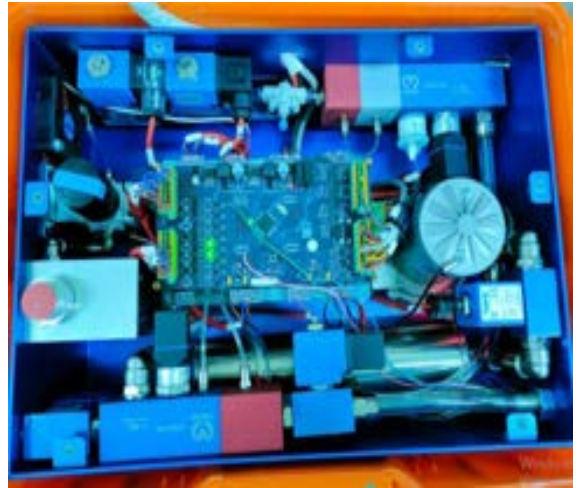
$C_d$  düzeltme faktörü olup  $F_a$  testler sonuç elde edilen değer olup ISO5167 belirtilmiştir. Basınçlandırılmayan akış sabiti olan  $F_a$  1 olarak alınabilir gaz ve buhar bulunan durumlarda flowmetrenin geometrisine ve akış durumuna göre  $F_a > 1$  olabilir. Yapılan deneysel çalışmalarda  $F_a$  ve  $Y$  nin birbirine eşit ve bir olarak alınmıştır. Reynold sayısı olan  $Re$  5 nolu denklem ile hesaplanmıştır.

Denklemde bulunan  $a$  ve  $b$  sayısı ( $a=1.5054$  ve  $b=-0.0510$ ) deneysel çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucu Şekil 4' de sunulmuştur.  $Re$  sayısının nasıl elde edildiği 6 nolu denklemde verilmiştir.



Şekil 4.  $Re$  sayısı ile  $C_d$  düzeltme faktörü arasındaki fonksiyonun eğrisini gösterimi (Figure 4.Representation of the curve of the function between  $Re$  number and  $C_d$  correction factor. )

Üretimini ve yazılımını yapmış olduğumuz hava miktarı ölçme sensörünün invaziv mekanik ventilatörde kullanılmıştır. Cihazın resmi Şekil 5' de sunulmuştur.



Şekil 5.Invasive Mekanik Ventilatör Cihazı. (Medel Mate007 Invasive Mechanical Ventilator Device. )

Invasive Mekanik Ventilatörde kullanılan hava miktarı ölçme sensörünün yapmış olduğu ölçümler uluslar arası sertifikalı Fluke VT650 kalibratör ile yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablo-1 sunulmuştur. Yapılan ölçümler arasında oluşan farka istinaden cihazdaki yazılımda kalibrasyon yapılarak hava miktarı ölçme sensörünün doğruluğu sabitlenmiştir. Kullanılan Fluke VT650 cihazın şekli Şekil 6' da sunulmuştur.



Şekil 6. Fluke VT650 solunum cihaz kalibratörü.  
(Fluke VT650 breathing apparatus calibrator.)

Geliştirtmiş olduğumuz hava miktarı ölçme sensörü uluslararası standart değerlendirme kuruluşu tarafından; EN 60601-1: Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereklilikler, EN 60601-1-2: 2016 Tıbbi Elektrik Ekipman - Bölüm 1-2: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereksinimler - Yardımcı Standart: Elektromanyetik Uyumluluk - Gereksinimler ve Test, EN 60601-1-6: 2010 Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1-6: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereksinimler, EN 60601-1-8: 2007 Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 1-8: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Genel Gereklilikler, ISO 80601-2-12: Tıbbi Elektrikli Ekipman - Bölüm 2-12: Temel Güvenlik ve Temel Performans İçin Özel ve EN 62304: 2006 "Tıbbi Cihaz Yazılımı - Yazılım Yaşam Döngüsü İşlemleri" Standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

### 3. Sonuçlar

Yerel piyasada bulunan malzemeler ile invaziv mekanik ventilatörde kullanılabilen uluslararası standartlara uygun hava miktarı ölçme sensörü dizayn ve imal edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Yapmış olduğumuz sensörde kullanılan venturi metre tüpleri alüminyum esaslı malzemeden talaşlı imalat yöntemiyle üretilmesi nedeniyle ağırlığın azaltılması için sağlık açısından uygun uluslararası standartlar dahilinde daha hafif kompozit malzemeden imal edilebilmesi için daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

### Kaynakça

- WHO Director, 2020. General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 (Available: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-generals-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-%2D-%2D>, [Cited 12 Mar 2020].
- Covid-19 Report, 2020. Turkish Health Ministry, 2nd September 2020.  
<https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/38214,covid-19-haftalik-durum-raporu>,
- Wang C.S., Shaw D., Jih K.S., 1998. An Intelligent Control System for Ventilators, Medical Engineering & Physics, Vol. 20, 534-542.
- Azzopardi BJ, Teixeira SFCF, Pulford CI. "A quasi-one-dimensional model for gas/solids flow in venturis". Powder Technology, 102(3), 281-288, 1999.

- Boyer C, Lemonnier H. "Design of a Flow Metering Process for Two-Phase Dispersed Flows". Multiphase Flow, 22(4), 713-732, 1996.
- Denghui H, Bofeng B. "Numerical investigation of wet gas flow in Venturimeter". International Journal of Multiphase Flow Measurement and Instrumentation, 34(12), 1119-1129, 2012.
- Ghassemi H, Fasih FH. "Application of small size cavitating venturi flow controller and flow meter". Flow Measurement and Instrumentation, 22(5), 406-412, 2011.
- Jinga J, Yuana Y, Duc S, Yina X, Yin R. "A CFD study of wet gas metering over-reading model under high pressure". Flow Measurement and Instrumentation, 22(1), 33-42, 2019.
- Kartashev AL, Kartasheva MA, Terekhin AA. "Modeling Operating Regimes in Multiphase Flowmeter Flow Path Using CFD Methods". International Conference on Industrial Engineering, Chelyabinsk, The Russian Federation, 15-18 June 2017.
- Lima JM, Yoon BH, Ohc YK, Park AK. "The humidity effect on airflow rates in a critical flow venturi nozzle". Flow Measurement and Instrumentation, 22(2), 402-405, 2011.
- Monni G, Salve DM, Panella B. "Two-phase flow measurements at high void fraction by a Venturimeter". Progress in Nuclear Energy, 77, 167-175, 2014.
- Titheradge P, Robert R. "Establishing suitable diameters of venturi tubes for use in measuring human airflow and ventilation". Journal of Science and Medicine in Sport, 32-66, 2017.
- Yanagihara S, Mochizuki O, Sato K, Saito K. "Variable area venturi-type exhaust gas flow meter". Technical Notes/JSAE Review, 20, 259-279, 1999.
- Wrasse A, Bertoldi D, Dos Santos NE, Morales EMR, Silva J, Da M. "Gas-Liquid Flow Rate Measurement Using a Twin-Plane Capacitive Sensor and a Venturi Meter". IEEE, 7, 135933-135941, USA, 2019.
- T. Mathanlal, M. Israel Nazariou, R. Mantas-Nakhai, M. P. Zorzano, and J. Martin-Torres, "ATMO-vent: An adapted breathing atmosphere for COVID-19 patients," HardwareX, vol. 8, p. e00145, 2020, doi: 10.1016/j.ohx.2020.e00145.
- A. Protti et al., "Role of Strain Rate in the Pathogenesis of Ventilator-Induced Lung Edema\*," Crit. Care Med., vol. 44, no. 9, pp. e838-e845, 2016, doi: 10.1097/CCM.0000000000001718.
- J. C. S. Sonja A. Rasmussen, MD, MS et al., "MIT E-VENT | Emergency ventilator design toolbox," Br. J. Anaesth., vol. 7, no. 1, pp. 1-11, 2020, doi: 10.1183/13993003.00846-2020.
- R. Szlosarek, R. Teichert, A. Wetzel, A. Fichtner, F. Reuter, and M. Kroger, "Design and instruction of a simplified, gas-driven, pressure-controlled emergency ventilator," African J. Emerg. Med., vol. 11, no. 1, pp. 175-181, 2021, doi: 10.1016/j.afjem.2020.09.018
- A. C. Jardim-Neto and C. Perlman, "A low-cost multi-patient pressure-controlled ventilation system with individualized parameter settings," pp. 1-11, 2020, doi: 10.1101/2020.04.17.20069799.



## Seçilmiş Şeftali – Nektarin Melezlerinin *In Vitro* Demir Stresi Altında Mikroçoğaltım Performanslarının Belirlenmesi

Kübra Teper<sup>1</sup>, M. Hakan Erol<sup>2</sup>, Belgin Biçen<sup>3</sup>, Dicle Dönmez<sup>4</sup>, Songül Çömlekçioglu<sup>5</sup>, Sevim Gök<sup>6</sup>, Özhan Şimşek<sup>7</sup>, Ayzin Küden<sup>8</sup>, Yıldız Aka Kaçar<sup>9\*</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0002-0493-5490>), [kubrateper@gmail.com](mailto:kubrateper@gmail.com)

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Biyoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0003-2424-5670>), [hknmsr@gmail.com](mailto:hknmsr@gmail.com)

<sup>3</sup>YK Teknopark, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0001-8931-4759>), [bturunc02@yahoo.com](mailto:bturunc02@yahoo.com)

<sup>4</sup>Çukurova Üniversitesi, Biyoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0002-7446-9405>), [dicleonmez4@gmail.com](mailto:dicleonmez4@gmail.com)

<sup>5</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0003-1275-4574>), [songulcomlekcioglu@gmail.com](mailto:songulcomlekcioglu@gmail.com)

<sup>6</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0003-4947-3979>), [sevimgok@yahoo.com](mailto:sevimgok@yahoo.com)

<sup>7</sup>Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0001-5552-095X>), [ozhan12@gmail.com](mailto:ozhan12@gmail.com)

<sup>8</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0002-0811-6695>), [abkuden@gmail.com](mailto:abkuden@gmail.com)

<sup>9\*</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0001-5314-7952>), [ykacar@cu.edu.tr](mailto:ykacar@cu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 29 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1134654)

**ATIF/REFERENCE:** Teper, K., Erol, M.H., Biçen, B., Dönmez, D., Çömlekçioglu, S., Gök, S., Şimşek, Ö., Küden, A. & Aka Kaçar, Y. (2022). Seçilmiş Şeftali – Nektarin Melezlerinin *In Vitro* Demir Stresi Altında Mikroçoğaltım Performanslarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 524-528.

### Öz

Şeftali ve nektarin yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve ekonomik değeri yüksek olan meyve türlerindedir. Türlerarası melezleme ile biyotik ve abiyotik strese dayanım gibi belirli özelliklere sahip bitkiler geliştirilmektedir. Bitki doku kültürü teknikleri ile melez bitkilerin çoğaltılması gerçekleştirilmekte ve *in vitro* koşullarda stress faktörlerine verdikleri cevap incelenmektedir. Bu çalışmada şeftali-nektarin melezlerinin *in vitro* demir stresine verdikleri cevap incelenmiştir. Çalışmada bitkisel materyal olarak 10 melez genotip kullanılmıştır. *In vitro* demir stresi denemelerinde farklı konsantrasyonlarda (%0, 25, 50 ve 100) FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O içeren (%100=27.8 mg/l) MS besin ortamı kullanılmıştır. Besin ortamlarına 1 mg/l BAP ilave edilmiştir. *In vitro* demir stresi sonucunda çoğalma katsayısı (kardeş/bitkicik), bitki boyu (cm) ve yaprak sayısına (adet) ait veriler incelenmiştir. Stres denemesi sonucunda Fe içermeyen besin ortamında yoğun kloroz gözlenirken, diğer tüm oranlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, düşük Fe konsantrasyonu içeren besin ortamlarında iyi gelişim gösteren melezlerin (RÜ-8, RÜ-46 ve VÜ-74) demir stresine cevaplarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Abiyotik stress, Bitki doku kültürü, MS, BAP, Kloroz.

## Determination of Micropropagation Performance of Selected Peach-Nectarine Hybrids in *In Vitro* Iron Stress

### Abstract

Peaches and nectarines are among the fruit species that are cultivated and have economic value. Plants with certain characteristics such as resistance to biotic and abiotic stresses are developed by interspecies hybridization. Reproduction of hybrid plants is carried out by plant tissue culture techniques and their response to stress factors *in vitro* conditions is examined. In this study, the response of peach-nectarine hybrids to iron stress *in vitro* was investigated. In this study, 10 hybrid genotypes were used as plant material. MS medium containing FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (100%=27.8 mg/l) at different concentrations (0, 25, 50 and 100%) was used in *in vitro* iron stress experiments. 1 mg/l BAP was added to the nutrient media. The data on the micropropagation coefficient (sibling/plantlet), plant height (cm) and number of leaves (number) as a result of *in vitro* iron stress were examined. As a result of the stress experiment, chlorosis was intensely observed in the nutrient medium without Fe, while better results were obtained in all other ratios. As a result of the study, it was determined that the hybrids (RÜ-8, RÜ-46 and VÜ-74) that developed well in nutrient media containing low Fe concentration had better responses to iron stress.

**Keywords:** Abiotic stress, Plant tissue culture, MS, BAP, Chlorosis

**Özel Not:** Bu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

\* Sorumlu Yazar: [ykacar@cu.edu.tr](mailto:ykacar@cu.edu.tr)

## 1. Giriş

*Rosaceae* familyasının bir üyesi olan şeftali [*Prunus persica* (L.) Batsch] ve nektarin (*Prunus persica* var. *nucipersica* (Borkh) C.K. Schneider) ekonomik açıdan önemli sert çekirdekli meyve türlerindedir. Şeftali ve nektarin tüm dünyada 60'tan fazla ülkede yetiştirilmektedir. Şeftali ve nektarin üretiminde lider ülkeler Çin, İtalya, İspanya, Yunanistan, Türkiye, ABD, İran ve Fransa'dır (FAO, 2022). Şeftali meyveleri, yüksek besin değerleri ve tıbbi özellikleri ile karakterize edilir, taze tüketime ve işleme uygundur, geniş bir olgunlaşma yelpazesine sahiptir ve piyasada büyük talep görmektedir (Mitrofanova ve ark., 2021). Ayrıca, farklı ekolojik koşullara kolay adapte olması, erken meyve tutumu ve uzun bir hasat dönemi nedeniyle yaygın olarak yetiştirilmektedir.

Klasik veya biyoteknolojik yöntemler ile gerçekleştirilen şeftali ve nektarin ıslah programlarında, hastalığa tolerans, erken veya geç olgunlaşma, meyve şekli ve aroma gibi kalite özellikleri iyileştirilmekte, özellikle düşük soğuklama gereksinimi olan genotiplerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Türlerarası melezleme, biyotik ve abiyotik strese dayanım gibi belirli özellikleri yabancı akrabalarından kültür bitkilerine aktararak bitkilerin özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Küden ve ark., 2018).

Abiyotik stres, bitkinin topraktan gerekli besin ve minerallerin taşınmasında metabolik sorunlara yol açmaktadır, kalite ve verimi düşürebilmektedir. Demir (Fe) bitkiler için gerekli bir besindir ve fotosentez ve solunumun elektron taşıma zincirlerinde önemli rol oynar (Connolly ve Guerinot, 2002). Fe, yerkabuğunda en bol bulunan dördüncü elementtir, ancak dünyadaki tarımsal alanların yaklaşık %30'u kalkerli olarak sınıflandırılır ve bitki büyümesi için Fe bakımından yetersizdir. Abiyotik stres faktörlerinden biri olan Fe eksikliğinin başlıca nedeni, Fe'nin esas olarak bitki kökleri tarafından alınmayan, suda çözünmeyen hidroksitler ve oksitler ve/veya karbonat-bikarbonat kompleksleri şeklinde ortaya çıkmasıdır. Fe<sup>2+</sup> miktarının azalması, kloroz, bodur büyüme, ürün kalitesinde ve verimde azalma ve birçok mahsulün besin değerinde düşüşe neden olmaktadır (Boamponsem ve ark., 2017). Şeftali, demir noksanlığına duyarlı meyvelerden olup, demir yoksunluğunda önemli miktarlarda verim düşüşü olmaktadır (Akgül ve ark., 2013).

Bitki ıslahı ve yetiştirme sürecinde daha iyi sonuçlar elde etmek için farklı biyoteknolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bitki biyoteknolojisinin en kapsamlı uygulamalarından biri bitki doku kültürüdür (Koçak ve ark., 2014; Dönmez, 2022). Bitki doku kültürü teknikleri, geliştirilen yeni melez bitkilerin çoğaltılmasına ve bitkilerin stres toleransının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. *In vitro* koşullarda seçim stratejisi, bitkilerin stres toleransı seçimi için düşük maliyetli ve pratik bir araçtır. *In vitro* demir stresi çalışmaları ayva (Muleo ve ark., 1995), şeftali (Lambardi ve ark., 2003), armut (Claveria ve ark., 2012), çilek (Torun ve ark., 2014) ve bezelye (Ahmed ve ark., 2015) gibi farklı bitki türlerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, şeftali ve nektarin arasında gerçekleştirilen melezleme çalışmaları sonrasında elde edilen melezlerden seçilen 10 melez genotipin *in vitro* demir stresi altında mikroçoğaltım performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitkisel Materyal

Çalışmada, bitkisel materyal olarak Tübitak-PRIMA (1180855) projesi kapsamında değerlendirmeye alınan şeftali-nektarin melez genotipleri içerisinde 10 adet melez kullanılmıştır. 'Üstün' isimli yerli şeftali genotipi baba ebeveyn, 'Venüs' nektarin çeşidi ise ana ebeveyn olarak kullanılan VÜ melez genotipleri (VÜ-61, VÜ-65, VÜ-70, VÜ-74, VÜ-78, VÜ-82, VÜ-89) ve yine 'Üstün' baba ebeveyn 'Stark Red Gold' nektarin çeşidinin ana ebeveyn olduğu RÜ melez genotipleri (RÜ-8, RÜ-46, RÜ-90) kullanılmıştır.

### 2.2 Metot

#### 2.2.1. Bitkisel Materyalin Sterilizasyonu ve Kültüre Alınması

Çalışmada kullanılan bitkisel materyallere ait sürgün uçları çeşme suyu altında on dakika yıkanmış, ardından %70'lik etil alkolde 3 dk ve %20'lik sodyum hipoklorit (NaClO) çözeltisinde 10 dk bekletilmiştir. Sonrasında 3 defa steril saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sterilizasyon aşamasından sonra sürgün uçları 1mg/l BA, 30 g/l sükröz, 8 g/l agar içeren MS (Murashige ve Skoog, 1962) besin ortamında kültüre alınmıştır. Sürgün uçları 16 saat aydınlık 8 saat karanlık fotoperiyot ve 25 °C sıcaklık şartlarında kültüre alınmıştır. Kültüre alınan sürgün uçları 4 haftada bir olmak üzere 3 defa altkültüre alınmıştır ve elde edilen bitkiler *in vitro* demir stresi denemelerinde kullanılmıştır.

#### 2.2.2. *In vitro* Demir Stresi Altında Mikroçoğaltım Denemesinin Kurulması

Kültüre alınan ve çoğaltılan bitkiler ile demir stresi denemesi kurulmuştur. Bu amaçla 1 mg/l BA ile desteklenmiş ve içerisinde %, 25, 50 ve 100 oranında FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O bulunan (%100=27.8 mg/l) MS besin ortamları hazırlanmış ve bitkiler bu ortamlara aktarılmıştır. Bitkiler, 16 saat aydınlık 8 saat karanlık ve 25 °C sıcaklık şartlarında kültüre alınmıştır. Bitkiler 4 haftada bir olmak üzere 3 kez altkültüre alınmıştır. Her altkültür sonunda bitkilerin demir klorozuna verdikleri cevap incelenmiştir.

#### 2.2.3. Deneme Planı, İncelenen Kriterler ve İstatistiksel Analizler

Melez genotiplerin *in vitro* demir stresi altında mikroçoğaltım performanslarının incelenmesi amacıyla kurulan denemelerin tamamı 4 tekrürlü, her tekrürde 5 bitki olacak biçimde, faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. *In vitro* demir stresi altında kurulan mikroçoğaltım denemelerinde bitkiler 4 haftada bir olmak üzere toplam 3 defa altkültüre aktarılmıştır. Mikroçoğaltım denemelerinde, her altkültür sonunda;

- çoğalma katsayısı (kardeş/bitki),
- bitki boyu (cm),
- yaprak sayısına (adet) ait veriler incelenmiştir.

*In vitro* demir stresi sonucunda bitkilerden elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur. Varyans analizi neticesinde farklılıkların önemli olduğu uygulamalara ait

ortamalar LSD testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler JMP programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. *In vitro* Demir Stresi Koşullarında Mikroçoğaltım Denemelerine Ait Bulgular

##### 3.1.1. Çoğalma Katsayısına Ait Bulgular

Çalışmada kullanılan şeftali-nektarin melezlerinin *in vitro* demir stresi altında çoğalma katsayısı üzerine Fe, genotip ve Fe\*genotip etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Tablo 1). En fazla çoğalma katsayısı %25 oranında Fe içeren ortamda RÜ-46 genotipinde (4.23 kardeş/bitki) belirlenmiştir. En düşük çoğalma katsayısı ise (1.00 kardeş/bitki) %0, 50 ve 100 Fe içeren besin ortamında VÜ-82 genotipinde ve Fe içermeyen besin ortamında VÜ-89 genotiplerinde belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde melezlerin çoğalma katsayısının düşük olduğu tespit edilmiştir.

##### 3.1.2. Bitki Boyuna Ait Bulgular

Çalışmada kullanılan melezlerin *in vitro* demir stresi altında bitki boyu üzerine genotip ve Fe\*genotip etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Tablo 2). Çalışma sonunda en uzun bitki boyu %25 Fe oranında VÜ-74 genotipinde 2.55 cm olarak belirlenmiştir. En düşük bitki boyu ise %50 ve %100 Fe oranında VÜ-70 (0.76 cm) genotipinde gözlenmiştir.

##### 3.1.3. Yaprak Sayısına Ait Bulgular

Çalışmada kullanılan melezlerin *in vitro* demir stresinde yaprak sayısı üzerine genotip, Fe ve Fe\*genotip etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Tablo 3). En fazla yaprak sayısı %50 Fe oranında olarak RÜ-8 genotipinde (28 adet) belirlenmiştir. En düşük yaprak sayısı %50 Fe oranında VÜ-70 (5 adet) genotipinde tespit edilmiştir.

Tablo 1. *In vitro* demir stresi altında çoğalma katsayısına ait veriler (Table 1. Data of micropropagation coefficient under *in vitro* iron stress)

Genotip	Fe konsantrasyonu (%)				Genotip ort.
	0	25	50	100	
RÜ-8	1.95cdefgh	1.90defgh	2.26cd	2.06cdef	2.04B
RÜ-46	3.43b	<b>4.23a</b>	3.83ab	2.56c	3.51A
RÜ-90	1.03kl	1.33hijkl	1.10kl	1.20kl	1.16DE
VÜ-61	1.10kl	1.26jkl	1.33kl	1.16kl	1.16DE
VÜ-65	1.43ghijk	1.33ijkl	2.10cde	1.84defghi	1.67C
VÜ-70	1.16kl	2.00cdefg	1.43ghijk	1.33kl	1.48CD
VÜ-74	1.83defghij	1.86defghi	1.53efghijk	1.46ghijk	1.43CD
VÜ-78	1.83defghij	1.86defghi	1.53efghijk	1.46ghijk	1.67C
VÜ-82	1.00kl	1.06kl	1.00kl	1.00kl	1.01E
VÜ-89	1.00kl	1.16kl	1.16kl	1.5fghijk	1.20DE
Fe kont. Ort.	1.49B	1.72A	1.63AB	1.47B	

LSDgenotip= 0.302, LSDgenotip\*Fe konsantrasyonu= 0.595, LSD Fe konsantrasyonu=0.189

Tablo 2. *In vitro* demir stresi altında bitki boyuna ait veriler (Table 2. Data on plant height under *in vitro* iron stress)

Genotip	Fe konsantrasyonu (%)				Genotip ort.
	0	25	50	100	
RÜ-8	1.72bcdefg	1.50efghijkl	1.63cdefgh	2.08b	1.73B
RÜ-46	1.45fghijklm	1.58defghijk	1.43ghijklmn	1.80bcdef	1.56BC
RÜ-90	0.80rst	1.26ijklmnop	1.33hijklmno	1.58defghijk	1.24EF
VÜ-61	0.93pqrs	1.05opqrs	1.37ghijklmno	1.38ghijklmno	1.18F
VÜ-65	1.33hijklmno	1.25jklmnop	1.63defghi	1.81bcde	1.50CD
VÜ-70	1.11mnopqrs	1.23klmnopq	0.76st	0.76st	0.94G
VÜ-74	2.05b	<b>2.55a</b>	1.98bc	1.26ijklmnop	1.96A
VÜ-78	1.25ijklmnop	1.93bcd	1.26ijklmnop	1.07nopqrs	1.38DE
VÜ-82	1.15lmnopqr	0.86rst	0.88qrst	1.40ghijklmno	1.07FG
VÜ-89	1.93bcd	1.50efghijkl	1.60defghi	1.40ghijklmno	1.60BC
Fe kont. ort.	1.37	1.47	1.38	1.44	

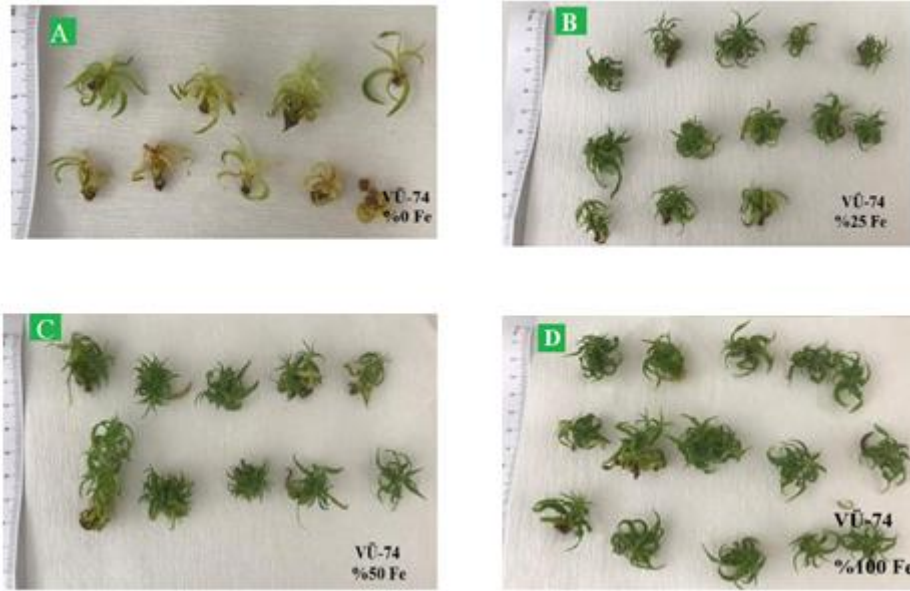
LSDgenotip= 0.18, LSDgenotip\*Fe konsantrasyonu= 0.36

Tablo 3. *In vitro* demir stresi altında yaprak sayısına ait veriler (Table 3. Data on leaf number under *in vitro* iron stress)

Genotip	Fe konsantrasyonu (%)				Genotip ort.
	0	25	50	100	
RÜ-8	22bcdef	24bc	<b>28a</b>	25ab	24.75A
RÜ-46	18hij	22bcdef	21bcdefg	20efghı	20.45B
RÜ-90	11kl	20defghı	20cdefgh	23bcde	18.58CD
VÜ-61	10l	20efghı	19fghı	18ghı	17.00DE
VÜ-65	11l	20defghı	23bcdef	23bcd	19.16BC
VÜ-70	10l	10l	8m	5m	7.91F
VÜ-74	23bcde	23bcdef	18ghı	17hij	20.38BC
VÜ-78	18hij	22bcdefg	17hij	19fghı	19.04BC
VÜ-82	12kl	14jk	16ij	18hij	15.28E
VÜ-89	17hij	19fghı	19efghı	23bcd	19.77BC
Fe kont. Ort.	15.29B	19.38A	18.93A	19.32A	

LSDgenotip= 1.88, LSDgenotip\*Fe konsantrasyonu= 3.71, LSD Fe konsantrasyonu= 1.17

Farklı demir dozlarında gelişen bitkilere ait görüntü Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. VÜ-74 genotipinin farklı demir dozlarındaki görüntüsü. A: %0 Fe, B: %25 Fe, C: %50 Fe, D: %100 Fe (Figure 1. The image of the VÜ-74 genotype at different iron doses. A: 0% Fe, B: 25% Fe, C: 50% Fe, D: 100% Fe)

Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, genotip ve Fe dozuna bağlı olarak yaprak sayısı, bitki boyu ve çoğaltma katsayısı parametrelerinde farklılık tespit edilmiştir. Fe içermeyen besin ortamında kültüre alınan bitkilerde kloroz yoğun olarak görülürken, diğer konsantrasyondaki besin ortamlarında genotipler nispeten daha iyi gelişme göstermiştir. Düşük Fe konsantrasyonu içeren besin ortamlarında RÜ-8, RÜ-46 ve VÜ-74 melezlerinin daha iyi gelişme gösterdiği tespit edilmiştir. Sanz ve ark (1997), şeftalide Fe kloroz semptomlarını indüklemek için standart içeriğin Fe oranını %80, %65, %50, %25 ve %15'e düşürmüşlerdir. Çalışmada kullanılan 2 genotip yüksek Fe oranlarında (%80 %65 ve %50) büyüme, çoğalma ve yaprak sayısında artış göstermiştir. En düşük iki Fe oranında (%25 ve %15) her iki genotipte kloroz gözlenmiştir. Lambardi ve ark. (2003), şeftali anaçlarında yaptıkları çalışmada, Fe içermeyen besin ortamında bitkiciklerin, klorofil ve karotenoid

konsantrasyonundaki azalmaya bağlı olarak şiddetli bir kloroz gösterdiğini bildirmişlerdir. Ahmed ve ark (2015), bezelyelerin *in vitro* Fe eksikliğine toleransını araştırmışlardır. Fe eksikliği, MS ortamında kültüre alınan bazı genotiplerin klorofil a ve b konsantrasyonlarında, yaprak sayısı, sürgün boyu ve bitki ağırlığında ciddi düşüşe neden olmuştur, genotip etkisinden dolayı bazı genotiplerde ise önemli ölçüde azalma görülmemiştir. Genotipler arasında Fe eksikliğine dayanıklı seleksiyona olanak sağlayan geniş bir varyasyon olduğu belirlenmiştir. Hasan Ali Dagman (2009), *Prunus* anaçlarının (Myrobolan ve Garnem) mikroçoğaltımı üzerine çalışmalar yürütmüştür. Çalışmada %100 demir içeriğine sahip MS besin ortamı kullanılmıştır. Çalışma sonunda Garnem için en yüksek çoğalma katsayısı 4.21 kardeş/bitki, bitki boyu 2.38 cm ve yaprak sayısı 42.43 adet olarak tespit edilmiştir. Myrobolan anacı için çoğalma katsayısı 5.25 kardeş/bitki, bitki boyu 2.25 cm, yaprak sayısı 45.71 adet olarak

bulunmuştur. Yapılan bu çalışma kapsamında %100 demir konsantrasyonunun bulunduğu ortamlarda en yüksek çoğalma katsayısı 2.56 kardeş/bitki (RÜ-46), bitki boyu 2.08 cm (RÜ-8) ve yaprak sayısı 25 adet (RÜ-8) olarak belirlenmiştir. Aynı familyaya ait bu iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, standart anaç olarak kullanılan Myrobolan ve Garnem anaçlarının *in vitro* performanslarının yüksek olduğu, fakat bu çalışmada kullanılan melezlerin *in vitro* koşullarda çoğalma performanslarının oldukça düşük olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar demirin bitki gelişimi açısından önemli olduğunu, bununla birlikte demir konsantrasyonunun çoğalma, bitki boyu ve yaprak sayısı gibi parametrelere etkisinin genotiplere göre farklı sonuçlar verebileceğini göstermiştir.

#### 4. Sonuç

Bitki doku kültürü çalışmaları ile bitkilerin hızlı bir şekilde özellikle abiyotik stres faktörleri açısından taranması mümkün olabilmektedir. Farklı meyve türlerinde kuraklık, tuzluluk ve demir stresi başta olmak üzere birçok *in vitro* çalışma yürütülmüştür. (Aka Kacar ve ark., 2014; Simsek, 2018; Zekai, 2022). Demir taraması da bu özellikler arasında yer almaktadır. Bitki doku kültürü yöntemleri ile bu taramaların yapılması zaman ve maliyet açısından fayda sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada şeftali-nektarin melezlerinin *in vitro* demir stresine verdikleri cevap incelenmiştir. Çalışma sonucunda, düşük Fe konsantrasyonu içeren besin ortamlarında iyi gelişim gösteren melezlerin (RÜ-8, RÜ-46 ve VÜ-74) demir stresine cevaplarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FYL-2019-12427). Çalışmada kullanılan bitkisel materyal Tübitak-PRIMA (1180855) projesinden temin edilmiştir.

#### Kaynakça

- Ahmed, I., Kabir, A. H., Rahman, M. F., & Alam, F., (2015). *In vitro* screening of pea genotypes tolerant to iron deficiency based on physiological traits. *International Journal of Biosciences*, 6, 460-467.
- Aka Kacar, Y., Şimşek, Ö., Dönmez, D., Boncuk, M., Yeşiloğlu, T., & Ollitrault, P. (2014). Genetic relationships of some Citrus genotypes based on the candidate iron chlorosis genes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3), 340-347.
- Akgül, H., Uçgun, K., & Altındal, M. (2013). Bazı şelath demir gübrelerinin şeftalide demir eksikliği klorozuna etkileri. *Meyve Bilimi*, 1(1), 12-17.
- Boamponsem, G. A., Leung, D. W., & Lister, C. (2017). Insights into resistance to Fe deficiency stress from a comparative study of *in vitro*-selected novel Fe-efficient and Fe-inefficient potato plants. *Frontiers in plant science*, 8, 1581.
- Claveria, E., Asín, L., Iglesias, I., Vilardell, P., Bonany, J., Simard, M.H. & Dolcet-Sanjuan, R. (2012). *In vitro* screening for tolerance to iron chlorosis as a reliable selection tool in a pear rootstock breeding program. *Acta Horti*, 935, 199-205,
- Connolly, E. L., & Guerinot, M. L. (2002). Iron stress in plants. *Genome Biology*, 3(8), 1-4.
- Dönmez, D. (2022). Regeneration of plants from alginate-encapsulated shoot tips of myrtle (*Myrtus communis* L.). *Erwerbs-Obstbau*, 64, 307-314.

- FAO (2022). [www.faostat.com](http://www.faostat.com) Erişim Tarihi: 23.05.2022
- Hasan Ali Dagman, F. 2019. Bazı meyve anaçlarının klasik doku kültürü ve yeni nesil geçici daldırma biyoreaktör sistemi ile mikroçoğaltımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kocak, M., Izgu, T., Sevindik, B., Tutuncu M, Curuk P, Simsek O, Kacar, Y. A., da Silva, J. A., Mendi, Y. Y. (2014) Somatic embryogenesis of Turkish Cyclamen persicum Mill. *Scientia Horticulturae*, 9(172):26-33.
- Kuden, A. B., Comlekcioglu, S., Sarier, K., Imrak, B., & Kuden, A. (2018). Peach breeding studies in Turkey and the evaluation of peach and nectarine hybrids. *Breeding and Health Benefits of Fruit and Nut Crops*, 47.
- Lambardi, L., Sebastiani, L., & Vitagliano, C. (2003). Physiological, biochemical, and molecular effects of *in vitro* induced iron deficiency in peach rootstock Mr.S 2/5, *Journal of Plant Nutrition*, 26(10-11), 2149-2163.
- Mitrofanova, I., Lesnikova-Sedoshenko, N., Tsiupka, V., Smykov, A., & Mitrofanova, O. (2021). Use of biotechnological methods to support the production of new peach hybrids. *Horticulturae*, 7(12), 533.
- Muleo, R., Cinelli, F., & Viti, R. (1995). Application of Tissue culture on quince rootstock in iron limiting conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 18(1), 91-103.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.
- Sanz, M., Pascual, J., & Machín, J. (1997). Prognosis and correction of iron chlorosis in peach trees: Influence on fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 20(11), 1567-1572.
- Simsek, O. (2018). Effect of drought stress in *in vitro* and drought related gene expression in Carrizo citrange. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 9167-9171.
- Torun, A. A., Kacar, Y., Bicen, B., Erdem, N., & Serce, S. (2014). *In vitro* screening of octoploid *Fragaria chiloensis* and *Fragaria virginiana* genotypes against iron deficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 169-179.
- Zekai, E., Açar, E., Dönmez, D., Şimşek, Ö., & Aka Kaçar, Y. (2022). *In vitro* drought stress and drought-related gene expression in banana. *Molecular Biology Reports*, 1-7.



# Düz Çatılarda Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Yoluyla Tasarımı ve Performans Karşılaştırılmasının Yapılması

Süleyman Şimşek<sup>1\*</sup>, Muhammed Uçum<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0593-8036),  
suleymansimsek@aydin.edu.tr

<sup>2</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0500-492X),  
muhammeducum@stu.aydin.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 9 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1105492)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, S., Uçum, M., (2022). Düz Çatılarda Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Yoluyla Tasarımı ve Performans Karşılaştırılmasının Yapılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 529-533.

## Öz

Son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına yönelim dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacına artan talep, mevcut enerji kaynaklarındaki yetersizlik ve fosil yakıtların bu talepleri karşılayamaması bu yönelimin açık bir göstergesidir. Günümüzde fosil yakıtların çevreye, doğaya ve atmosfere verdiği zararlar göz önüne alındığında temiz ve çevre dostu kaynakların önemini ortaya koymaktadır. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynaklarının sıklıkla tercih edilmesi artan enerji taleplerinin karşılanması açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada düz bir çatıya 0° azimut değerine sahip 7° ve 25° yönelim açısında iki farklı panel türü yerleştirilerek 6 farklı simülasyon çalışması ile sistem tasarımı ve performansı incelenmiştir. Yapılan simülasyon çalışması incelendiğinde, fotovoltaik sistemde yıllık enerji üretim değerinin en düşük 7° ve en yüksek 25° eğim açısına sahip panellere ait olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Monokristal, Polikristal, Fotovoltaik Sistemler, PVsyst.

## By Simulation Design and Performance Comparison of Photovoltaic Systems Used in Flat Roofs

### Abstract

In recent years, the tendency towards alternative energy sources has been increasing in our country as well as in the world. The increasing demand for energy, the inadequacy of existing energy resources and the inability of fossil fuels to meet these demands are clear indications of this trend. Considering the damages caused by fossil fuels to the environment, nature and atmosphere, it reveals the importance of clean and environmentally friendly resources. In this respect, the frequent preference of renewable energy sources is very important in terms of meeting the increasing energy demands. In this study, system design and performance were investigated with 6 different simulation studies by placing two different types of panels on a flat roof with 0° azimuth values at 7° and 25° orientation angles. When the simulation study was examined, it was concluded that the annual energy production value in the photovoltaic system belongs to the panels with the lowest 7° and the highest 25° inclination angle.

**Keywords:** Monocrystalline, Polycrystalline, Photovoltaic Systems, PVsyst.

\* Sorumlu Yazar: [muhammeducum@stu.aydin.edu.tr](mailto:muhammeducum@stu.aydin.edu.tr)



## 1. Giriş

İnsanoğlu teknolojik gelişmelere uyum sağlamak için doğada bulunan fosil yakıtlı enerjilerden yararlanarak enerji ihtiyacını karşılamıştır. Ancak, Fosil yakıtlardan elde edilen enerji çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmasından dolayı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler; temiz, çevre dostu ve sürdürülebilir yeni enerji kaynakları arayışına başlamıştır. Dünya nüfusunun hızla artması, mevcut enerji potansiyelinin yetersiz kalması ve sınırsız kaynağa ihtiyaç duyulması ile devletlerin bu yönde politikalar geliştirmesi bu arayışın açık bir göstergesi olmuştur.

Güneş Enerjisi Sistemleri çokça tercih edilen alternatif enerji kaynaklarıdır. Doğayı kirletmeyen, temiz ve ekonomik olması tercih edilme sebeplerindedir. Fotovoltaik sistemler (PV), güneş ışınlarını yarı iletken bir malzemeden yapılmış PV modüller aracılığıyla doğrudan elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemlerin bileşenleri; güneş panelleri, aküler, şarj regülatörleri ve inverter (dönüştürücü) gibi ana elamanlardan oluşmaktadır. Bu sistemler şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) olmak üzere iki türdür. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı verilerine göre ülkemizde güneş enerji sistemleri kurulu güç 2010 yılında 6 MW, 2014 yılında 40 MW, 2015'te 249 MW ve 2020 yılında 6.667 MW seviyelerine ulaşmıştır (IRENA, 2021).

Çalışmada sistem tasarımı için PVsyst 7.1.1 yazılım programı kullanılmıştır. PVsyst, uluslararası düzeyde güvenilirliği ile kabul görmüş bir yazılım programıdır (Muñoz, Y., Vargas, O., Pinilla, G., & Vásquez, J., 2017). Bu program, sistem tasarımı için öncelikle iklim ve coğrafi verilerini sunmakta, sonra uygun sistem bileşenlerini ve boyutlarının seçilmesini sağlayıp performans incelemesi yapmaktadır. Ayrıca sistemin performansını etkileyen tüm parametreleri (sistem kayıpları vb.) ayrıntılı bir şekilde diyagram halinde göstermektedir.

Literatür incelendiğinde, Isparta iline ait farklı çatı tiplerinde tasarlanan fotovoltaik sistemlerin karşılaştırılması yapılmış ve en düşük elektrik üretim değerinin eğimli çatı üstlerinde olduğu, en yüksek üretimin ise düz çatı üstlerinde olduğu sonucuna varılmıştır (Sancar, M.R., & Altınkaynak, M., 2021). Mevcut binalarda kullanılan Fotovoltaik sistemler farklı çatı türleri başlığı altında incelenmiş ve verimlilik analizi yapılmıştır.

En verimli olan uygulama seçilerek Afyon Kocatepe Üniversitesinin çatısında uygulanmıştır. Uygulama sonucunda panel verimlilik değerleri hesaplanmış ve dünyadaki örneklerle karşılaştırması yapılmıştır (Karakan, A., & Oğuz, Y., 2015). Mersin ilinde ofis olarak kullanılan şantiye konteynerinin güneş paneli sistemi tasarlanıp maliyet analizi yapılmıştır (Gözmen Şanlı, B., & Turna Dilsel, E. (2018). Burdur'da güneş pili kullanılarak bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması maliyet yönünden incelenmiştir (Çiftçi, A., Kırbas, İ., & İşyarlar, B., 2014). Balıkesir İl'inde maksimum güç takip sistemli ve iki eksenli iki fotovoltaik güneş enerji sisteminin kurulumu yapılmış ve sistem verimlilikleri karşılaştırmıştır (Beyoğlu, M.F., 2011).

Romanya'nın Brasov kentinde 2 yıl boyunca doğal koşullar altında iki ticari fotovoltaik panellerin (Monokristal ve amorf silikon olmak üzere) güç ve verimlilik değerleri incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır (Cofas, D.T., & Cofas, P.A., 2019). Fotovoltaik sistem yardımıyla elektrik enerjisi üretimi ve

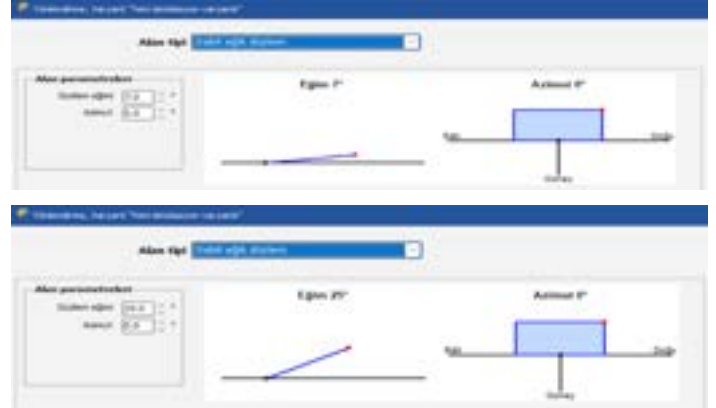
performansını etkileyen faktörler incelenmiştir. Fotovoltaik panellerin elektrik üretimini etkileyen etkenleri belirlenmiş bununla birlikte havanın serin ve sıcaklığın düşmesiyle elektrik üretiminde artış, ancak panelin tozlanması, dönüştürücü kaybı ve gölgelemesinden dolayı elektrik üretiminde azalma görüldüğü sonucuna varılmıştır (Gökçe, İ., & Karakılçık, M., 2020). Temperli cam esaslı olan monokristal ve polikristal PV panellerin elektrik performansları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; gerçek zamanlı hava koşullarında elektriksel karakteristik eğrisi çıkarılmış, iki farklı panelin elektriksel verimleri sırasıyla %10,54 ve %12,23 olarak analiz edilmiştir (Huot, M., Kumar, L., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A., 2021).

Bu çalışmada düz çatılarda kullanılan fotovoltaik sistemlerin simülasyon yoluyla tasarımı ve performans karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada İstanbul İli'nde bulunan bir binaya ait çatıya 114 kWp gücünde iki farklı panel (Monokristal ve Polikristal) kullanılarak şebekeye bağlı fotovoltaik sistem tasarımı PVsyst 7.1.1 yazılım programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma İstanbul İli için, 41,01384° enleminde, 28,94966° boylamında, 34 m rakımda, kuzey ve güney yönleri baz alınarak 7° ve 25° derece eğim açısına sahip çatılarda fotovoltaik sistemlerin tasarım simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlarda belirlenen açılarda gölgelemenin olmadığı düz çatılarda 6 farklı analiz yapılmıştır.

Simülasyon başlangıcında öncelikli olarak panel yönelim açıları ve azimut değerleri PVsyst yazılımı içerisinde bulunan "Yönlendirme Varyantı" bölümünde 7° ve 25° derece ve gölgeleme olmadığı için azimut değeri ise 0° olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Yönlendirme Varyantı Arayüzü (Figure 2.1. Orientation Variant Interface)

Tablo 2. 1 Panel ve İnverter Özellikleri (Table 2.1. Panel and Inverter Features)

Panel Özellikleri	
Panel Modeli	AXIprotect AC-285MG/60S
Modül Sayısı	400 birim
Nominal Güç	114 kWp
Modül	20 Zincir x 20 Seri
Hücre Yüzey Alanı	590 m <sup>2</sup>
İnverter Özellikleri	
İnverter Modeli	Huawei- SUN2000-100KTL-M1-400Vac
Toplam Güç	100 kWac
Çalışma Gerilimi	200-1000 V
Kablo Kesiti	Bakır 1 x 3 x 95 mm <sup>2</sup>
Kablo Uzunluğu	15 m

Tablo 2.1’ de fotovoltaik sistemi oluşturan panel ve invertere ait özellikler belirlenmiştir. Çalışmada sistem kurulumunun yapılacağı çatı için 400 adet panel kullanılmış, panellerden 20’li diziler oluşturulmuş ve 1’ er adet inverter kullanılmıştır. Toplam sistem kurulumu farklı paneller için aynı olup 114 kWp’ dir.

Simülasyon uygulamasının yapılabilmesi için coğrafi konum parametreleri (coğrafi koordinatlar ve hava durumu) PVsyst yazılımının sunduğu Meteororm 8.0 uygulamasından alınmıştır.

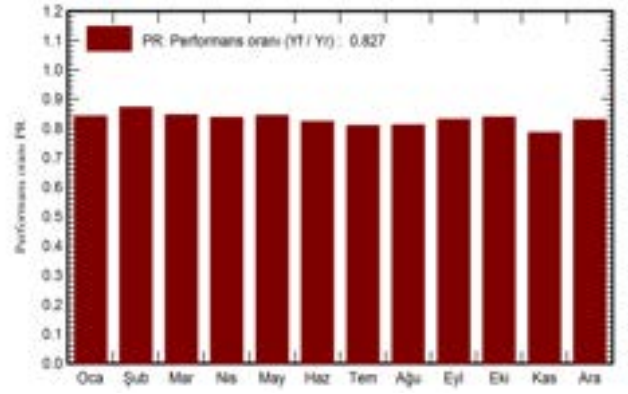
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

7° ve 25° yönelim açısına ait Monokristal ve Polikristal paneller kullanılarak 6 farklı simülasyon uygulaması yapılmış ve sistem performans değerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

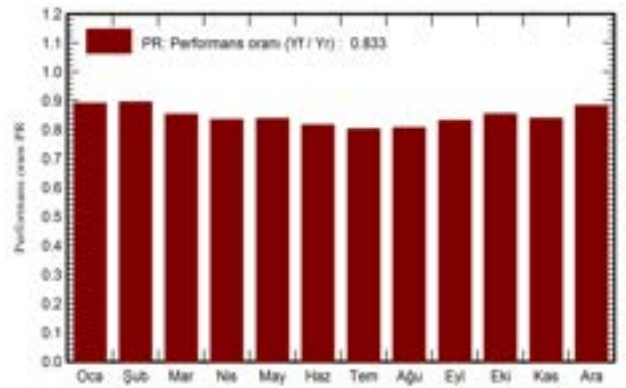
Sistem karşılaştırılması yapılabilmesi için farklı çatı eğimlerine ait panel sayısı, panel ve inverter güç türleri PVsyst yazılımı içerisinde bulunan “Sistem Tanımlama” butonu altında bulunan alanda tüm değerler aynı olacak şekilde girilmiştir.



Şekil 2.2. Sistem Tanımlama Arayüzü (Figure 2.2. System Identification Interface)

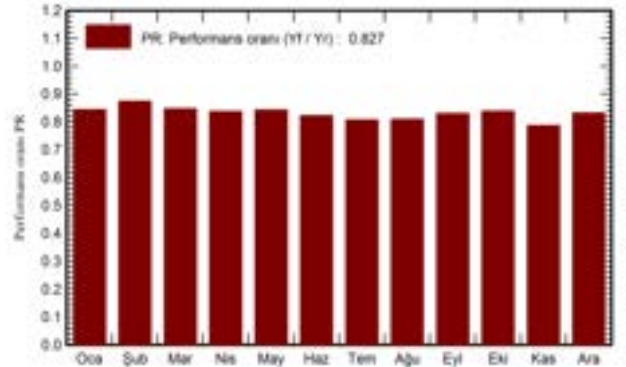


Şekil 3.1. 7° Kuzey yönü Monokristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.1 Average annual performance rate of system with north facing 7° orientation Monocrystalline panel)

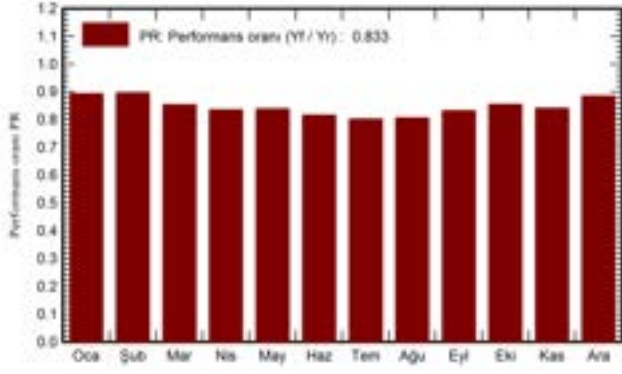


Şekil 3.2 7° Güney yönü Monokristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.2 Average annual performance rate of system with south facing 7° orientation Monocrystalline panel)

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde 7° yönelim açısına ait kuzey-güney yönlerindeki monokristal panellerin kullanılmasıyla elde edilen performans oranları gösterilmiştir. Yıllık performans oranı güney yönde %83,33 kuzey yönde %82,74 değerinde olduğu görülmektedir.

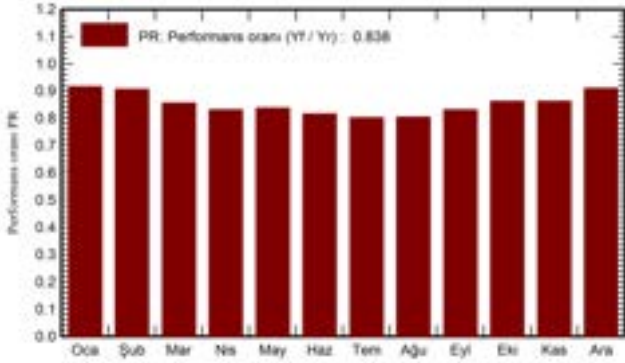


Şekil 3.4 7° Güney yönü Polikristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.4. 7° Average annual performance rate of system with south facing 7° orientation Polycrystalline panel)

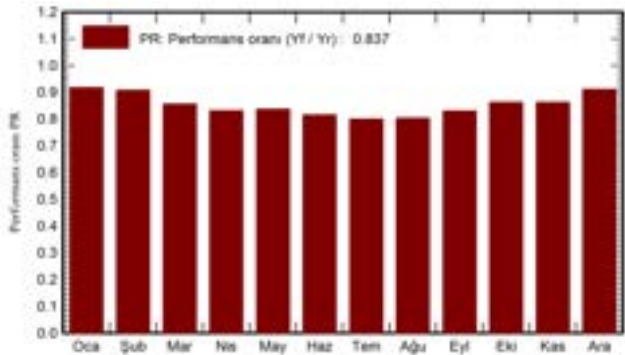


Şekil 3.5 25° Monokristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.5 Average annual performance rate of system 25° orientation angle Monocrystalline panel)

Şekil 3.3 ve 3.4 'de 7° yönelim açısına ait kuzey-güney yönlerindeki polikristal panellerin kullanılmasıyla elde edilen performans oranları gösterilmiştir. Yıllık performans oranı güney yönde %83,29 kuzey yönde %82,72 değerinde olduğu görülmektedir. 7° yönelim açısına ait monokristal panel ile polikristal panellerin kurulduğu sistemlerin yıllık performans oranı değerleri arasında çok küçük bir fark olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 7° Kuzey yönü Polikristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.3. Average annual performance rate of system with north facing 7° orientation angle Policrystalline panel)

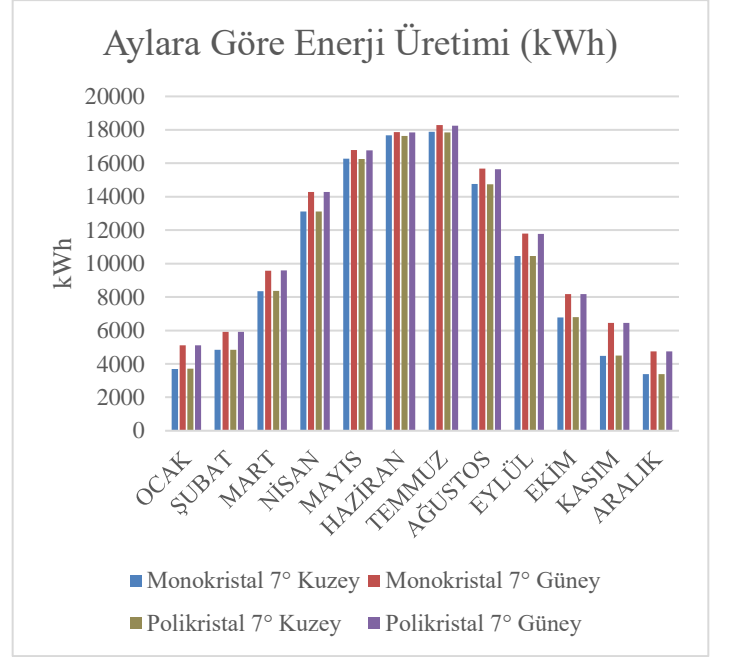


Şekil 3.6 25° Polikristal panelli sistemin yıllık ortalama performans oranı (Figure 3.5 Average annual performance rate of system 25° orientation angle Policrystalline panel)

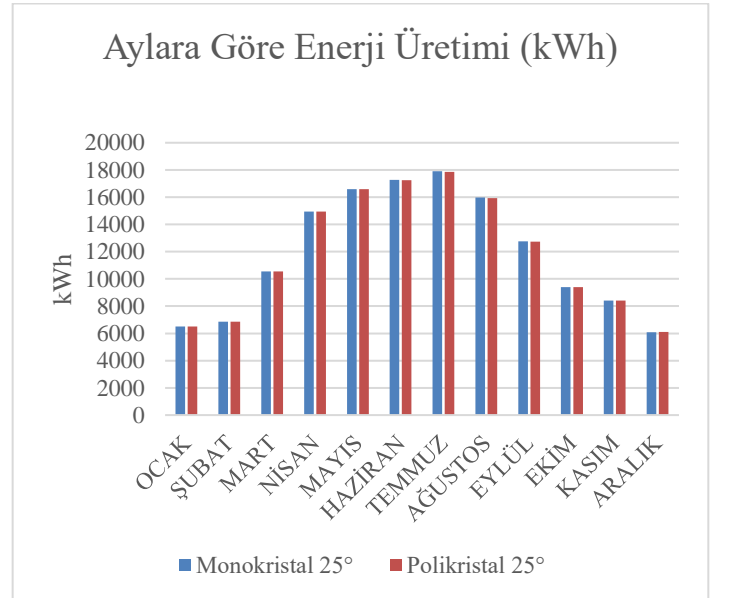
Şekil 3.5 ve 3.6' da 25° yönelim açısına ait monokristal ve polikristal panellerin kullanılmasıyla elde edilen performans oranları gösterilmiştir. Yıllık performans oranı monokristal panel için %83,79, polikristal panel için %83,75 değerinde olduğu görülmektedir. Performans oranı karşılaştırıldığında 7° yönelim

açısına sahip sistemlerin oranının 25° yönelim açısına ait performans oranına çok yakın olduğu sonucuna varılmaktadır.

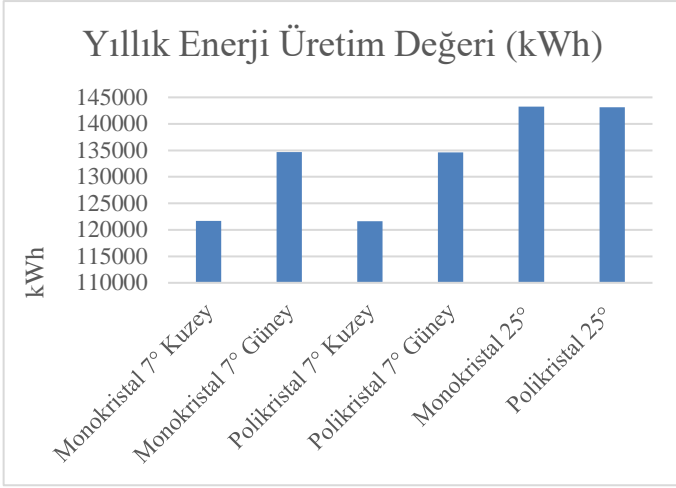
Aşağıdaki 3.7, 3.8 ve 3.9 Şekillerde 7° ve 25° yönelim açılarında göre aylık ve yıllık enerji üretim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7 7° yönelim açısına göre aylık enerji üretim değerleri (Monthly energy production values according to 7° orientation angle)



Şekil 3.8 25° yönelim açısına göre aylık enerji üretim değerleri (Monthly energy production values according to 25° orientation angle)



Şekil 3.9 7° ve 25° yönelim açılarına göre yıllık toplam enerji üretim değerleri (Figure 3.9. Annual total energy production values according to 7° and 25° orientation angles)

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde, monokristal panel kullanım arasında 25° yönelim açısına ait monokristal panel kullanılan sistemlerin en yüksek verimliliğe sahip performans değeri %83,79, bunu 7° güney yönlü olan yönelim açısına sahip monokristal panel kullanılan sistem verimliliği performans değeri %83,33 olarak takip etmektedir. 7° güney yönlü yönelim açısına sahip polikristal panel kullanılan sistem verimliliği %83,29 ve 25° yönelim açısına ait polikristal panel kullanılan sistem performans değeri %83,75 olduğu görülmektedir. Aylık performans verileri incelendiğinde, 7° monokristal kuzey ve güney yönlerinde en yüksek Aralık ve Ocak aylarında görülürken, en düşük Haziran ve Temmuz aylarında olduğu ve aylık enerji üretim performans verilerine bakıldığında Aralık ayında en düşük, Temmuz ayında en yüksek olduğu performans oranlarından anlaşılmaktadır.

Performans değerlerine bakıldığında, fotovoltaik sistemlerin güneş ışığı alma yönüne ve eğim açısına göre artma veya azalma gösterdiği görülmektedir. Sistem tasarımı için simülasyon yapılan bu çalışmada, düz çatı özelliğine sahip olan binalarda panel eğim açısının fazla olmasıyla sistemden alınan enerji miktarında ve elektrik üretim değerlerinde artış olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

#### 4. Sonuç

Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin giderek yaygınlaştığı ülkemizde bilhassa çatılara kurulacak sistemlerde gölgeleme faktörü göz önüne alınarak simülasyon çalışmalarının dikkatli şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca fotovoltaik sistem kurulumu yapılmadan önce tasarım için yapılan simülasyon uygulaması sistem kurulumu ve iyi bir performans göstermesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmasının sonuçları incelendiğinde, sistemden alınan enerji miktarında seçilen panel türü, yönelim açısı ve panel yüzeyine gelen ışınım miktarına bağlı olarak artma veya azalma meydana geldiği, bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla kayıpların arttığı görülmektedir. Performans karşılaştırılması yapıldığında yıllık enerji üretim miktarları; 7° monokristal paneller için en yüksek değer 134660 kWh, en düşük 121680 kWh aynı yönelim açısına sahip polikristal panellerde, en yüksek değer 134600 kWh, en düşük 121640

kWh çıkmıştır. 25° monokristal paneller için üretilen enerji miktarı 143250 kWh, aynı yönelim açısına sahip polikristal paneller için bu değer 143150 kWh olarak bulunmuştur. Bu verilere bakıldığında, düz çatılar için panel eğim açısının artmasıyla sisteme verilen enerji miktarında artış olduğu gözlemlenmektedir.

#### 5. Teşekkür

ReSoIT Enerji A.Ş. Teknik Müdürü Habip Atilla Bey'e ve Proje Mühendisi Numan Bilir Bey'e bu çalışmanın ortaya çıkmasında katkı sağladıkları için kendilerine teşekkürü bir borç bilirim.

#### Kaynakça

- Beyoğlu, M.F. (2011). Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Türkiye
- Cotfas, D.T., & Cotfas, P.A. (2019). Comparative Study of Two Commercial Photovoltaic Panels under Natural Sunlight Conditions, *International Journal of Photoenergy*, Volume 2019, Article ID 8365175, 10 pages, <https://doi.org/10.1155/2019/8365175>
- Çiftçi, A., Kırbuş, İ., & İşyarlar, B. (2014). Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşlanması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1): 14-17, (2014)
- Gökçe, İ., & Karakılçık, M. (2020). Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi" *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Yıl 2020 Cilt: 39-1, s. 50-59
- Huot, M., Kumar, L., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2021). Performance Investigation of Tempered Glass-Based Monocrystalline and Polycrystalline Solar Photovoltaic Panels. *International Journal of Photoenergy*, 2021.
- International Renewable Energy Agency (IRENA,2021), Erişim Tarihi: 03.02.2022 <https://irena.org/solar>
- Karakan, A., & Oğuz, Y. (2015). Mevcut Yapılara Uygulanan Fotovoltaik Sistemlerin İncelenmesi: Afyonkarahisar Örneği, 2. International Sustainable Buildings Sysposium, ISBS 28-30 May 2015, s. 887-897, Ankara
- Muñoz, Y., Vargas, O., Pinilla, G., & Vásquez, J. (2017). Sizing and study of the energy production of a grid-tied photovoltaic system using PVsyst software. *Tecciencia*, 12(22), 27-32.
- Sancar, M.R., & Altınkaynak, M. (2021). Isparta İli İçin Farklı Çatı Tiplerinde Tasarlanan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 1024-1028
- Gözmen Şanlı, B., & Turna Dilsel. E. (2018). Mersin İlinde Kullanılan Yer Değiştirilebilir Ofis-Konteyner Elektrik İhtiyacının Güneş Pili Sistemi İle Karşlanması ve Maliyet Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), ss. 93-100, DOI: 10.21605/cukurovaummfd.508932



# Yapım İşlerinde Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ), Riskler ve Paylaşım

Hikmet Bayırtepe<sup>1</sup>, Özge Bican Sayılır<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2444-0599), [hikmetb@gazi.edu.tr](mailto:hikmetb@gazi.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5861-7298), [ozgebican@gazi.edu.tr](mailto:ozgebican@gazi.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 13 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 10 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1102956)

**ATIF/REFERENCE:** Bayırtepe, H. & Bican Sayılır, Ö. (2022). Risk Allocation in Public Private Partnership (PPP) Construction Projects. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 534-543.

## Öz

Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ) modelleri tüm dünyada pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modellerde, yatırım maliyetleri, yapım ve işletme süreleri yanında birçok belirsizlik ve/veya riskler bulunmakta, kamu yararının gözetildiği projelerde risklerin etraflıca irdelenmesi ve analiz edilmesi ise kaçınılmaz olmaktadır. Belirsizlikleri nedeniyle, dünya çapında, kamu-özel sektör işbirliği çerçevesinde ortaya çıkabilecek olası risklere odaklanılmakta ve risk arz eden faktörler araştırmaya değer görülmektedir. Bu çalışmada, 2000-2019 yılları arasında yayımlanmış KÖİ modellerinde risk paylaşımı ile ilgili araştırmalar, olası riskler ile kamu ve özel sektörler tercihleri ve gerçekleşen risk paylaşımları ile politik, hukuki, ekonomik, piyasa, proje, yapım, işletim vb. riskler açılarından ele alınmaktadır. Çalışmada, genel anlamda politik ve hukuki risklerin büyük çoğunluğunun kamu sektör ortağı tarafından, işin konusu projeye bağlı yapım ve işletme risklerinin ise özel sektör ortağı tarafından kontrolünün daha etkin şekilde sağlanabileceği, bunların dışında kalan ve sadece bir tarafça üstlenilmesi mümkün olmayan risk faktörlerinin de taraflarca paylaşılması gerektiği görüşüne varılmaktadır. Ancak incelenen çalışmalar kapsamında, birçok ülkede KÖİ modeli ile gerçekleştirilen projelerde, risklerin kamu sektöründen özel sektöre transferi hedefine çoğunlukla ulaşamadığı gözlemlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kamu-özel işbirliği (KÖİ), riskler, risk paylaşımı, risk yönetimi.

## Risk Allocation in Public Private Partnership (PPP) Construction Projects

### Abstract

Public-Private Partnership (PPP) models are widely used in many sectors or areas all over the world. There are many uncertainties and/or risks besides investment, construction, operating costs and operation period in these models. And it is vital to examine and analyze them by considering to public benefits. Due to possible risks that may arise within PPP cooperations, factors that affect risks are focused on studies worldwide. In this paper, possible political, market, economic, legislative, construction, operating etc. risks, risk allocation or shares in between partners are dealt with and considered. In this paper, it is concluded that the majority of political and legal risks can be controlled more effectively by the public sector partner, while the construction and operation risks related to the project by the private sector partner. On the other hand, it is seen that the risk factors that cannot be assumed by only one partner, should be effectively shared by both sides. However, within the scope of the studies examined, it has been observed that the target of sharing risks from the public sector to the private sector is mostly not achieved in PPP projects in many countries.

**Keywords:** Public-private partnerships (PPP), risks, risk allocation, risk management.

\* Sorumlu Yazar: [ozgebican@gazi.edu.tr](mailto:ozgebican@gazi.edu.tr)

## 1. 1. Giriş

Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ); kamu sektörünün temel yapı ve özelliklerine özel sektör dinamizminin ve esnekliğinin eklenmesi amacıyla kamu yararı gözetilmesi gereken belli mal ve hizmetlerin sağlanmasında, olası risklerin paylaşımı ve yönetimine ilişkin kamu ve özel sektör arasında imzalanan esnek bir sözleşme ile kurulan ortaklıktır. KÖİ, 1980'li yıllarda yaşanan küresel krizin etkisiyle ve Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli ve uygulamaları ilk olmak üzere, İngiltere ve Fransa'da başlamıştır.

“Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün %3,8 olan küresel ekonomik büyüme tahminini gerçekleştirmek için 2030 yılına kadar yaklaşık 59 trilyon ABD doları altyapı yatırımı yapılması gerekmekte ve ortalama yıllık küresel altyapı harcamalarının 2016-2020 yılları arasında 3,5 trilyon ABD doları, 2020-2030 yılları arasında ise 4 trilyon ABD doları olması beklenmektedir. Mevcut bu durum göz önüne alındığında büyük bir altyapı yatırım ihtiyacının olduğu görülmektedir.” (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2016). Artan bu altyapı ihtiyaçlarına ve sınırlı kamu kaynağına karşılık gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke, ekonomik büyümelerini hızlandırmak amacıyla kamu özel işbirliğine yönelmektedir.

1990 yılından itibaren KÖİ uygulamalarında Kanada, Avustralya ve Güney Kore başı çekmektedir. Proje büyüklükleri açısından bakıldığında bu ülkelerde en fazla yatırım ulaştırma sektöründe gerçekleştirilmekte ve ülkelere göre farklılık göstermekle beraber sağlık veya eğitim alanlarında yapılan yatırımlar ise ikinci sırada yer almaktadır. KÖİ uygulamaları 1990'lı yıllardan itibaren büyük kamu altyapı projelerinin gerçekleştirilmesinde, yüksek bütçe açığı olan ve yatırımlar için yeterli finansmanı sağlayamayan gelişmekte olan ülkelerde de yaygınlaşmaktadır. Bu ülkelerde, KÖİ modeli ile gerçekleştirilen yatırımlar ise sırasıyla; telekomünikasyon projeleri, elektrik projeleri ve ulaştırma projeleri olarak gözlenmektedir.

KÖİ modelleri ile gerçekleştirilen büyük altyapı projeleri, uzun yapım ve işletme süresi, yüksek yatırım maliyetleri, kamu kesimi ve çok şirketli bir konsorsiyumun arasında olduğu taraflar ve projeye katılım dereceleri, kullanıcı tahminleri ve hizmet bedelleri, istikrarlı siyasi ve ekonomik durum, yasal çerçeve, kurumlar arası planlama ve koordinasyonun sağlanması gibi projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan birbirine bağlı pek çok belirsizlik ve risklere sahiptir. Yapım ve işletme dönemlerine ait tüm bu risklerin sözleşme tarafları olan ilgili kamu kurumu ve özel sektör ortağı arasında paylaşılması gerekliliği, KÖİ modelini klasik kamu hizmetinden ayıran en önemli fark konumundadır.

KÖİ projeleri için başarı faktörü tanımlamaya yönelik çalışmalar mevcut olup, 1990-2013 yılları arasında yayımlanmış 27 adet makaleyi irdeleyen Osei-Kyei ve Chan tarafından, ortak kritik başarı faktörü, “uygun risk paylaşımı” olarak bildirilmektedir (Osei-Kyei ve Chan, 2015). Bunun yanı sıra ve sırasıyla; güçlü özel sektör konsorsiyumu, siyasi destek, kamu desteği ve şeffaf tedarik süreci de önemli başarı faktörleri arasında belirtilmektedir.

Ayrıca bazı çalışmalarda, projelerin niteliğine bağlı olarak çok çeşitli şekillerde karşılaşılan risklerin detaylıca irdelenmesi için gerçekçi bir fayda/maliyet analizi yapılması gereği ve önemi de paylaşmakta, bu açıdan KÖİ modeli ile gerçekleştirilecek projelerde planlı ve kontrollü risk analizleri ihtiyacına dikkat

çekilmektedir. Ancak risk analizinin hem kamu hem de özel sektör için bu denli önemli olmasına rağmen, yapılan çalışmalarda risk analizi ve risk paylaşımı hususunun yeterince irdelenmediği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, önceki araştırmalarda yer alan tespit ve değerlendirmeler temelinde KÖİ modellerinde risk paylaşımı, algı ve tercihleri irdelenmektedir. 2000 ve sonrası yıllarda, İngilizce dilinde yayımlanmış ve Scopus ve Google Scholar arama motorları yardımıyla “public private partnership”, “private finance initiative”, “build operate transfer”, “risk allocation” ve “risk sharing” anahtar kelimeleri ile erişilen yayımlar dayanak alınmakta ve çalışma veri tabanı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, eksiksiz bir literatür incelemesi yerine çalışmaya değer görülen, irdelenen, belirlenen veya önemsenen KÖİ riskleri ile tarafların risk paylaşım eğilimleri ve gerçekleşmiş risk tahsislerine odaklanılmaktadır. Planlanan KÖİ proje ve sözleşmelerinde uygulanmak veya dikkate alınmak üzere hazırlık, önlem ve/veya önerilerin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi aşamalarında ilgili taraflara bir bakış açısı veya katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Dünyada en yaygın olarak dikkate alınan ve gözetilen KÖİ projelerinde etkili ana risk faktörleri dokuz başlık altında aşağıda irdelenmektedir.

## 2. KÖİ Kavramı

KÖİ modeli, yüksek kalitede kamu hizmetlerinin sunulması amacıyla kamu ve özel sektör arasında kurulan ve uzun vadeli sözleşmelere dayanan bir yaklaşım olarak tanımlanmakta, sözleşme süresince, özel sektör: yüklenici yerine uzun vadeli hizmet sağlayıcısı, kamu sektörü: doğrudan hizmet sağlayıcı yerine projenin düzenleyicisi ve hizmet tedarikçisi olarak nitelenmektedir (Özdemir, 2018). Geleneksel tedarik ve klasik kamu hizmet alımı sözleşmelerinde, tedarikçinin sağladığı hizmet veya sunduğu malın bedeli kamu kurumları tarafından karşılanmakta iken; KÖİ sözleşmelerinde, bu bedeller kamu kurumları ve/veya kullanıcılar/faydalananlar tarafından ödenmektedir. Altyapı projelerinde uygulandığı gözlenen KÖİ yaklaşım ve yöntemlerinin bir kısmı Tablo 1'de özet olarak sunulmaktadır.

KÖİ modeli kavramı Dünya Bankası (World Bank, 2021) tarafından, hükümetlerin özel sektör kaynaklarını ve uzmanlığını kullanarak kamu altyapı olanakları ve/veya hizmetlerini temin etme ve uygulama mekanizması olarak tanımlanmakta ve KÖİ modeli için hükümetlerin eksik veya ekonomik ömrü dolmuş altyapı olanaklarını geliştirmek ve/veya hizmetlerini daha verimli hale getirmek için, finansman temini açısından özel sektörle oluşturulacak ortaklıklara işaret edilmektedir.

KÖİ sözleşmeleri kapsamında kurulan ortaklıklarda, kamu kurum ve/veya kuruluşları ile genellikle uluslararası kuruluşların bir arada bulunduğu konsorsiyumlar taraf olmaktadır. Ayrıca yatırımcı konsorsiyum dışındaki projelerin yapımı ve işletimi sırasında projeye finans sağlayan kredi kuruluşları, mücbir sebepler dahil iş veya sözleşme süresince doğabilecek risklere karşı sigorta şirketleri, yapım, malzeme tedariki, bakım ve onarım aşamalarında uzmanlıkları ile katkı sağlayan alt-yüklenici veya taşeronlar KÖİ modelinde ortak olabilmekte veya görevlendirilebilmektedir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi KÖİ modeli; çok taraflı ve taraflar arası ilişkileri düzenleyen birden çok sözleşmeden oluşması sebebiyle oldukça karmaşık ve kapsamlıdır. Özellikle kamu yararının ön planda olduğu büyük altyapı projelerinde; kamu

kesimi ve ticari firmaların çıkarları çatışmakta ve daha kompleks bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Çok ortaklı bir yapı ile gerçekleştirilen projelerde tarafların farklı kazanç beklentilerinden kaynaklanan çıkar çatışmaları da açığa çıkabilmektedir (Acar, 2006). Tarafların YİD projelerinden beklentileri;

- kamu kurum ve kuruluşları için, bütçe dışı finansman kaynağı ile yatırımların gerçekleştirilmesi, mevcut olanakların bakımının sağlanması ve ömürlerini uzatma, yeni yatırım ihtiyacını azaltma, işletme maliyetlerini düşürme ve yeni teknoloji kazanma veya transferi,

- özel sektör ortakları için, kamu tarafının aksine yapım ve işletmede varlıklarını artırmak ve sürdürmek üzere kar elde etmek, müşteri memnuniyeti sağlayarak markalaşmak ve şirket itibarını yükseltmek,

- kullanıcı ya da müşteriler için ise, satın alınan hizmetin kaliteli, verimli, etkin ve sürekli sağlanması, çevre ve halk sağlığının korunması, hizmet tarifelerinin düşük olması, olarak tanımlanabilmektedir.



Şekil 1. KÖİ projelerinin yapısı (Yescombe, 2011)  
Figure 1. Structure of PPP projects (Yescombe, 2011)

Tablo 1. Altyapı projelerinde kamu ve özel sektör işbirliği yöntemleri (Yescombe, 2011)  
Table 1. Public and private provision of infrastructure (Yescombe, 2011)

Sözleşme tipi	Yapım	İşletme	Mülkiyet	Kim öder	Yatırımcı	
<b>Klasik Kamu Tedarik Yöntemi</b>	kamu sektörü adına yapılmak üzere özel sektör yüklenicileri görevlendirilir	kamu sektörü (veya hizmet alım sözleşmeleri ile özel sektöre yaptırılabilir)	kamu sektörü (veya kamuya ait bağımsız bir şirket olabilir)	kamu sektörü	x	
<b>İmtiyaz (Kiralama)</b>	kamu sektörü adına yapılmak üzere özel sektör yüklenicileri görevlendirilir	özel sektör	kamu sektörü	kullanıcılar	özel sektör	
<b>KÖİ</b>	<b>Tasarla-Yap-Finanse et-İşlet</b>	kamu sektörü	özel sektör	kamu sektörü veya kullanıcılar	özel sektör	
	<b>Yap-Devret-İşlet</b>	özel sektör	özel sektör	yapım aşamasında özel sektör, daha sonra kamu sektörü	kamu sektörü veya kullanıcılar	özel sektör
	<b>Yap-İşlet-Devret (YİD)</b>	özel sektör	özel sektör	sözleşme süresince özel sektör, daha sonra kamu sektörü	kamu sektörü veya kullanıcılar	özel sektör
	<b>Yap-Sahiplen-İşlet</b>	özel sektör	özel sektör	özel sektör	özel sektör müşterisi olarak kamu sektörü veya kullanıcılar	özel sektör

Tarafların beklentilerinin optimize edilmesi, tüm tarafların modelden maksimum faydayı elde etmesi anlamındadır. Bu anlamda, projenin daha ilk aşamalarda, özenli ve titiz çalışmalara ve ince eleyen bir hazırlığa ihtiyacı olup ortaklık sözleşmesinin de tartışmaya yer bırakmayacak şekilde detaylı düzenlenmesi gerekmektedir.

Genel olarak, proje risklerinin kamu sektöründen yatırımcıya kaydırılması karşılığında özel sektöre bir kazanç teşviki, ayrıcalığı veya imtiyazı sunulmaktadır. Kamu sektörünün temel amacı, özel sektörün sözleşme yükümlülüklerini doğru ve verimli bir şekilde ifası yanında verilen hizmetlerden fayda ve/veya katma değer elde etmektir. KÖİ projeleri için kabul edilen paranın karşılığı ve risk transfer ilkeleri ancak imtiyaz süresi boyunca sağlam ve uzun vadeli bir

gelir akışı sağlandığında uygulanabilmektedir. Bir projenin başarılı olması için tarafların farklı ve aykırı gereksinimlerinin risk paylaşım sürecinde karşılanması da gerekmektedir (Grimsey ve diğ., 2002).

Büyük altyapı projeleri yüksek maliyetleri nedeniyle olduğu kadar, aynı zamanda ileri teknoloji ve uzmanlık gerektirmeleri bakımından da sadece kamu marifetiyle gerçekleştirilmesi çoğu zaman mümkün olmayan projelerdir. Bu sebeple, KÖİ modellerinde yabancı yatırımcının katılımı; ileri teknoloji, bilgi, birikim ve uzmanlık ile kaynak kazanımı anlamıyla, gerçekleştirilmesi mümkün olmayan bazı büyük projelerin kamu hizmetine açılmasına hizmet etmektedir. Ancak, çok taraflı bir sözleşme ile kamu ve özel sektörü ortak kılan bu karmaşık

yapımın avantajları olduğu kadar pek çok dezavantajı da bulunmaktadır.

KÖİ projelerinin olumlu ve olumsuz yönleri; Li vd. tarafından İngiltere özelinde literatür taraması şeklinde yapılan çalışmada, görece önemleri ile birlikte verilmektedir (Li ve diğ., 2005). Belirtilen 15 adet avantajdan birkaçı:

- Daha iyi bir proje teknolojisi ve ekonomisi,
  - Daha fazla kamu yararı,
  - Kamu sektörünün düzenleyici ve mali kısıtlamalardan muafiyeti,
  - Maliyetlerde kamu tasarrufu,
- 13 dezavantaj arasından ise bazıları;
- Kamu ve özel sektör deneyimsizliği,
  - Projelerin aşırı ticarileştirilmesi,
  - Katılımcılar için yüksek katılım maliyeti ve zamanı, olmaktadır.

## 2.1. Risk Paylaşımı ve Yönetimi

KÖİ projeleri, genelde oldukça karmaşık ve son derece dinamik bir yapıya ve projenin tüm yaşam döngüsü boyunca doğabilecek bağımsız veya birbirine bağlı risk veya belirsizliklere sahiptir. Ayrıca KÖİ uygulamaları, projelerin niteliğine, kamu ve özel sektörün projeye katılım seviyeleri ve taraflar arasındaki farklı risk paylaşımı veya dağılımına bağlı olarak çok çeşitli şekillerde oluşmaktadır.

Risk dağılımı, sözleşme taraflarının kaynak ve yeteneklerine bağlı olup, projeden projeye değişiklik göstermekte, özel sektörün riski üstlenip üstlenmediğine, bunun kamu sektörü için makul olup olmadığına ve bu riskin kamu sektörüne üstlenilmesi durumunda karşı karşıya kalınacak potansiyel risklerin karşılaştırılmasına bağlıdır (Ng ve Loosemore, 2007). Risk etkisinin tahmininde ilk adım, projenin kendine özgü/özel risklerinin tanımlanmasını gerektirmektedir (Cui ve diğ. 2018). "Riski iyi yönetemeyecek olan tarafa aktarmak proje üzerinde daha fazla risk oluşturur ve maliyet artar, bu nedenle riski en iyi şekilde değerlendirecek, yönetecek ve kontrol edecek tarafça karşılanması gerekir." (Ahmad ve diğ., 2017). Çalışmalarda, kamunun mümkün olduğu kadar çok proje riskini transfer etmeye hevesli olmasına rağmen özel sektör ortağın proje riskini mümkün olduğunca az kabul etmeye veya hiç almamaya eğilim gösterdiği kanıtlanmaktadır (Wibowo ve Mohamed, 2010). Kamu sektörünün tüm riskleri özel sektöre aktarma veya yüklenme fikrinden kaçınması, özel sektör yatırımcılarının KÖİ projelerine katılımını olumsuz yönde etkilememek açısından önemlidir (Osei-Kyei ve Chan, 2015). Bu nedenle, kamu sektörü özel katılımcıların kontrolü dışında olan riskleri üstlenmeli ve varlık satın alma, hizmet sunumu ile ilgili riskleri özel katılımcılara yönlendirmelidir. Ayrıca uygun risk paylaşımı, yüklenicilerin riskler konusunda net olmalarını sağlamakta ve proje uygulama aşamasında uyuşmazlıkları azaltmaktadır (Hwang ve diğ., 2013).

Riski üstlenecek tarafın hem riskli sonucu etkin şekilde kontrol edebilmesi hem de en düşük maliyetle karşılayabilmesi gerektiği teoride mantıklı görünse de, uygulamada her zaman mümkün olamamakta, pozisyon alan ve riski en iyi yöneteceğine inanılan taraf; riski en verimli, etkin ve düşük maliyetle kontrol edememektedir (Medda, 2007). Ayrıca risk paylaşımının temel ilkelerinden bir diğeri de, risk miktarı ile faydaların dengeli veya orantılı olmasıdır, yani yüksek risk yüksek faydaları hak

etmektedir (Wang ve diğ., 2018). Bunun tersine ve aynı zamanda yine özel sektör ortakların üstlendiği risk ile özel sektör yatırımı arasında önemli bir negatif ilişki olduğu ve KÖİ projelerinde özel sektör yatırım tutarı büyüdükçe özel sektör ortaklarının üstlendiği risk seviyesinin düştüğü de görülmektedir (Wang ve diğ., 2019). Risklerin paylaşımı hakkında bu yanlış algının devam etmesi halinde, risk etkilerini azaltmasının mümkün olmayacağı belirtilmektedir (Chung ve diğ., 2010).

Ayrıca Wang ve diğerlerinin çalışmalarında belirtildiği gibi, devletin risk yönetme kapasitesindeki artış yatırımcının fayda fonksiyonu üzerinde olumlu etkilere neden olmaktadır (Wang ve diğ., 2018). Devletin risk alma kabiliyeti sınırlandıkça, projeden elde edilecek fayda da yatırımcıların özgüvenine ve insafına kalmaktadır. Ancak, aciliyet arz eden projelerde, devletin yatırımcıları çekmek için devasa garantiler vermeye veya riskin çoğunu üstlenmeye istekli veya eğilimli olduğu görülmekte, bu ise adil olmayan bir paylaşım veya haksız kazançta yol açabilmektedir. Devletin daha fazla seçeneğe sahip olduğu rekabetçi projelerde ise, yatırımcıların işbirliği fırsatlarını yakalamak üzere kendi güç ve esnekliklerini daha fazla kullanma ve risk alma eğilimi artmaktadır. İşte bu noktada kamu yararını sağlamak için rekabetçi proje ve ihale süreçleri oluşturmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Budayan'ın (Budayan, 2018) çalışmasında ihalede rekabetin sağlanabilmesi için hem ihalenin çekiciliğinin artırılması hem de gerek yurtiçi gerekse yurtdışından firmaların ihale sürecine katılımının kolaylaştırılması açısından önlemlerin alınması gerektiğine değinmektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Riskler ve Paylaşım Tercihleri

İncelenen yayınlarda, anket, taraflarla yapılan görüşmeler, mevcut sözleşme ve ilgili belgelere dayalı olarak olası risk faktörleri, gerçekleşen/beklenen risk paylaşımı veya tercihleri ile bu risklerin yüklenmesinin daha uygun olacağı düşünülen taraf belirlenmeye veya değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada kolaylık sağlama amacıyla başlıklar halinde riskler irdelenmekte ise de, riskleri keskin bir şekilde birbirlerinden ayırmak mümkün olamamaktadır. KÖİ modeli risk faktörleri ve tarafların bu riskleri paylaşımını inceleyen yayınlar dikkate alınarak toplamda 65 adet risk faktörü belirlenmiştir. KÖİ modellerinde olası riskler ve bu risklerin yüklendiği ve/veya üstlenen tarafça yönetiminin daha uygun görüldüğü risk paylaşımı gerçekleştirilmiş farklı ülke ve KÖİ projelerine göre Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2'de yer alan çalışmaların tamamında; yapım maliyet ve süresinin aşımı, işletme ve bakım maliyet ve süresinin aşımı, mücbir sebepler risklerine değinildiği ve hatta bu riskler için risk paylaşım tercihlerinin büyük oranda aynı olduğu görülmektedir. Bunların dışında çalışmalara en fazla konu olan diğer risklerin ise; kamulaştırma, onay ve izin aşamasında gecikmeler, kanun/mevzuat değişimi, enflasyon ve faiz oranları değişimleri, piyasa talebi değişimi ve arazi edimi riskleri olduğu anlaşılmaktadır. Onay ve izin aşamasında gecikmeler ile faiz oranı oynaklığı risklerinde hangi tarafın üstleneceği konusunda tam bir birliğe varılamadığı görülmektedir. Proje riskleri ve ilişki riskleri başlıkları altındaki risk faktörleri ise çalışmaların sadece küçük bir kısmında değerlendirilmektedir.



Tablo 2. Literatüre göre KÖİ modeli risk paylaşım tercihleri  
Table 2. Risk sharing preferences of the PPP model in the literature

İncelenen Makaleler	HES	Genel - YİD	Tema Park	Ücretli Otoyol	Demiryolu	Ücretli Otoyol	Su Temini	Altyapı	Yüksek Hızlı Tren	Genel - YİD	Genel - YİD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	
<b>RİSKLER</b>												
Çalışmalara göre riski etkin şekilde karşılayacak taraf**												
<b>Politik Riskler</b>												
R1	İstikrarsız devlet	K	K	-	-	-	K	-	-	-	K	K
R2	Devletin güvenilirliği	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	-	-
R3	Devlet müdahalesi	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	-	-
R4	Zayıf siyasi karar alma otoritesi	-	K	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	-	K
R5	Siyasi/kamu muhalefeti (projeye karşı)	-	Kp	-	-	-	P	-	P	P	Kp	K
R6	Hükümetten destek eksikliği / destek riski	K	-	-	-	K	-	-	ÇK	P	K	-
R7	Yolsuzluk ve rüşvet	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	P	P
R8	Kamulaştırma	K	K	-	-	Ö	-	K	K	ÇK	K	K
R9	Onay ve izin aşamasında gecikmeler	K	Kp	-	K	P	-	-	ÇK	P	P	P
<b>Hukuki Riskler</b>												
R10	Kanun/mevzuat değişimi	K	P	-	P	Ö	K	K	ÇK	ÇK	-	Ö
R11	Olgunlaşmamış/tutarsız hukuki sistem veya yasal düzenleme eksikliği	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	K	-
R12	Vergi düzenlemelerinde değişiklik	-	ÇÖ	K	-	-	-	-	ÇK	ÇK	K	Ö
R13	Endüstriyel düzenleme değişikliği	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	-	P
R14	Ciddi sözleşme değişikliği, hatalı veya çelişkili sözleşme	-	Pp	-	-	-	-	-	P	P	P	K
<b>Ekonomik Riskler</b>												
R15	Zayıf finansal piyasa veya etkili ekonomik olaylar	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	Ö	Ö
R16	Başka ülke paralarının takası ve dönüştürülmesi	Ö	-	P	-	-	-	Ö	P	ÇÖ	-	-
R17	Enflasyon oranındaki oynaklığı	Ö	ÇÖ	P	-	P	-	Ö	P	P	P	Ö
R18	Faiz oranı oynaklığı	Ö	Ö	P	Ö	P	-	P	P	ÇÖ	P	Ö
<b>Piyasa Riskleri</b>												
R19	Piyasa talebi değişimi	K	-	P	K	Ö	Ö	Ö	P	ÇÖ	-	-
R20	Gümrük vergisi değişikliği	-	-	-	-	Ö	-	K	P	P	-	-
R21	Rekabet (özel hak)	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇÖ	-	-
R22	Rekabet edilemez ihale	-	-	-	-	-	-	-	ÇK	ÇK	-	-
R23	Proje talep düzeyi	-	ÇÖ	-	-	-	-	-	-	-	Ö	K
R24	Öznel değerlendirme	-	-	-	-	-	-	-	P	P	-	-
<b>Proje Riskleri</b>												
R25	Finansal risk	-	-	P	-	-	Ö	-	ÇÖ	ÇÖ	-	-
R26	Yüksek finansman maliyeti	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	Ö	Ö
R27	Finans kullanılabilirliği	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	Ö	Ö
R28	Yıllık ödemenin ertelenmesi / ödeme riski	-	-	-	K	-	-	-	P	ÇÖ	-	-
R29	Mali kapanmada gecikme	-	-	-	Ö	-	-	Ö	-	-	-	-
R30	Yetersiz mali denetim	-	-	-	-	-	-	-	P	P	-	-
R31	Projenin yatırımcılara karşı mali cazibesi	-	ÇÖ	-	-	-	-	-	-	-	Ö	Ö
<b>İlişki Riskleri</b>												
R32	Organizasyon, koordinasyon, iletişim riski	-	Ö	-	-	Ö	-	-	ÇÖ	P	Ö	P
R33	Sorumlulukların yetersiz dağılımı	-	P	-	-	-	-	-	-	-	P	P
R34	Yetki dağılımında yetersizlik	-	P	-	-	-	-	-	-	-	P	P
R35	Taraflar arasında taahhüt eksikliği	-	P	-	-	-	-	-	-	-	P	P
R36	3. Taraf güvenilirliği	-	ÇÖ	-	-	-	-	-	P	P	-	-
R37	Özel yatırımcı değişikliği	-	-	-	-	-	-	-	ÇÖ	ÇÖ	-	-
R38	Personel krizi veya grev	-	ÇÖ	Ö	-	-	-	K	-	-	-	Ö
R39	Ortaklar arasında çalışma yöntemleri ve bilgi birikimindeki farklılıklar	-	ÇÖ	-	-	-	-	-	-	-	P	P
R40	PPP/PFI düzenlemede bilgi eksikliği ve deneyimsiz özel ortak/konsorsiyum	-	Pp	K	-	-	-	-	ÇÖ	ÇÖ	P	Ö

Tablo 2. (devamı) Literatüre göre KÖİ modeli risk paylaşım tercihleri  
Table 2. (devamı) Risk sharing preferences of the PPP model in the literature

Yapım Riskleri												
R41	Alan emniyet ve güvenilirliği	-	-	Ö	-	Ö	-	-	-	-	Ö	-
R42	Kalitesiz işçilik	-	Ö	Ö	-	Ö	-	-	-	-	Ö	-
R43	Uygun malzeme ve işçilik kullanılabilirliği	-	Ö	-	-	Ö	-	-	-	-	Ö	Ö
R44	Arazi edinimi / yer durumu	-	K	K	K	K	-	-	ÇK	ÇK	K	K
R45	İslah, yerleşme (iskân) ve rehabilitasyon	-	-	Ö	K	-	-	-	-	-	-	-
R46	Zemin koşulları	-	Ö	Ö	-	Ö	-	-	P	ÇÖ	Ö	Ö
R47	Kamıtlanmamış mühendislik teknikleri	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	P	Ö
R48	Yanlış veya eksik tasarım	-	Ö	-	-	Ö	-	-	-	-	Ö	K
R49	Geç tasarım değişikliği	-	ÇÖ	P	-	K	-	-	-	-	-	K
R50	Kapsam değişimi	-	-	-	K	-	-	-	-	-	P	-
R51	Yapım maliyet ve süresinin aşımı	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	ÇÖ	ÇÖ	Ö	Ö
R52	Tedarikte gecikmeler	Ö	-	-	-	-	-	-	ÇÖ	Ö	-	-
R53	Taşeron/tedarikçi iflası	-	Ö	-	-	-	-	-	-	-	-	Ö
R54	Yapım değişiklikleri	-	-	-	-	-	-	-	ÇÖ	P	-	-
R55	Kaynak israfı	-	-	P	-	Ö	-	-	-	-	-	-
İşletme Riskleri												
R56	İşletme değişiklikleri	-	-	-	-	-	-	-	ÇÖ	P	-	-
R57	Teknoloji riski	-	-	Ö	-	-	Ö	Ö	ÇÖ	ÇÖ	-	-
R58	Performans standartları	-	-	-	Ö	-	Ö	-	-	-	-	-
R59	İşletme ve bakım maliyet ve süresinin aşımı / beklenenden sık bakım ihtiyacı	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	Ö	ÇÖ	ÇÖ	Ö	Ö
R60	Beklentinin altında işletme geliri	-	Ö	-	-	Ö	-	-	-	-	-	Ö
R61	Düşük işletme verimliliği	Ö	Ö	-	-	Ö	-	-	-	-	Ö	Ö
R62	Kalan varlıklar riski	-	ÇÖ	-	-	K	-	-	ÇÖ	P	P	-
Diğer Riskler												
R63	Hava koşulları	-	Ö	-	-	-	-	-	P	ÇÖ	Ö	Ö
R64	Çevre	-	Ö	K	-	-	-	K	P	P	Ö	Ö
R65	Mücbir sebepler	K	P	P	Ö	P	P	K	P	P	P	P
<b>Değerlendirilen toplam risk faktörü</b>		<b>14</b>	<b>42</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
<b>Değerlendirilen tüm risklerin taraflar arasında tahsis oranı</b>	Kamu (%)	50	14	19	46	17	20	43	33	26	18	23
	Özel (%)	50	69	43	46	67	60	50	28	36	46	55
	Paylaşılır (%)	0	17	38	8	17	20	7	38	38	36	23
* 1: Ozdoganm ve Birgonul, 2000; 2: Bing ve diğ., 2005; 3: Shen ve diğ., 2006; 4: Singh ve Kalidindi, 2006; 5: Ng ve Loosemore, 2007; 6: Chung ve diğ., 2010; 7: Wibowo ve Mohamed, 2010; 8: Ke ve diğ., 2006; 9: Chou ve diğ., 2012; 10: Hwang ve diğ., 2013; 11: Ahmad ve diğ., 2017												
** R1-65: Riskler, Ö: Özel sektör, ÇÖ: Çoğunlukla özel sektör, P: Taraflarca paylaşılır, K: Kamu sektörü, ÇK: Çoğunlukla kamu sektörü, p: Projeye bağlı												

### 3.1.1. Politik Riskler

Onay ve izin aşamalarında meydana gelen gecikmeler, kamulaştırma ile siyasi ve/veya kamu muhalefeti hususları politik riskler olup mevcut çalışmalarda da yoğun olarak irdelenen risklerdir. Özellikle proje onay ve izinlerinin yetkili kamu kurum veya kuruluşlarınca geciktirilmesi, ertelenmesi veya verilmemesi veya reddedilmesi durumlarında oluşan riskin ortak kamu ve özel sektörlerince paylaşılması gereği belirtilmektedir. Siyasi, sosyal ya da ekonomik baskılar nedeniyle işletmenin makul bir bedel ödenmeksizin hükümet tarafından özel sektörden devralınması durumuna ilişkin riski ise ağırlıklı olarak kamu sektörü ortağının katlanması daha makul kabul edilmektedir.

Kullanıcıların projeye önyargılı yaklaşması durumunda oluşacak kamu muhalefeti riskinin genelde taraflarca paylaşılması gerektiği hâkim görüş gibi ise de, bu riskin taraflarca paylaşımı her zaman mümkün olmamakta ve proje

özelinde değerlendirilmesi gerekliliği de öne çıkmaktadır. Ayrıca, uzun plan, yapım, işletim veya hizmet süreli veya ömürlü veya yaşam-döngülü projelerde, hükümetin güvenilirliği ve kredibilitesi kamu sektörü ortağın yükümlülüklerin ifası açısından önem teşkil etmektedir. Yatırımcıların, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, ülke yönetim ve ortamını gözetmesi ve siyasi riskleri göz ardı eden kör bir yatırım yapmaktan kaçınması dikkat çekicidir (Wang ve diğ., 2019).

Ayrıca karar verme yetisine sahip kamu çalışanlarının yetersiz KÖİ deneyimi veya birikimine dayalı olarak süreci herhangi bir şekilde sektöre uğratması da projeyi veya ortaklıkları olumsuz olarak etkilemektedir. Bazı çalışmalarda bu tür risklerin her ne kadar özel sektör tarafından karşılanabileceği belirtilmekte ise de politik risklerin genel olarak kamu sektörü tarafından üstlenilmesi gereği veya daha etkin bir şekilde yönetilebileceği düşünülmektedir.

Ayrıca Ng ve Loosemore'un çalışmalarında incelenen durumda, politik baskının, siyasetçileri projelerde karşılaşılabilecek risklere karşı kör edebildiğinden bahisle ilk maliyet tahminleri aksine, projenin ilk on yılda büyük miktarda kamu kaynak kaybına yol açma uyarılarına rağmen projeye ısrarla devam edilmesi, hükümetin projeyi durdurması halinde taraflarca imzalanan sözleşme gereği hükme bağlanan cezai müeyyide ile karşı karşıya kalma veya büyük tazminat ödeme zorunluluğuna bağlanmaktadır. Böyle bir durumda ise, hükümetin hem kendi itibar hem de yol açtığı kamu kaynak kaybından kurtulması iyice zorlaşmaktadır (Ng ve Loosemore, 2007).

Ameyaw vd. çalışmalarında, hükümetin kamu muhalefetine en aza indirmeye yönelik kaynaklarının ve çıkarlarının daha fazla olması nedeniyle bu riskin yüksek oranda kamu sektörüne tarafına yüklenmesi gerektiği sonucu beyan edilmiştir (Ameyaw ve diğ., 2015). Ayrıca, halkı projenin başlarında çevresel etki değerlendirme süreçlerine dahil ederek bu riskin minimize edilebileceği görüşü de belirtilmektedir. Böylece hem halkın görüşlerinin alınması hem de daha bu aşamada projenin faydalarının halka aktarılmasının mümkün olacağı paylaşılmaktadır.

### 3.1.2. Hukuki Riskler

Dünya genelinde kanun/mevzuat ve vergi düzenlemelerinde meydana gelen değişiklikler, üzerine en çok düşünülmesi gereken hukuki riskler içinde yer almaktadır. Çalışmanın başında da bahsedildiği gibi Türkiye'de KÖİ özelinde sistematik yasal çerçeve eksikliği nedeniyle taraflara veya projeye bağlı olarak tutarsız ve farklı düzenlemelerin ve kanunların uygulanması proje yaşam döngüsü boyunca bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Taraflar arasında imzalanan sözleşmelerde meydana gelen hatalar ve değişiklikler dışında hukuki risklerin genel olarak devlet tarafından güvence altına alınması projenin devamlılığı açısından önemli olduğu görülmektedir. Eğer önemli bir yasa değişikliği ile şirketin yükümlülüğünü yerine getirmesi engelleniyor ise bu risk, hizmet sunma konusundaki yetersizliğinden bağımsız olarak Özel Ortağın ilgili ödemeleri alma hakkı gibi bir madde ile sözleşme aşamasında karşılanabilir (Ke ve diğ., 2010).

Ayrıca "Vergi düzenlemelerinde değişiklik" riskin kamu ortağınca karşılanması gerektiği yaygın görüşünün aksine, Li vd çalışmalarında bu riskin iş/ticaret konusu olması nedeniyle kesinlikle özel sektör ortağı tarafından karşılanmasının daha doğru olduğu ancak bu riskin proje geliri veya ödeme mekanizması üzerinde etkili olması nedeniyle de kamu ve özel sektörlerce birlikte paylaşılmasının şartı olamayacağı da belirtilmektedir (Li ve diğ., 2005).

Gelişmekte olan ülkelerde hukukun üstünlüğü, kamu ve özel ortaklar arasındaki güven bağı tesis edilerek, risk dağılımı ve özel yatırım arasındaki olumsuz ilişkiyi hafifletmeye, gelecekte ortaklar arasında meydana gelebilecek riskten kaçınma durumlarını azaltmaya ve böylelikle özel sektör yatırımını çekmeyi başarmak için büyük önem arz etmektedir (Wang ve diğ., 2019).

### 3.1.3. Ekonomik riskler

Ekonomik riskler, siyasal ve sosyal pek çok faktörden etkilenmektedir. Olgunlaşmamış ekonomik sistem ve istikrarsız para politikalarının yanında uzun yapım ve işletme süreleri ile birlikte enflasyon oranında değişiklikler, neredeyse tüm yayınlarda, taraflar arasında paylaşılması gereken bir risk olarak

ele alınmaktadır. Ayrıca döviz kurunda meydana gelen dalgalanmalar, yapım sürecinde malzeme ve imalat fiyatlarını, işletme sürecinde de hizmet bedellerini fazlasıyla etkilediğinden gelişmekte olan ülkeler açısından önemi daha da artmaktadır.

Faiz ile enflasyon oynaklığı, döviz takas riski ve piyasa talebi değişimi risklerinin, her iki tarafın da tek başına istenildiği gibi altından kalkabileceği riskler olmadığından kamu ve özel sektörün ortak paylaşması gerekliliği doğmaktadır (Ke ve diğ., 2010).

### 3.1.4. Piyasa Riskleri

Münhasır hak hariç olmak üzere sosyal ve ekonomik faktörler nedeniyle talebin değişmesi, uygun ve esnek olmayan tarife tasarımı nedeniyle gelirin yetersiz kalması (Ke ve diğ., 2010) durumları proje üzerinde baskı oluşturmaktadır. Ayrıca uzun işletme süreleri boyunca İdare tarafından verilen garanti taahhütleri, kamuoyunu da fazlasıyla meşgul etmekte ve projeleri gölge altında bırakabilmektedir. Tablo 2'de görüldüğü üzere bu riskin paylaşımında yayınlarda da tam bir birliktelik bulunmamakla beraber, öncelikle özel sektör olmak üzere taraflar arasında paylaşılmasının uygun olacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca şeffaf olmayan teklif süreçleri ile rekabetin kısıtlanması, yürütülen projelere rakip veya rekabeti oluşturacak başka yeni projelere izin verilmemesi, imtiyaz süresi ve hizmet bedeli gibi proje değerlerinin öznel kıstaslara göre değerlendirilmesi de piyasa üzerinde risk oluşturmaktadır.

YİD otoyollar açısından, talep; sosyoekonomik kalkınma, geçiş ücretleri, bağlantı yollar ve altyapı gibi faktörlerden etkilenmekte, bu faktörler ise esas olarak hükümet tarafından kontrol edilebilmektedir. İmtiyaz sahibinin, kontrolü sınırlı olduğu için, ancak daha iyi hizmet sunma, pazarlama ve taviz verme yoluyla talebi etkilemesi mümkün görünmektedir (Thomas ve diğerleri, 2010). Ayrıca Ng ve Loosemore'un çalışmasında vurgulandığı gibi, genelde proje geliştirilirken; insanlara alışkın oldukları ya da gerçekten herhangi bir sebep veya teşvik verilen geleneksel ulaşım tarzlarını değiştirerek yatırım yapılan ulaşım türünü veya yolunu kullanmak hakkında bir eğitim verilmemektedir (Ng ve Loosemore, 2007). Bu davranış değişikliğini sağlayabilmek adına hükümet ve proje paydaşları bir arada çalışmalı ve tüketici satın alma davranışları hakkında önemli Pazar araştırmaları yapılmalıdır. Ng ve Loosemore'un bu çalışmasında, paydaşların proje bitmeden insanları yatırım yapılan projeyi kullanmaya teşvik etmek için daha fazlasını yapmaları gerekmesine rağmen onların diğer hizmetleri durdurarak insanları projeyi kullanmaya zorlamakla yetindikleri belirtilmektedir (Ng ve Loosemore, 2007). Böyle bir durumda, insanlarda daha fazla şaşkınlık ve tepki yaratıldığı, insan davranışlarını değiştirmek veya yönlendirmek için devlet müdahalesi ve desteği olmaksızın garanti vermenin de doğru olmadığı sonucuna varılmaktadır (Ng ve Loosemore, 2007). Kamuoyu algısı dönüştürülebilir bir kavramdır ve her iki sektör tarafından beraber yönetilmelidir (Chung ve diğ., 2010).

### 3.1.5. Proje Riskleri

Proje için yine finansal risklerin ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kullanıcıların KÖİ proje veya yapısı hakkında yeterince bilgilendirilmemesi, genellikle büyük altyapı projelerinin seçimlerde vaat edilmesi, daha projenin tanıtımında kullanıcılara hiç bir maliyet yaratmayacağına yansıtılması, işletme sürecinde, kullanıcılarda herhangi bir bedel ödemeye karşı direnç oluşturmaktadır. Buna bağlı ülke yapısı da dikkate alınmadan

belirlenen hizmet bedeli ve kullanıcı sayısı tahminleri çok yüksek kalmaktadır. İşletme bedeli garanti edilen seviyeye ulaşmadığı durumlarda ise devlet garantileri devreye girmektedir. Hükümetin, garanti ettiği ödemeleri ülkenin ekonomik veya sosyal durumu nedeniyle yapamıyor veya yapmak istemiyor olması, projeye borç verenlerin mali durumlarının yeterince denetlenmemesine bağlı daha proje aşamasında mali sıkıntı yaşanması gibi kamu ve özel sektörde paylaşılması gereken finansal riskler oluşabilmektedir.

Ayrıca kamu kurumları tarafından sunulan geçmiş trafik sayımlarında bulunan yanlışlıklar, kullanıcıların projeyi ödeme yaparak kullanmaya istekli olacağına dair yanlış tahminler ve proje teklif sürelerinin kısa tutulması, yatırımcıların YİD projelerine karşı güvensiz yaklaşmasına neden olmaktadır (Singh ve diğ., 2006).

### 3.1.6. İlişki Riskleri

Çoğunlukla özel sektör tarafından karşılanması gerektiği düşünülen koordinasyon eksikliği ve anlaşmazlıklar nedeniyle maliyetlerde artış meydana gelmesi, konsorsiyumun KÖİ bilgi ve deneyim eksikliği nedeniyle edim veya yükümlülüklerini yerine getirememesi ilişki riskleri içinde önemli görülmektedir.

### 3.1.7. Yapım Riskleri

Yapım maliyetinin ve süresinin aşılması riskine tüm çalışmalarda değinilmekte olup, çoğunlukla özel sektörde yüklenilmesi gerektiği görüşü benimsenmektedir. Bu riskin yanında, yapım ve tasarımda gerçekleştirilen değişiklikler, altyüklenici ve tedarikçilerden zamanında hizmet ve/veya malzeme temini, beklenmedik veya zayıf zemin koşulları ile karşılaşılması, malzeme, kalite ve güvenlik ile ilişkili risklerin de genellikle özel sektöre yüklenmesinin yerinde olacağı anlaşılmaktadır.

Ameyaw vd.'ne göre özel sektör hükümete göre inşaat maliyeti ve süresi üzerinde, daha fazla kontrol gücüne sahiptir. Bu durum, projelerin bütçe dahilinde ve zamanında tamamlanması konusunda avantaj sağlamaktadır (Ameyaw ve diğ., 2015). Ayrıca KÖİ ile geleneksel projeler karşılaştırıldığı çalışmalarda, KÖİ projelerinin geleneksel projelere göre süre açısından daha erken bitirilip teslim edildiği, maliyet açısından da daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmalarda en çok değinilen risklerden biri olan arazi edinimi riskinin ise kamu sektöründe daha efektif yönetileceği, daha fazla deneyime ve gerekli kaynağa sahip olduğu düşünülerek kamu sektöründe karşılanması gerektiği konusunda fikir birliği oluşmuş görünmektedir.

### 3.1.8. İşletme Riskleri

Kamu sektörü imtiyaz süresince projenin işletme haklarını özel sektöre bırakmaktadır. Ancak kamu sektörünün bu süre boyunca gelir elde etme fırsatını kaybetmiş olması yatırımın zarar getirdiğini değil, aksine iyi düzenlenmiş bir sözleşme ile kamu yatırımlarından fayda sağlamaya ve refahı yükseltme birincil misyonunu yerine getirerek doğru yatırımlara dönüştürmeye yarar (Mishra ve diğ., 2013).

Yetersiz araştırma, yanlış hesap, tasarım veya planlama sonucu işletme sırasında beklenmedik değişimlerin veya hataların olması, verimin düşmesi, maliyetin aşılması veya imtiyaz süresi sonunda devri yapılan varlıkların gereken standartta olmaması gibi hususlara bağlı risklerden oluşan

işletme risklerinin çoğunlukla özel sektör kaynaklı olduğu ve özel sektör tarafından karşılanması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Ancak görüleceği üzere “Kalan varlıklar” riski için çalışmalarda tam bir bütünlük sağlanamamaktadır. Bing vd. (Bing ve diğ., 2005) çalışmasında da bu durum saptanmakta ve neden olarak projelerin benzersiz olma özelliği gösterilmektedir.

KÖİ projelerinde kullanıcılar için yüksek tarifeler, yatırımcı için yüksek kar ya da devletin verdiği yanlış bir karar politik ve sosyal olarak büyük baskılara neden olmaktadır. Bu şartlar altında, Devletin imtiyazı sonlandırmak zorunda kalması ve işletmeyi özel ortaktan tazminatsız olarak devralması mümkündür (Ke ve diğ., 2010).

Thomas vd. (Thomas ve diğ., 2003) çalışmalarında üzerinde durulan risklerden biri “trafik gelir riski”dir. Bu risk Tablo 2’de yer almamasına rağmen YİD otoyol projeleri için büyük öneme sahip olup, işletme riskleri içinde değerlendirilmektedir. Thomas ve diğerlerinin çalışmalarından Hindistan’da faaliyette olan YİD yol projelerinin hiçbirinde öngörülen trafiğe ulaşamadığı ve ayrıca kamu direnişi, yetersiz devlet desteği ve geçiş ücreti tarifesinde artışlarla karşılaştığı anlaşılmaktadır (Thomas ve diğ., 2003). Bu nedenle, Hindistan YİD yol projelerinde trafik gelir riski en kritik risk olarak kabul edilmekte, bu riskin üstlenimi konusunda çok farklı düşünülmekte ve müzakere edilmesi çok zorlaşmaktadır. İmtiyaz sahipleri çoğunlukla bu riskin kamu, özel sektör ve kullanıcı arasında paylaşılması gerektiğini düşünmekte iken çok az hükümet yetkilisinin bu riski kullanıcılara aktarmayı tercih ettiği görülmektedir. Genel olarak hükümet tarafından ise bu riskin özel sektör ve borç verenlerce karşılanmasının doğru olduğu savunulmaktadır.

### 3.1.9. Diğer Riskler

Sıkı çevre koruma düzenlemeleri, beklenmedik hava koşulları, sel, fırtına gibi doğal afetler ile salgın hastalık, savaş gibi sözleşme taraflarınca kontrol edilmesi mümkün olmayan durumların sözleşmeye eklenmesi ve genellikle taraflarca eşit olarak paylaşılması gerekmektedir. Ayrıca bu gibi durumların oluşması ihtimaline karşı, özel sektör ortağına tüm tarafları koruma altına alacak All Risk sigortasının yaptırılması istenmektedir.

Her ne kadar salgınlar da mücbir sebep başlığı altında yıllardan beri değerlendirmeye alınmıyor olsa da ülkemizin de Mart 2020’den bu yana sıkıntılı günler geçirmesine sebep olan Covid-19’un, KÖİ projeleri üzerinde öngörülemeyecek bir baskı yarattığı ortadadır. Bu husus ile ilgili Aladağ vd. (Aladağ ve diğ., 2021) çalışmalarında, 2020/5 nolu Cumhurbaşkanlığı Genelgesi uyarınca Covid-19 kaynaklı uyuşmazlıkların çözümünde idareye süre uzatımı veya sözleşme feshi hakları verilmiş olsa da olayın büyüklüğü, süresi ve KÖİ projelerinin sürdürülebilirlikleri açısından bu riskin taraflar arasında paylaşılması önerilmektedir.

## 4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışmanın amacı, KÖİ projeleri kapsamında tüm Dünya da karşılaşılan risk faktörlerini belirlemek ve taraflarca paylaşımını incelemektir. İncelenen çalışmalar göstermektedir ki; KÖİ modeli ile gerçekleştirilen projelerin başarısında, özel sektör için olduğu kadar kamu sektörünün hedeflerine ulaşması için de risk tanımlaması ve paylaşımının doğru yapılması kritik başarı faktörleri listesinin başında yer almaktadır.

Bu çalışmada dikkate alınan 65 risk faktöründen, en çok risk faktörünü değerlendirilen yayınlar içinde ülkelerin sırasıyla

İngiltere, Malezya ve Çin olduğu tespit edilmektedir. Risk faktörlerinin tek bir tarafa yüklenmesinden çok, kamu ve özel sektörlerce beraber karşılanması eğilimindeki Çin hariç diğer ülkelerin çoğunlukla riskleri özel sektöre yükleme veya yönlendirme eğilimi fark edilmektedir. Risk dağılımında tarafların birlikte paylaştığı risklerin en az gözlendiği ülkeler ise, Türkiye, Hindistan ve Endonezya'dır. Ancak, bu ülkelerde, az sayıda risk faktörü değerlendirilmekte ise de, kamuya ve özel sektöre dağıtılan risk faktörleri adetinin birbirine eşit olması dikkat çekicidir. Ayrıca, Avustralya ve Çin'de, aynı risk faktörlerine özel-kamu, özel-paylaşımlı veya kamu-paylaşımlı gibi farklı yaklaşımlar derlenmiş olmasına rağmen taraflar arası dağılım oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu da gözlenmektedir. Dolayısıyla İngiltere, Avustralya ve Malezya dışındaki ülkelerde KÖİ modeli ile gerçekleştirilen projelerde, risklerin kamu sektöründen özel sektöre transferi hedefine ulaşamadığı görülmektedir.

Genel olarak;

- İncelenen yayınların çoğunda "kamulaştırma" ile "onay ve izin aşamalarında meydana gelen gecikme" risklerinin irdelendiği, önemine değinildiği ve diğer politik risklerde olduğu gibi bu risklerin de ağırlıklı olarak kamu sektör ortağı tarafından yüklenilmesinin daha uygun olacağı görüşü benimsenmektedir.
- Hemen hemen tüm çalışmalarda değinilmiş bir diğer risk faktörünün ise hukuki riskler başlığı altında değerlendirilen, "kanun/mevzuat değişimi" riski olduğu görülmektedir. Yayınlar da risk faktörü için tam bir görüş birliğine varılmadığı görülmekle beraber kamu sektör ortağının bu riski daha etkin kontrol edebileceği açıklar.
- Bunların yanında "faiz oynaklığı" ve enflasyon oynaklığı" risklerinin KÖİ projeleri için büyük öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu iki risk için; çalışmaların yarısında, ticari faaliyeti ilgilendirmesi nedeniyle özel sektör ortak tarafından karşılanması gerektiği iddia edilmekte iken, çalışmaların diğer yarısında ise sadece bir tarafın üstesinden gelebileceği boyutta riskler olmadığı, taraflarca paylaşılmasının yerinde olacağı görüşleri belirtilmektedir. "Faiz ve enflasyon oynaklığı" risklerini özel sektör ortağa devredilmesi görüşü belirten yayınların yapıldığı ülkelere bakıldığında Türkiye, İngiltere ve Malezya olduğu görülmektedir.
- İncelenen yayınların istisnasız tamamında değinilmiş olan "yapım maliyetinin ve süresinin aşılması" ile "işletme ve bakım maliyet ve süresinin aşımı" risklerinin, özel sektör ortağı tarafından karşılanmasının uygun olacağı hususunda tüm yayınlar da fikir birliğine varılmaktadır.
- Yapım riskleri başlığı altında değerlendirilen çoğu yayında incelenen "arazi edinimi" riski ise, bu başlık altında değerlendirilen diğer risk faktörlerinden ayrı bir şekilde yer aldığı yayınların tamamında kamu sektörünce karşılanması gereken riskler içinde bulunmaktadır.
- Dolayısıyla,
  - o kamu sektörünce daha iyi yönetilebileceği ve kontrolünün daha etkin sağlanabileceği düşünülen politik ve hukuki risk faktörlerinin kamu sektör ortağı tarafından karşılanmasının,
  - o özel sektör dinamizmi, uzmanlığı, yetenekleri ve kaynakları ile yönetilmesinin ve kontrol edilmesinin anlamlı olacağı direkt olarak iş konusu olan projeyi ilgilendiren, yapım ve işletme risk faktörlerinin ise özel sektör ortağı tarafından karşılanmasının,
  - o ayrıca ekonomik, ilişki ve piyasa riskleri gibi tek bir tarafça üstlenilmesi kolay ve mümkün olmayan risk

faktörlerinin de etkin şekilde paylaşılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Ancak her projenin kendine özel olduğunu unutmamakta fayda vardır. Risk dağılımı yapılırken genel çerçeve göz önünde bulundurularak, riskler proje bazında detaylıca ve objektif olarak değerlendirilmelidir.

YİD modeli ile gerçekleştirilen projelerde devletin en önemli avantajı finansman imkânı olmaktadır. Sağlanan kaynak ile devlet borçlanmadan kurtulmakta ve önemli bir avantaj elde etmektedir. Ancak bu tür projelerin finansman sorununa kökten çözüm olacağı ve kamudan hiç kaynak harcanmadan gerçekleştirileceğine dair oluşan yanlış algı da başlı başına bir sorun oluşturmaktadır. Oluşacak bu tür bir yaklaşım, projelerin hazırlık aşamalarında yeterli özen ve önem gösterilmemesine ve uygulama aşamasında kamu tarafından sahiplenilmemesine yol açabilmektedir. Bu tür projelerin başarılı bir şekilde uygulanması için ilk olarak yapılabilirlik etütlerinin gerçekleştirilmesi ve ölçümlerin etraflı yapılması, sözleşmelerinin hassas ve detaylı hazırlanması, teknik ayrıntılara önem verilmesi, kontrollerin sıkı bir şekilde yapılması ile mümkün olmaktadır. Projelerin kamu yararından sapması dikkatlice izlenerek oldukça gerçekçi ve dürüst değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca bu tür projeler yabancı sermayenin ülkeye girişini kolaylaştırmakta, olumlu değerlendirilmesi durumunda gelecek vadetmektedir.

## Kaynakça

- Acar, M.C., Havaalanı Terminal Binalarında Yap İşlet Devret Modeli, T:C: Ulaştırma Bakanlığı Sivil havacılık Genel Müdürlüğü, 2006.
- Ahmad, U., Ibrahim, Y., Minai, M.S., Public private partnership in Malaysia: the differences in perceptions on the criticality of risk factors and allocation of risk between the private and public sectors, *International Review of Management and Marketing* 7 (2), 138-150, 2017.
- Aladağ, H., Demirdöğen, G., Işık, Z., Investigation of dispute factors and effects on construction projects arising from COVID-19 pandemic as a force majeure event, *Journal of the faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (3), 1213-1228, 2021. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.784968>
- Ameyaw, E. E. ve Chan, A. P., Risk allocation in public-private partnership water supply projects in Ghana, *Construction Management and Economics*, 33(3), 187-208, 2015. <https://doi.org/10.1080/01446193.2015.1031148>
- Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P.J., Hardcastle, C., The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. *International Journal of Project Management* 23 (1), 25-35, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.006>
- Budayan, C., Analysis of critical success factors in public private partnership projects by triangulation method: Turkey perspective, *Journal of the faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (3), 1029-1044, 2018. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416404>
- Chou, J.S., Tserng, H.P., Lin, C., Yeh, C.P., Critical factor and risk allocation for PPP policy: Comparison between HSR and general infrastructure projects. *Transport Policy* 22, 36-48, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.009>
- Chung, D., Hensher, D.A., Rose, J.M., Toward the betterment of risk allocation: Investigating risk perceptions of Australian stakeholder groups to public-private-partnership tollroad

- projects. *Research in Transportation Economics* 30 (1), 43-58, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.10.007>
- Cui, C., Liu, Y., Hope, A., & Wang, J., Review of studies on the public-private partnerships (PPP) for infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 36(5), 773-794, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.03.004>
- Grimsey, D., Lewis, M.K., Evaluating the risk of public private partnership for infrastructure projects, *International Journal of Project Management* 20 (2), 107-118, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00040-5)
- Hwang, B.G., Zhao, X., Gay, M.J.S., Public private partnership projects in Singapore: Factors, critical risks and preferred risk allocation from the perspective of contractors. *International Journal of Project Management* 31 (3), 424-433, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.08.003>
- Ke, Y., Wang, S., Chan, A.P., Lam, P.T., Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects. *International Journal of Project Management* 28 (5), 482-49, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.007>
- Li B., Akintoye, A., Edwards, P.J., Hardcastle, C., Perceptions of positive and negative factors influencing the attractiveness of PPP/PFI procurement for construction projects in the UK: findings from a questionnaire survey. *Engineering Construction and Architectural Management* 12 (2), 125-148, 2005. <https://doi.org/10.1108/09699980510584485>
- Medda, F., A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, 25(3), 213-218, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.003>
- Mishra, S., Khasnabis, S., & Dhingra, S. L., A simulation approach for estimating value at risk in transportation infrastructure investment decisions. *Research in transportation economics*, 38(1), 128-138, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.05.009>
- Ng, A. ve Loosemore, M., Risk allocation in the private provision of public infrastructure. *International Journal of Project Management* 25 (1), 66-76, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.005>
- Osei-Kyei, R. ve Chan, A.P., Review of studies on the Critical Success Factors for Public-Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013, *International Journal of Project Management*, 33(6), 1335-1346, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.008>
- Ozdoganm, I.D. ve Birgonul, M.T., A decision support framework for project sponsors in the planning stage of build-operate-transfer (BOT) projects. *Construction Management & Economics*, 18(3), 343-353, 2000. <https://doi.org/10.1080/014461900370708>
- Özdemir, H., Kamu-özel sektör işbirliğinde risk yönetimi ve Türkiye üzerine bir değerlendirme, *Journal of 4. Politics, Economy and Management* 1 (2), 27-40, 2018.
- Shen, L.Y., Platten, A., Deng, X.P., Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong. *International Journal of Project Management* 24 (7), 587-594, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.07.006>
- Singh, L.B., Kalidindi, S.N., Traffic revenue risk management through annuity model of PPP road projects in India. *International Journal of Project Management* 24 (7), 605-613, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.07.008>
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, *Dünyada ve Türkiye'de Kamu-Özel İşbirliği Uygulamalarına İlişkin Gelişmeler Raporu: 2016*, Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Haziran 2019.
- Thomas, A. V., Kalidindi, S. N., & Ananthanarayanan, K. A. B. T., Risk perception analysis of BOT road project participants in India. *Construction Management and Economics*, 21(4), 393-407, 2003. <https://doi.org/10.1080/0144619032000064127>
- Wang, H., Liu, Y., Xiong, W., & Song, J., The moderating role of governance environment on the relationship between risk allocation and private investment in PPP markets: Evidence from developing countries. *International Journal of Project Management*, 37(1), 117-130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.10.008>
- Wang, Y., Cui, P., & Liu, J., Analysis of the risk-sharing ratio in PPP projects based on government minimum revenue guarantees. *International Journal of Project Management*, 36(6), 899-909, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.01.007>
- Wibowo, A. ve Mohamed, S., Risk criticality and allocation in privatised water supply projects in Indonesia. *International Journal of Project Management*, 28(5), 504-513, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.003>
- World Bank. About public-private partnership. <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/about-public-private-partnerships>. Güncelleme tarihi Nisan 16, 2021. Erişim tarihi Mayıs 22, 2021.
- Yescombe, E. R. *Public-private partnerships: principles of policy and finance*. Elsevier, UK, 2011.



# Galvaniz Kaplamada Banyo Sıcaklığı ve Akım Yoğunluğunun Kaplamanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Süleyman Şimşek<sup>1\*</sup>, Batuhan Çetin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0593-8036), [suleymansms01@gmail.com](mailto:suleymansms01@gmail.com)

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9275-507X), [batuhacetin9524@gmail.com](mailto:batuhacetin9524@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 30 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1105555)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, S., Çetin, B., (2022). Galvaniz Kaplamada Banyo Sıcaklığı ve Akım Yoğunluğunun Kaplamanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 544-552.

## Öz

Metal ya da alaşımların yüzeylerini daha dayanıklı hale getirmek ve korozyon etkilerine karşı korumak için uygulanan yöntemlerden biri de yüzeyi ikinci bir metalle kaplamaktır. Kaplama malzemesi olarak kullanılacak metalin kimyasal aktifliği, kaplanacak metalden daha düşük olmalıdır. Bu amaçla çinko, bakır, krom, kalay, nikel, altın, gümüş, alüminyum gibi metaller kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çinko, kaplanan malzemeden (demir, çelik vb.) daha reaktif olduğu için kendini feda ederek, çelikten önce korozyona uğramaktadır. Metal yüzeyinin çinko ile kaplanması galvaniz kaplama olarak adlandırılmaktadır. Galvaniz kaplama, sıcak daldırma ve elektroliz kaplama olarak iki şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, elektroliz kaplama parametrelerinin (banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu), kaplamanın mekanik özelliklerine olan etkisini incelemektir. Yapılan uygulamalarda, numuneler çeşitli ön temizlik işlemlerinden geçirildikten sonra, üç farklı banyo sıcaklığı ve dört farklı akım yoğunluğu kullanılarak, elektroliz yöntemiyle kaplanmıştır. Bu parametreler uygulanarak kaplamanın kalınlığına bakılmış ve sertlik sonuçları incelenmiştir. Asitli banyoda, banyo sıcaklığının ve akım yoğunluğunun artması ile kaplama kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Fakat bu parametrelerin sertlik üzerinde etkisinin olmadığı yapılan ölçümlerle anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Galvaniz, Sertlik, Kaplama.

## Investigation of the Effect of Bath Temperature and Current Density on the Mechanical Properties of Galvanized Coating

### Abstract

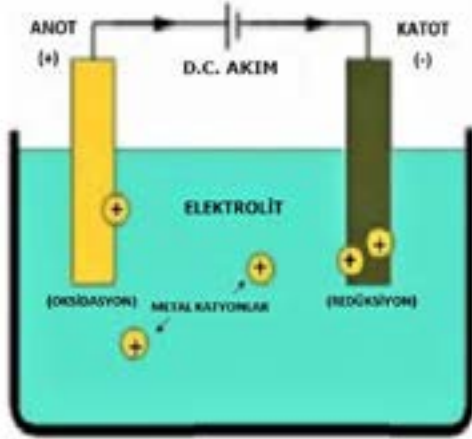
One of the methods applied to make the surfaces of metals or alloys more durable and to protect them against the effects of corrosion is to coat the surface with a second metal. The chemical activity of the metal to be used as a coating material should be lower than the metal to be coated. For this purpose, metals such as zinc, copper, chrome, tin, nickel, gold, silver, aluminum are used as coating materials. Since zinc is more reactive than the coated material (iron, steel, etc.), it sacrifices itself and corrodes before steel. The coating of the metal surface with zinc is called galvanization. Galvanized coating is done in two ways as hot dipped and electroplated coating. The aim of this study is to examine the effect of electrolysis coating parameters (bath temperature and current density) on the mechanical properties of the coating. In the applications, the samples were electroplated using three different bath temperatures and four different current densities after undergoing various pre-cleaning processes. By applying these parameters, the thickness of the coating was examined and the hardness results were examined. It was observed that the coating thickness increased with the increase of bath temperature and current density in the acidic bath. However, it is understood from the measurements that these parameters have no effect on the hardness.

**Keywords:** Galvanization, Hardness, Coating.

\* Sorumlu Yazar: [suleymansms01@gmail.com](mailto:suleymansms01@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde alternatif enerji kullanımı kadar metallerin yüzeylerinin de korunması önemlidir [1,2]. Metallerin yüzeyini dış etkenlere karşı korumak için en çok uygulanan yöntemlerden birisi, yüzeyi başka bir metalle kaplamaktır. Bunun için çinko, bakır, kalay, krom, nikel, altın, gümüş, alüminyum gibi metaller kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yüzey kaplama metali çinkodur. Çinko çok aktif olduğundan dolayı, metalleri korumak için tercih edilen bir elementtir. Metal yüzeyinin çinko ile kaplanması işlemine galvaniz denilmektedir. Galvaniz iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar sıcak daldırma ve elektro galvaniz yöntemleridir [3]. Sıcak daldırma yönteminde erimiş halde bulunan çinko (460°C) içerisine ana metal daldırılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemle yapılan kaplama homojen ve kalın bir yüzey tabakası sağladığı için uzun ömürlü olmaktadır. Sıcak daldırma galvaniz kaplama, ıslak ve kuru galvaniz kaplama olarak iki şekilde uygulanır [4]. Kuru galvaniz kaplamada, metalin yağı alınarak, asit ile dağlandıktan sonra sulu flaks çözeltisi içine daldırılması, kurutulması ve erimiş çinko banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilir. Islak galvaniz kaplamaysa; metalin yağı alınarak, asitle dağlandıktan sonra kurutma işlemi yapılmadan flaks katmanından geçirilerek erimiş çinko banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde oksidasyon önlenerek metallerin ömrü uzar ve havayla teması kesildiği için paslanma önlenmiş olmaktadır.



Şekil 1. Basit bir elektro kaplama hücresi (Figure 1. A simple electroplating cell) [5]

Genellikle galvaniz kaplama ömrünün daha uzun veya kısa olması kaplama kalınlığıyla doğru orantılıdır [6]. Şekil 1’de gösterildiği gibi elektroliz yönteminde, banyo çözeltisi içerisinde metal katoda, çinko ise anoda bağlanarak, yüksek akım, düşük gerilim üretici sağlayan redresörle akım verilerek anottan elektron koparılıp katoda yani malzeme yüzeyine yapışması sağlanmaktadır. Elektroliz yönteminde sırasıyla metal yüzeyinin temizlendiği dekopaj, metalin korunması için yapılan kaplama ve korozyon direncini arttıran pasivasyon işlemleri gerçekleştirilir. Uygun bir çözeltide yüzeyi metal kaplanacak olan parça katot yapılırsa, çözeltideki iyon element halinde katotta toplanır [7]. Elektro galvaniz kaplama, sıcak daldırma prosesine kıyasla daha ince bir yüzey tabakası oluşturduğundan dolayı, çoğunlukla küçük boyuttaki metallerin kaplanmasında kullanılan yöntemdir. Elektro galvaniz yönteminde saf çinko kullanılmaktadır. Elektro galvaniz kaplama süreci; askıya alma, yağ alma, yıkama, aside daldırma, yıkama, çinko kaplama, yıkama, pasivasyon, yıkama, kurutma, askıdan çıkartma, e-ISSN: 2148-2683

paketleme işlemleri uygulanarak kaplama işlemi tamamlanır [8]. Çinko çok aktif bir metal olduğundan dolayı başka elementler ve bileşiklerle birleştirilebilir. Sanayi alanında çinko kaplama farklı banyolarla yapılır. Bunlar asitli, alkali siyanürsüz, alkali siyanürlü banyolar olarak sınıflandırılabilir. Bu banyolar işlem süresi, ekonomiklik, yüzeye yapışma, dekoratif görünüş gibi faktörler dikkate alındığında farklı alanlarda kullanılır [9].

Sertlik genel anlamıyla malzemenin deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir. Sertlik; sürtünme, çizme, kesme ve plastik deformasyona karşı gösterilen direnç olarak da tanımlanabilir. Sertlik, daha sert bir malzemeye göre karşılaştırılan bir malzeme özelliğidir. Bu özellik tümüyle olmasa da diğer malzeme özellikleri hakkında bize yeterince fikir verebilir, uygulanacak işlerde yardımcı olabilir. Başka bir deyişle sertlik, bir malzemeyi kendisinden daha sert başka bir malzemenin çizmesine, batmasına, plastik deformasyona karşı gösterilen dirençtir [10].

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada belirlenen amaca ulaşabilmek için çeşitli aşamalar izlenmelidir. Öncelikle deney numunesi elektroliz yöntemiyle kaplanmalıdır. Daha sonra kalınlık ölçümü ve sertlik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmaların akış şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmaların akış şeması (Figure 2. Flow chart of experimental studies)

### 2.1. Kaplama Uygulaması

Yapılan deneylerde 2 mm kalınlığında ve 3x8 mm ebatlarında haddelenmiş düşük karbonlu dekape saclardan toplamda 12 tane kullanılmıştır. Standartlara uygun olarak kaliteli bir kaplama yapılması için ilk ve en önemli faktör, malzeme yüzeyindeki pas, oksit ya da kaplama yapılmasını engelleyecek katmanların uygun koşullarda deney numunelerinden uzaklaştırılmasıdır. Bunun için öncelikle kaplama yapılacak numunelerin yüzeyi iyice zımparalandıktan sonra saf suyla yıkanmıştır. Bu numunelerin kaplanacak olan 3x4,5cm<sup>2</sup> lik alanı ultrasonik titreşim banyosunda, uygun ölçüdeki behere aseton eklenerek 15dk boyunca bekletilmiştir. Ultrasonik titreşim banyosu Şekil 3’te verilmiştir.





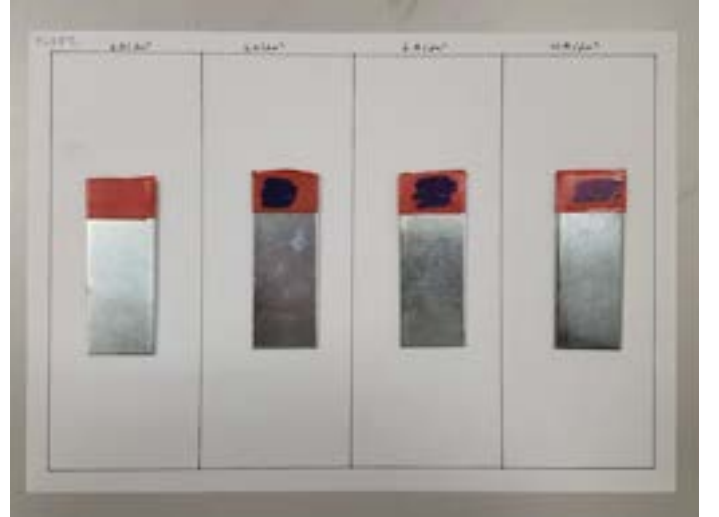
Şekil 3. Ultrasonik titreşim banyosu (Figure 3. Ultrasonic vibration bath)

Asetondan çıkarılan numuneler hacimce %5'lik nitrik asit çözeltisinde 15 saniye bekletildikten sonra kaplama banyosuna alınmıştır. Elektrolizle kaplama deneyleri için kullanılan asitli banyo bileşenleri; amonyum klorür 135 gr/L, çinko klorür 22,5 gr/L, parlaticı (taşıyıcı) hacmen %4 ve parlaticı (asıl) hacmen %0,2 oranlarında kullanılmıştır. Deneylerde banyo kabı olarak aside dayanıklı beher kullanılmıştır. Anot ve katot numuneleri banyo içerisine timsah uçlu tutucularla daldırılmıştır. Akım kaynağı olarak (Gwinstek SPS-606 adlı cihaz) çıkış akımı 6 A ve çıkış gerilimi 60 V olan ve ince ayar yapılabilen bir redresör kullanılmıştır. Banyo sıcaklığının kaplama kalınlığına olan etkisini belirlemek amacı ile asitli banyolarda ısıtıcı yardımıyla 25°C, 35°C ve 45°C banyo sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Banyo sıcaklığı, sık aralıklarla termometreyle kontrol edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4'te verilmiştir.

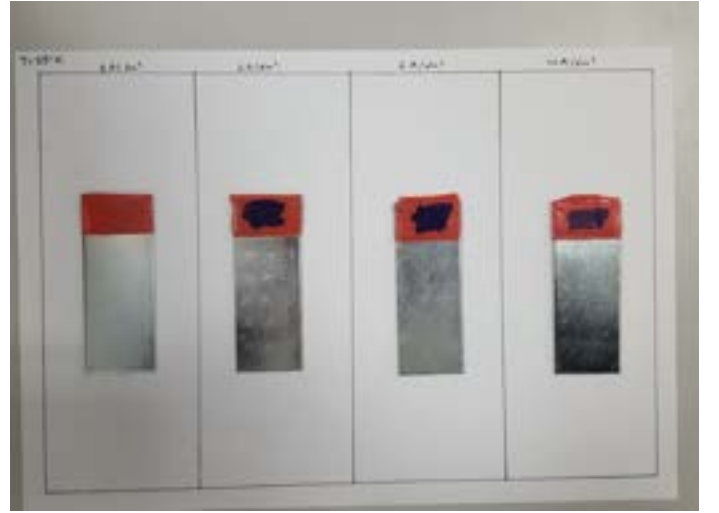


Şekil 4. Deney Düzeneği (Figure 4. The experimental setup)

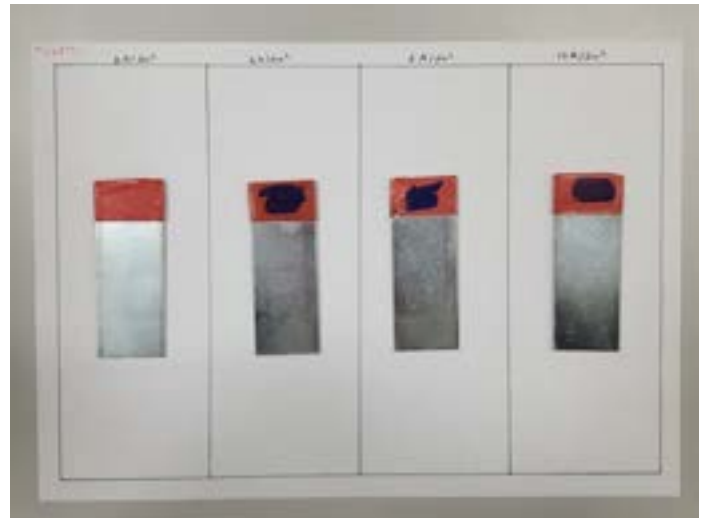
Deneylerde, asitli banyoda 10 dk işlem süresinde 2-4-6-10 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluklarında, 25°C, 35°C ve 45°C sıcaklıklarda kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Banyodan çıkarılan numuneler saf suyla yıkandıktan sonra bikromat pasivasyon işlemi uygulanmıştır. Yapılan farklı sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarındaki kaplamalar Şekil 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 25°C'de farklı akım yoğunluklarında olan kaplamalar (Figure 5. Coatings with different current densities at 25°C)



Şekil 6. 35°C'de farklı akım yoğunluklarında olan kaplamalar (Figure 6. Coatings with different current densities at 35°C)



Şekil 7. 45°C'de farklı akım yoğunluklarında olan kaplamalar (Figure 7. Coatings with different current densities at 45°C)

### 2.1.1. Kalınlık Ölçümü

Kaplama kalınlık ölçümü öncesinde metalografik işlemler olan kesme, bakalite alma (kalıplama) zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. İlk olarak numuneler Şekil 8’de gösterilen Struers Secotom-10 adlı kesme cihazında bakalite uygun olarak 0,4x1.5 mm boyutlarında kesilmiştir.



Şekil 8. Struers Secotom-10 numune kesme cihazı (Figure 8. Struers Secotom-10 specimen cutting device)

Daha sonra kesilen numuneler Şekil 9’da belirtilen Struers Citopress-10 adlı bakalit makinesinde 3 dakika ısıtma 2 dakika soğutma işlemi uygulanarak kalıplanmıştır.



Şekil 9. Struers Citopress-10 bakalite alma makinesi (Figure 9. Struers Citopress-10 leveling machine)

Tablo 1. Numunelerin Kodlanması (Table 1. Coding of Samples)

Sıcaklık – Akım Yoğunluğu	Kodlamalar
25°C - 2A/dm <sup>2</sup>	A1
25°C - 4A/dm <sup>2</sup>	A2
25°C - 6A/dm <sup>2</sup>	A3
25°C - 10A/dm <sup>2</sup>	A4
35°C - 2A/dm <sup>2</sup>	B1
35°C - 4A/dm <sup>2</sup>	B2
35°C - 6A/dm <sup>2</sup>	B3
35°C - 10A/dm <sup>2</sup>	B4
45°C - 2A/dm <sup>2</sup>	C1
45°C - 4A/dm <sup>2</sup>	C2
45°C - 6A/dm <sup>2</sup>	C3
45°C - 10A/dm <sup>2</sup>	C4



Şekil 10. Bakalite alınmış numuneler (Figure 10. Mounted samples)

Kalıplanan numuneler Şekil 11’de gösterilen Struers Abramin adlı cihazda sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi 300 devir/dakika dönüş hızında 5 dakika boyunca uygulanmıştır. Parlatma işlemi ise 300 devir/dakika dönüş hızında 4 dakika boyunca uygulanmıştır.



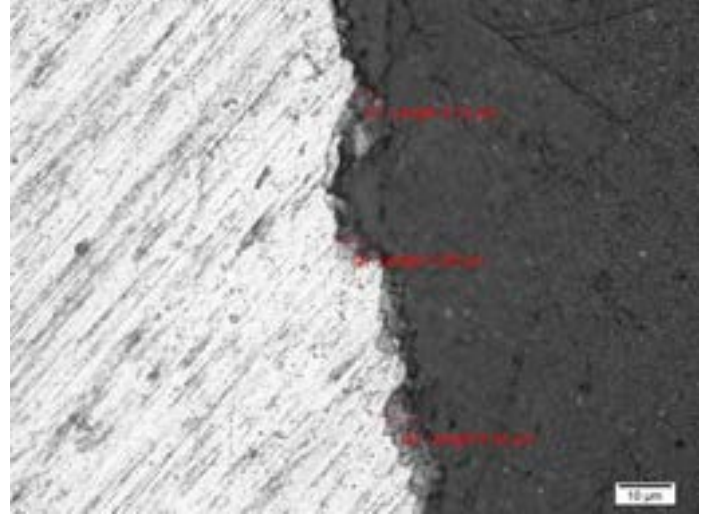
Şekil 11. Struers Abramin zımparalama ve parlatma cihazı  
(Figure 11. Struers Abramin sanding and polishing device)

Optik mikroskoptaki görüntünün net olması için dağlama işlemi yapılmıştır. Bu işlemde numune yaklaşık olarak 35 saniye boyunca nital çözeltisi üzerinde gezdirilmiştir. Daha sonra numune asetonla yıkanarak optik mikroskoba yerleştirilmiştir.

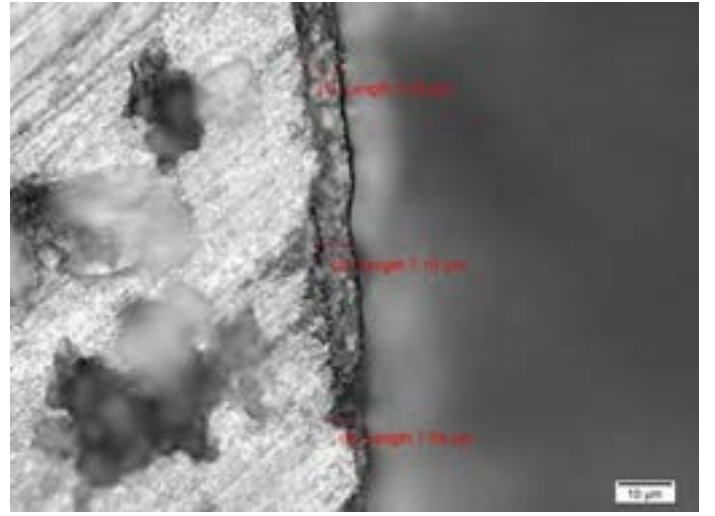
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Kalınlık Ölçüm Sonuçları

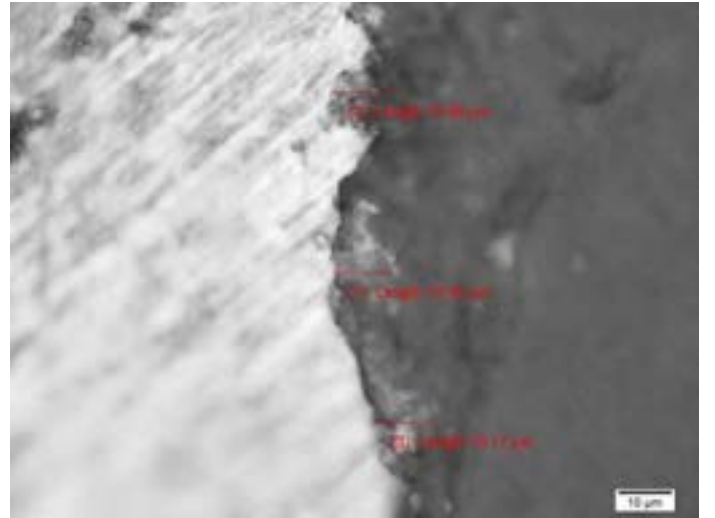
Kaplama kalınlıklarının ölçümü, numunelerden alınan kesitlerin optik mikroskopta 50X büyütülmesiyle incelenerek tespit edilmiştir. Yapılan işlemler her bir numune için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bütün numuneler içinde ölçülen kaplama kalınlıklarının en düşüğü A1 numunesinde 4,587 mikron, en yükseği C4 numunesinde 11,650 mikron olduğu görülmüştür. Bu kalınlık ölçümleri Şekil 12, 13 ve 14'te verilmiştir.



(b)

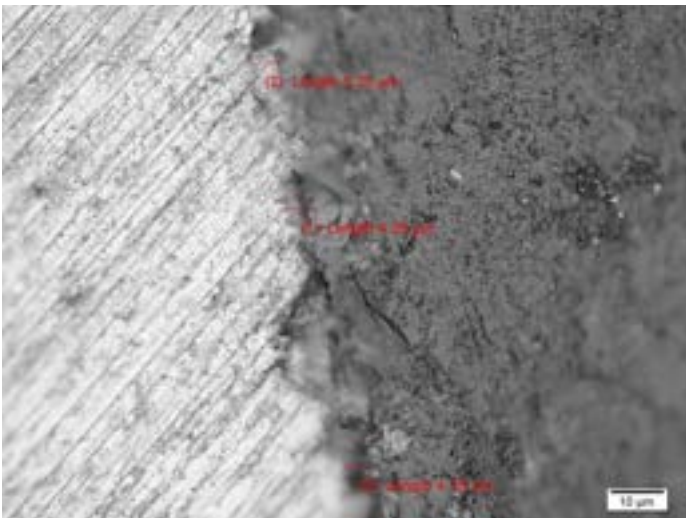


(c)

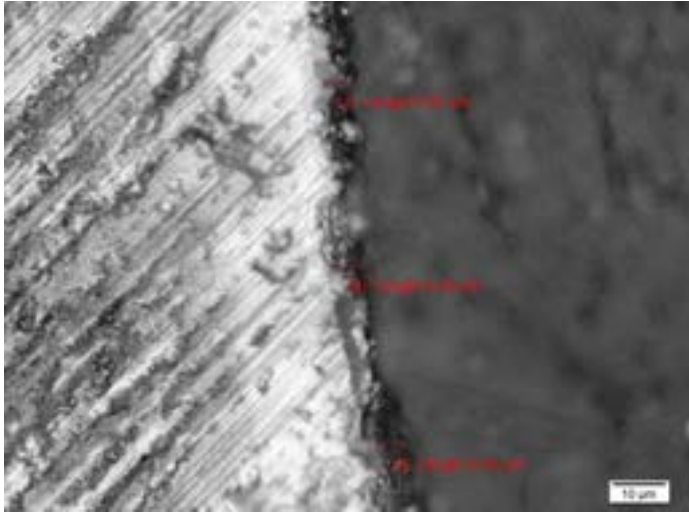


(d)

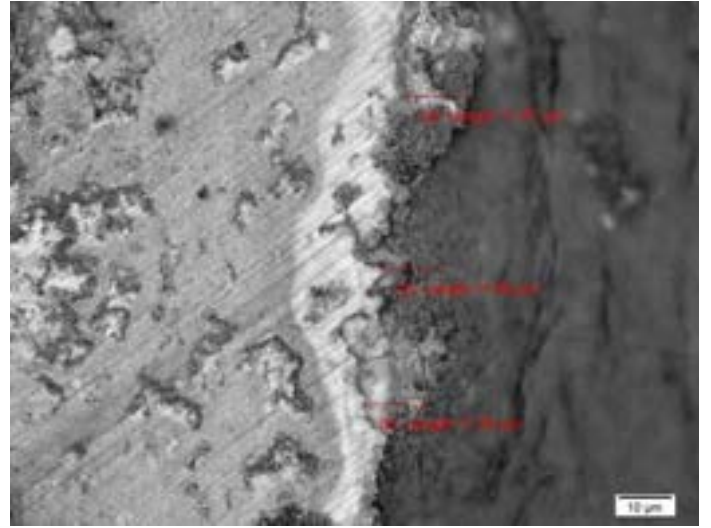
Şekil 12. 25°C'de (a) 2 A/dm² (b) 4 A/dm² (c) 6 A/dm² (d) 10 A/dm² (Figure 12. at 25°C (a) 2 A/dm² (b) 4 A/dm² (c) 6 A/dm² (d) 10 A/dm²)



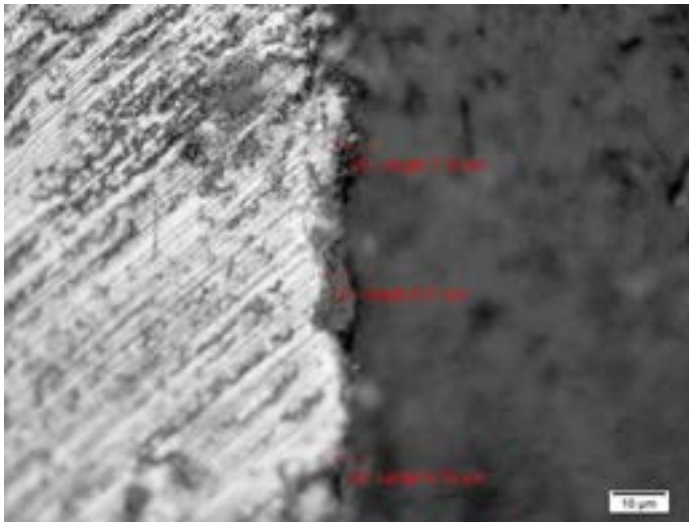
(a)



(a)

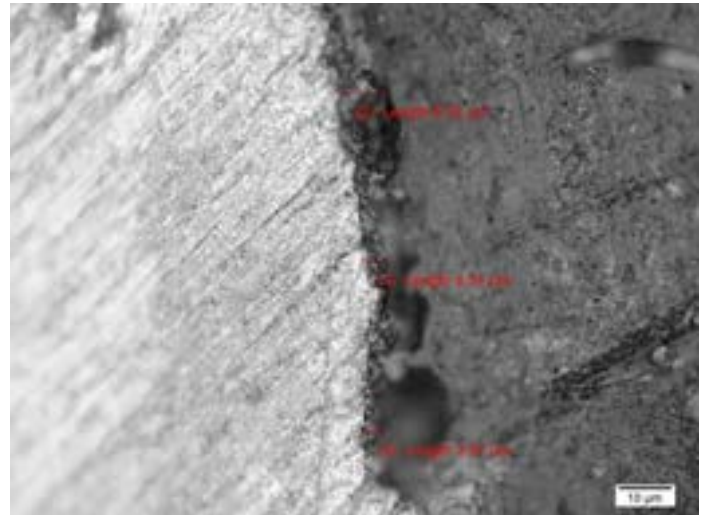


(d)

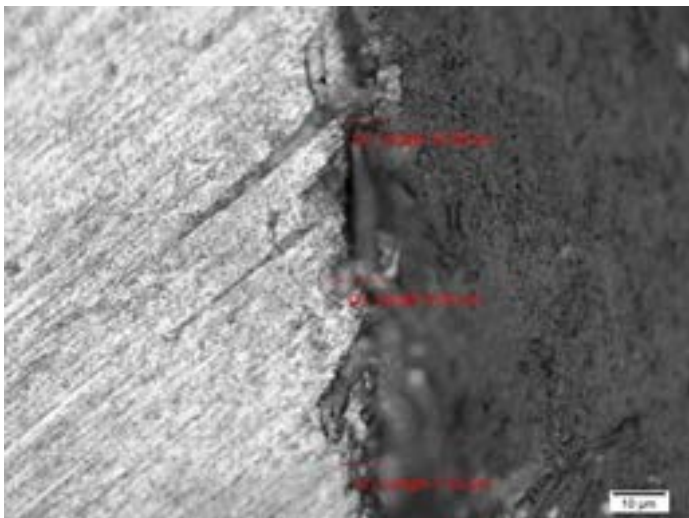


(b)

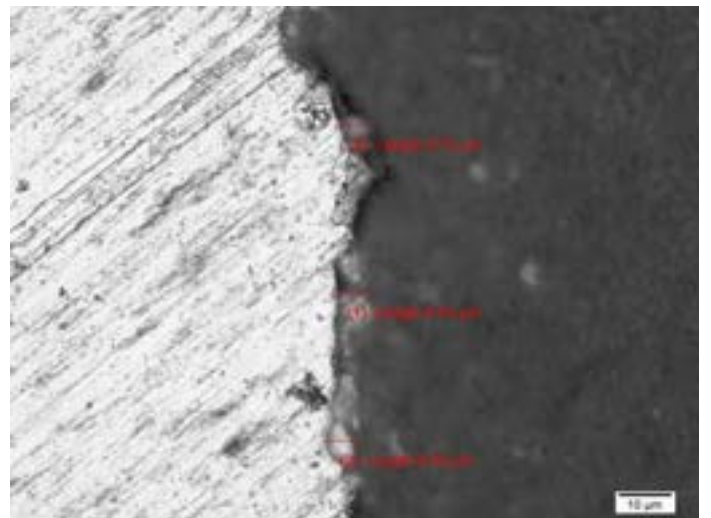
Şekil 13. 35°C'de (a) 2 A/dm<sup>2</sup> (b) 4 A/dm<sup>2</sup> (c) 6 A/dm<sup>2</sup> (d) 10 A/dm<sup>2</sup> (Figure 13. at 35°C (a) 2 A/dm<sup>2</sup> (b) 4 A/dm<sup>2</sup> (c) 6 A/dm<sup>2</sup> (d) 10 A/dm<sup>2</sup>)



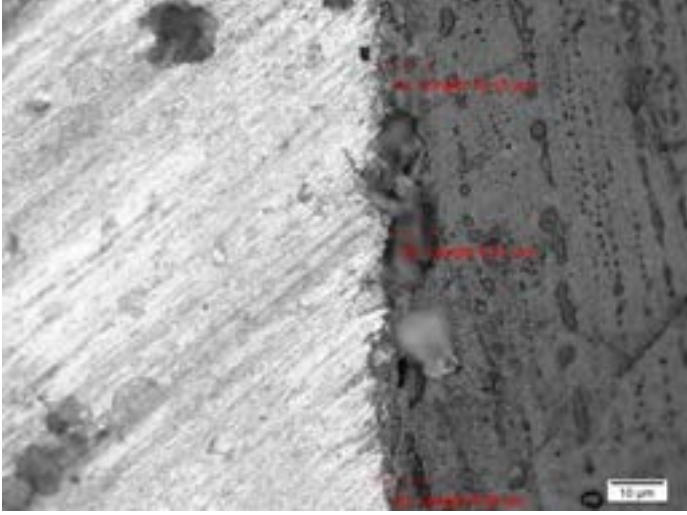
(a)



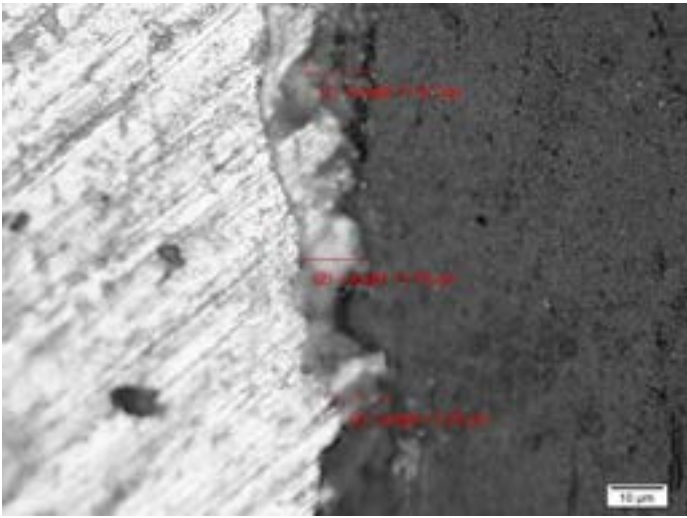
(c)



(b)



(c)



(d)

Şekil 14. 45°C'de (a) 2 A/dm<sup>2</sup> (b) 4 A/dm<sup>2</sup> (c) 6 A/dm<sup>2</sup> (d) 10 A/dm<sup>2</sup> (Figure 14. at 45°C (a) 2 A/dm<sup>2</sup> (b) 4 A/dm<sup>2</sup> (c) 6 A/dm<sup>2</sup> (d) 10 A/dm<sup>2</sup>)

Asitli banyo kullanılarak, işlem zamanının 10 dakika sabit olarak alındığı ve akım yoğunluğunun değiştirildiği deneylerle elde edilen sonuçlar Tablo 2, 3 ve 4' de verilmiştir.

Tablo 2. Asitli banyoda akım yoğunluğuna bağlı olarak kaplama kalınlığının değişimi (t=10 dk, banyo sıcaklığı: 25°C) (Table 2. Variation of coating thickness depending on current density in acidic bath (t=10 min, bath temperature: 25°C))

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (µm)
2	4,587
4	5,653
6	7,147
10	10,433

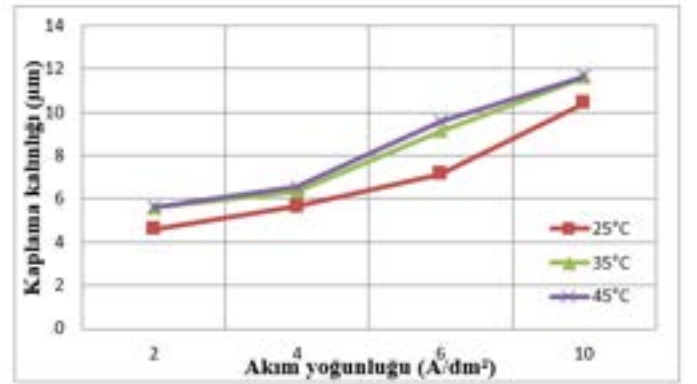
Tablo 3. Asitli banyoda akım yoğunluğuna bağlı olarak kaplama kalınlığının değişimi (t=10 dk, banyo sıcaklığı: 35°C) (Table 3. Variation of coating thickness depending on current density in acidic bath (t=10 min, bath temperature: 35°C))

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (µm)
2	5,587
4	6,357
6	9,130
10	11,603

Tablo 4. Asitli banyoda akım yoğunluğuna bağlı olarak kaplama kalınlığının değişimi (t=10 dk, banyo sıcaklığı: 45°C) (Table 4. Variation of coating thickness depending on current density in acidic bath (t=10 min, bath temperature: 45°C))

Akım yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	Kaplama kalınlığı (µm)
2	5,610
4	6,550
6	9,560
10	11,650

Yapılan deneylerde elde edilen verilere göre, artan akım yoğunluğuna bağlı olarak kaplama kalınlığının arttığını gösteren grafik Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Asitli banyoda değişen akım yoğunluklarında banyo sıcaklığına bağlı olarak kaplama kalınlıkları (Figure 15. Coating thicknesses depending on the bath temperature at varying current densities in the acidic bath)

### 3.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Hazırlanan numunelerin sertlik ölçümleri Şekil 16'da gösterilen Emcotest Durajet isimli cihazla Brinell Sertlik Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deneyde her numune için, 1 mm çapında çelik bilya, 5 kg yük ve 5 saniye süre uygulanarak beş farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 16. Emcotest Durajet Sertlik ölçüm cihazı (Figure 16. Emcotest Durajet Hardness Tester)

Tablo 5. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemine göre bulunan değerler (Table 5. Values found according to Brinell Hardness Measurement Method)

Yer Numune	Üst Bölge	Orta Bölge	Alt Bölge	Sol Kenar	Sağ Kenar
A1	93,39	95,30	94,79	95,31	95,59
A2	95,09	95,67	94,34	96,13	95,65
A3	91,56	95,15	94,88	95,13	95,48
A4	90,88	95,50	95,23	95,70	95,54
B1	94,85	95,62	95,20	95,65	95,92
B2	92,06	95,04	95,48	94,75	95,37
B3	93,60	94,67	95,11	93,93	94,77
B4	94,23	95,56	95,05	95,89	95,11
C1	88,56	94,90	95,79	95,51	95,19
C2	92,34	95,16	95,20	95,39	95,88
C3	92,25	95,44	95,59	95,65	95,84
C4	93,71	95,91	95,64	95,46	95,45

Bu sertlik ölçümlerinin ortalama sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Sertlik sonuçlarının ortalamaları (Table 6. Averages of hardness results)

Numune	Ortalama sertlik değerleri
A1	95,13
A2	95,47
A3	95,05
A4	95,42
B1	95,49
B2	95,05
B3	94,46
B4	95,24
C1	95,20
C2	95,25
C3	95,56
C4	95,52

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, en düşük sertlik değeri B3 numunesinde 94,46 H<sub>B</sub> ile en yüksek sertlik değeri C3 numunesinde 95,56 H<sub>B</sub> olarak tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Kesit alanları alınan numunelerin optik mikroskoptaki görüntüleri incelendiğinde, artan akım yoğunluğu ve artan banyo sıcaklığına bağlı olarak kaplama kalınlıklarında artış gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artması iyonların hareketliliğini artırarak banyo direncini düşürmektedir. Ayrıyeten sıcaklık artışı katot akım etkinliğini artırarak hidrojen oluşum düzeyini azaltmaktadır. Böylece yüksek akım yoğunluğunda kaplama görünümünde iyileşme görülmüştür.

Deney numunelerinin sertlik ölçümleri kaplama tabakasının beş farklı noktasından alınmıştır. Ölçümler Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi ile 1mm çelik bilya kullanılarak, 5kg yük altında ve 5 saniye süreyle gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlara göre kaplama yüzeyinin farklı noktalarından alınan sertlik ölçümlerinin ortalaması birbirine çok yakın değerlerde çıkmıştır. Buna bağlı olarak sertlik özelliğinin, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğundan etkilenmediği sonucuna ulaşılabilmektedir.

35°C ve 45°C'de yapılan kaplama kalınlıkları birbirlerine çok yakındır. Maliyet açısından bakıldığı zaman 45°C'de uygulanan kaplama daha çok banyo sıcaklığı gerektirdiğinden dolayı daha maliyetlidir. Buna bir alternatif olarak yakın kalınlık ölçüsüne sahip olan 35°C'deki banyo sıcaklığı ekonomik olması açısından tercih edilebileceği sonucuna varılmaktadır.

#### 5. Teşekkür

Yazarlar çalışmanın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Aydın Üniversitesi'ne ve çalışmada kullanılan malzemelerinin teminini sağlayan Elektrolize Metal Kaplama San. Tic. Ltd Şti.'nin tüm çalışanlarına teşekkür ederler.

## Kaynakça

- 1- Simsek, H., *Evaluation of Nusselt Number for a Flow in a Parallel Plates Using Magnetohydrodynamics Second-Order Slip Model*. Journal of Heat Transfer, 2022. **144**(5).
- 2- Simsek, H., *Evaluation of Nusselt Number for a Flow in a Parallel Plates Using MHD Second Order Slip Model*. Journal of Heat Transfer, 2021.
- 3- Nazife, Ö., *YAPI MALZEMELERİNDE KOROZYON VE KOROZYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ*. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering. **26**(3): p. 1159-1178.
- 4- Simsek, H. and A. Ozturk, *INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MHD SLIP FLOW ON HEAT TRANSFER BETWEEN PARALLEL PLATES WITH SECOND-ORDER SLIP BOUNDARY CONDITIONS*. Heat Transfer Research, 2021. **52**(11).
- 5- Karakas, Ö., *Consideration of mean-stress effects on fatigue life of welded magnesium joints by the application of the Smith–Watson–Topper and reference radius concepts*. International Journal of Fatigue, 2013. **49**: p. 1-17.
- 6- Uyanık, M., *SİC nanopartikül ilaveli asitli çinko kaplama banyolarında yapılan kaplamaların malzemenin korozyon direnci ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması*. 2012.
- 7- Kaya, B., *Nano kompozit kaplama*. 2007, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 8- BAKANLIĞI, Ç.V.S.G. and İ. MÜDÜRLÜĞÜ, *GALVANİZ KAPLAMA YAPAN İŞYERLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN TESPİTİ VE KİMYASAL MARUZİYETİN DEĞERLENDİRİLMESİ*.
- 9- HASÇALIK, A. and C. Özek, *Elektroliz Yöntemiyle Çinko Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi*. Teknoloji, 2002. **5**.
- 10- Aktaş, M., *Metal teknolojisi öğretmenlerinin mesleki ve teknik ortaöğretim kurumlarında uygulanan metal teknolojisi alanı modüler öğretim programı hakkında görüşleri: Antalya örneği*. 2012, Akdeniz Üniversitesi.