

ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE 24  
NISAN/APRIL 2021

# 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 TR Index, Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.



Milimetre Altı Ölçümler İçin Fiber Optik Yer Değiştirme Sensörü / Sayfalar: 1-4  
Şekip Esat HAYBER, Timuçin Emre TABARU

Merkezi İşlem Biriminde Elektromanyetik Dalga Yayılımı Davranışı / Sayfalar: 5-9  
Ayşe Nihan BASMACI, Seçkin FİLİZ

Sakarya Havzası Su Kalitesi Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi / Sayfalar: 10-17  
Hatice ÇITAKOĞLU, Yusuf ÖZEREN

Mekânsal Verilerin Sıklıkla Güncellendiği Coğrafi Bilgi Sistemleri Arama İşleminde  
Denormalizasyon Yöntemi / Sayfalar: 18-23  
Murat TAŞYÜREK

Farklı Çaplardaki Zıvanaların Kurşun İle Sabitlenmesinin Kayma Dayanımına Etkisi / Sayfalar: 24-  
29  
Tülin ÇELİK, Şükran TANRIVERDİ

Karadeniz Turizminin Geliştirilmesi Amacıyla Amasra'nın Oyun Tabanlı Dijitalleştirilmesi / Sayfalar:  
30-34  
Cahit Burak BÜYÜKTÜMTÜRK, Enes DURMUŞ, Ersin ALAYBEYOĞLU

Prediction of Phishing Web Sites with Deep Learning Using WEKA Environment / Sayfalar: 35-41  
Özlem BATUR DİNLER, Canan BATUR ŞAHİN

Fraksiyonel Dereceli Kaotik Lorenz Sistemi'nin Devre Sentezi / Sayfalar: 42-46  
İbrahim Ethem SAÇU, Nimet KORKMAZ

Bernoulli-Equation-Based Robotic Model for Non-Contact Magnetic Micromanipulation / Sayfalar:  
47-52  
Jiyan SÜRER, Ahmet Fatih TABAK

Diabetes Prediction Using Machine Learning Classification Algorithms / Sayfalar: 53-59  
Shamriz NAHZAT, Mete YAÇANOĞLU

Asansör Kabin Kılavuz Ray Konsol Tasarımlarının Deprem Yükü Altında Analizi ve Karşılaştırılması /  
Sayfalar: 60-66  
Abdül Melik SANCAK, Adem CANDAŞ, Cevat Erdem İMRAK

Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına  
Etkisinin Araştırılması / Sayfalar: 67-74  
Mehmet Selman GÖKMEN, İbrahim DOĞAN, Hasan AYDOĞAN

Asansör Sistemlerinde Gürültü Ölçümü / Sayfalar: 75-80  
Adem CANDAŞ, Abdül Melik SANCAK, Cevat Erdem İMRAK

Bir İnsansız Hava Aracının İtki ve Manevra Hareketlerinde Gövde İçi Basıncılı Hava Kullanımı /  
Sayfalar: 81-86  
Tamer SARAÇYAKUPOĞLU, Heyzem Doğukan DELİBAŞ, Ahmet ÖZÇELİK

A Turkish Broadcast News Speech Database for Investigation the Effect of Deep Neural Network  
and Long Short Term Memory Hyperparameters on Speech Recognition Based Systems / Sayfalar:  
87-92  
Serhat OK, Zekeriya TÜFEKÇİ

Manyetik Alana Duyarlı poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanokürelerin Sentezlenmesi ve AMF Altında İlaç Salım Davranışlarının İncelenmesi / Sayfalar: 93-97  
Cihangir BOZTEPE

Güneş Enerjisi Santrallerinin Arazi Kullanımına Etkisi ve Sonuçları: Osmaniye Örneği / Sayfalar: 98-105  
Fazıl NACAR

Security-Oriented Smart Door Lock à la Internet of Things / Sayfalar: 106-111  
Tarık KADAK, Serhan ÖZDEMİR

Kalp Yetmezliği Hastalarının Sağ Kalımlarının Sınıflandırma Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi / Sayfalar: 112-118  
Ezgi AKTAŞ POTUR, Nihal ERGİNEL

Experimental Investigation on the Effects of Internal Architecture on the Mechanical Properties of 3D Printed PLA Components / Sayfalar: 119-124  
Cem BOĞA, Mirsadegh SEYEDZAVVAR, Burçak ZEİR

The Spy Next Door: A Digital Computer Analysis Approach for Backdoor Trojan Attack / Sayfalar: 125-129  
İlker KARA

Detection and Classification of Leucocyte Types in Histological Blood Tissue Images Using Deep Learning Approach / Sayfalar: 130-137  
Kübra UYAR, Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR

Mobil Robotların Yol Planlamasında Doğrusallığın İncelenmesi / Sayfalar: 138-142  
Mustafa Yusuf YILDIRIM, Rüştü AKAY

Kararlı Çoklu Bayes Hipotez Testi Üzerine Bir Not / Sayfalar: 143-148  
Uğur YILDIRIM, Hüseyin AFŞER

Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti / Sayfalar: 149-156  
Ferhat BOZKURT

Security Analysis of Java SecureRandom Library / Sayfalar: 157-160  
Kenan İNCE

Tetra Kiral ve İçerikli Çarpışma Kutularının Çarpışma Performanslarının İncelenmesi / Sayfalar: 161-168  
Cüneyt AKTAŞ, Erdem ACAR, Mehmet GÜLER, Murat ALTIN

Farklı Aktivatör Ve Ham Madde Değişkenlerinin Geopolimer Hamurun Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi / Sayfalar: 169-175  
Enes EKİNCİ, İbrahim TÜRKMEN

Derin Öğrenme İle Türkçe Müziklerden Müzik Türü Sınıflandırması / Sayfalar: 176-183  
Serhat HIZLISOY, Zekeriya TÜFEKÇİ

Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi / Sayfalar: 184-189  
İsmail İsa ATABEY, Cemre AY

Effect of Gasoline-AVGAS Blends on Exhaust Emission of Gasoline Engine Using Taguchi Approach / Sayfalar: 190-201  
İbrahim DOĞAN, Mehmet Selman GÖKMEN, Hasan AYDOĞAN

Otoklavsız Gazbeton Kâgir Blok Elemanlarının Üretiminde Endüstriyel Atık Liflerin Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz / Sayfalar: 202-212  
Şeyma Pınar ÖZCAN, Lütfullah GÜNDÜZ

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle Emme Manifoldunun Tasarımı / Sayfalar: 213-218  
Cihangir KAPLAN, Hasan AYDOĞAN

Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Kontrolünün Akıllı Yapı Tabanlı Modellemesi / Sayfalar: 219-225  
Hasan Bektaş PERÇİN, Abuzer ÇALIŞKAN

Analysis of Generations' Preferences for Buying Gold Earrings / Sayfalar: 226-234  
Özgenur TUNCER, Ufuk CEBECİ

Design and Realization of Online Auto Tuning PID Controller Based on Cohen-Coon Method / Sayfalar: 234-239  
Ali Egemen TAŞÖREN

Investigation Of The Effect Of Changing Air Flow Velocities In Electric Vehicles On Cylinder Geometry Battery Based On Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis / Sayfalar: 240-246  
Gökhan TÜCCAR, Gözde EKMEKÇİ GÜÇLÜTEN

Taşlama Makinalarında PLC Kullanılarak Otomatik Taşlama Uygulaması / Sayfalar: 247-251  
Ayşe BİLHAN, Mahmut Cemal KABAK

Negatif Olmayan Matris Ayırıştırma Yöntemlerinde Fetal Elektrokardiyogram İşaretin Ayırıştırılması / Sayfalar: 252-257  
Hüsamettin ÇELİK, Nurhan KARABOĞA

Fingerprint Pattern Classification by Using Various Pre-Trained Deep Neural Networks / Sayfalar: 258-261  
Yucel CİMTAY, Benu ALKAN, Berkan DEMİREL

Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS / Sayfalar: 262-267  
Ezgi KEKİLLİ, Ufuk CEBECİ, Levent SILAY

Güneş Takip Sistemlerinde Bulanık Mantık Kontrolü / Sayfalar: 268-273  
Abdi ŞENOL, Orhan EKREN, Savas SAHİN

Design Optimization of PM Synchronous Motor Using Gray Wolf Optimization Algorithm / Sayfalar: 274-278  
Mümtaz MUTLUER

*Analysis of the Geometric Parameters for High Thrust Force of the Tubular Linear Voice Coil Motor / Sayfalar: 279-283*  
Mümtaz MUTLUER

*Examination of Cogging Torque for Surface Mounted PMSM with Outer Rotor / Sayfalar: 284-288*  
Mümtaz MUTLUER

*Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri / Sayfalar: 289-294*  
Ayşe BİLHAN, Serenay EMİKÖNEL

*Doğrusal Kutuplu Antenlerle Kemik Kırıklarının Tespit Edilmesi / Sayfalar: 294-301*  
Yusuf Cihan YEL, Oğuzhan AKGÖL, Vedat ÖZKANER

*Bozulmamış Sediment Örnekleyici Kullanılarak Kızılırmak (Nevşehir-Türkiye) Nehri Sedimentlerinde Arsenik Ağır Metalinin Değerlendirilmesi / Sayfalar: 302-308*  
Ömer BİLHAN, Fatih İLALAN

*Matlab/Simulink ile Bipolar ve Unipolar PWM Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi / Sayfalar: 309-313*  
Mustafa Sacid ENDİZ, Ramazan AKKAYA

*Bant Çentik Karakteristiği Gösteren Ultra Geniş Bant Mikroşerit Anten Tasarımları Üzerine Bir İnceleme / Sayfalar: 314-320*  
Gürtay Sezay GÜRİSOY, Sena Esen BAYER KESKİN

*Hassas Kavrama Görevinde Robot Elin Kavrama Kuvvetinin Bulanık Kontrolü için Güvenlik Marjı Veri Tabanının Elde Edilmesi / Sayfalar: 321-327*  
Canfer İŞLEK, Ersin ÖZDEMİR

*Türkçe Tweetler üzerinde Makine Öğrenmesi ile Nefret Söylemi Tespiti / Sayfalar: 328-334*  
İslam MAYDA, Banu DİRİ, Tuğba YILDIZ

*Atıksulardan Zn Gideriminin Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Modellenmesi / Sayfalar: 335-342*  
Fatma ERDEM

*Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi için Açık Deniz Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Bölgesel Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Etkisi / Sayfalar: 343-350*  
Ozan AKDAÇ

*A Review of Literature on the Quantitative Methods for Olive Yield Forecasting / Sayfalar: 351-358*  
İnanç KABASAKAL, Murat ÖZALTAŞ

*A Finite Element Implementation of A Phenomenological Constitutive Model for Rubber-like Materials / Sayfalar: 359-363*  
İsmail Doğan KÜLCÜ

*An Efficient Observer Design for Multi Leak Detection and Isolation in Water Supply Networks / Sayfalar: 364-369*  
Bedri BAHTİYAR, Meric CETİN, Selami BEYHAN

*Tuning of Linear Active Disturbance Rejection Controller Parameters Using SOS Algorithm / Sayfalar: 370-374*  
Bedri BAHTİYAR

- An Analysis of Artificial Neural Network for Recommending Developers to Fix Reported Bugs / Sayfalar: 375-379*  
Zariab Fatima ABRO, Shafqat UR REHMAN, Khushal DAS, Awinash GOSWAMI
- Romatooid Artrit Hastalarının Ulnar ve Radyal Arter Doppler İndekslerinin Karşılaştırılması / Sayfalar: 380-384*  
Ali Osman ÖZKAN
- Yaygın Kullanılan Çevik Yöntemlerin Küçük Ölçekli Bir Uygulamanın Geliştirilmesi Sürecinde Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma / Sayfalar: 385-391*  
Ali Murat TİRYAKİ
- FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolünün Rol Tabanlı Bir Çoklu Etmen Çerçevesi ile Gerçekleştirilmesi / Sayfalar: 392-397*  
Ali Murat TİRYAKİ, Varol GÜVEN
- Entropy Generation Analysis of a Heat Exchanger Tube with Graphene-Iron Oxide Hybrid Nanofluid / Sayfalar: 398-404*  
Orhan KEKLİKÇİOĞLU
- BTY Göstergeleriyle Dış Kaynaklı Yazılım Lokasyonlarını Değerlendirmek için Bir Karar Destek Aracı: Pakistan Örneği / Sayfalar: 405-415*  
Muhammet Ali KADIOĞLU
- Kesintisiz Güç Kaynağı Çıkış Gücü Düzenlemesi için Bulanık Mantık ve Kazanç Çizelgesi Uyarlanırlı Tabanlı PI Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılması / Sayfalar: 416-420*  
Vedat GÜL, Savas SAHİN
- Electre Yöntemi ile Otomotiv Sektöründe Tedarikçi Seçimi: Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması / Sayfalar: 421-429*  
Hikmet ERBİYİK, Gizem KABAĞCI, Ayşenur ERDİL
- Variable Stiffness Woven Fabrics with Curved Advanced Fibers / Sayfalar: 430-435*  
Muhsin Gökhan GÜNAY, Taner TİMARCI
- Kamu Kurum ve Kuruluşları İçin Ortak Strateji Belirlemede Bir Karar Destek Süreci / Sayfalar: 436-444*  
Feyza GÜRBÜZ, Rabia ARI, Beyza OÇUZ
- Amazon Ürün Değerlendirmeleri Üzerinde Derin Öğrenme/Makine Öğrenmesi Tabanlı Duygu Analizi Yapılması / Sayfalar: 445-448*  
Ömer Faruk GÖÇGÜN, Aytuğ ONAN
- Mekân-Zamansal Veri Madenciliği Yöntemi ile Otobüs Durak İhlallerinin Tespiti / Sayfalar: 449-454*  
Murat TAŞYÜREK
- Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi / Sayfalar: 455-462*  
Mehmet Hanifi ALKAYIŞ, Celalettin BAŞYİÇİT
- Akciğer Hastalıklarının Dalgacık Katsayıları Kullanılarak Karar Ağaçlarına Dayalı Sınıflandırılması / Sayfalar: 463-468*  
Merve ÇOLAK, Şerife GENGEÇ BENLİ, Müge DOLU

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Yapay Zeka Tabanlı Görüntü İşleme Tekniklerinin İnsansız Hava Araçları Üzerinde Uygulamaları /  
Sayfalar: 469-473  
İlhan SOYHAN, Seyfettin GUREL, Sezai Alper TEKİN

Near-Zero-Index Split Ring Resonator: A Lens Antenna / Sayfalar: 474-478  
İsmail YILDIZ, Turgut İKİZ, Şule ÇOLAK, Faruk KARADAĞ, Muharrem KARAASLAN, Duygu Nazan  
GENÇOĞLAN

Kuvars ve Turmalin Malzemelerinin Piezoelektrik Özelliklerinin Karşılaştırılması / Sayfalar: 479-483  
Behiye BORAN, Buse BATUKAN, Aybüke ALTUNBAŞ, Sezai Alper TEKİN

Sezgisel Regresyon Teknikleri ile Sayısal Yükseklik Modellenmesi / Sayfalar: 484-488  
Vahdettin DEMİR, Esra Aslı ÇUBUKÇU

Doğu Karadeniz Bölgesi Meteorolojik Parametrelerinin Trend Analizi / Sayfalar: 489-496  
Cavit Berkay YILMAZ, Vahdettin DEMİR, Mehmet Faik SEVİMLİ

Ölçü Transformatörlerinin Elektrik Alan Analizleri / Sayfalar: 497-501  
Yıldırım ÖZÜPAK

Debi-Sürek Eğrisi Yardımıyla Taban Akımının Hesaplaması: Samsun Kürtün Irmağı Örneği /  
Sayfalar: 502-507  
Vahdettin DEMİR, Aziz Uğur TONA

Developing Algorithm for Random Distribution of Nanomaterials / Sayfalar: 508-514  
Umut CALISKAN

Trend Analysis of Ground-Water Levels and The Effect of Effective Soil Stress Change: The Case  
Study of Konya Closed Basin / Sayfalar: 515-522  
Vahdettin DEMİR, Esra URAY, Osman ORHAN, Amir YAVARIABDİ, Huseyin KUSETOGULLARI

Emotion Analysis using Facial Expressions in Video / Sayfalar: 523-527  
Kübra EKMEKÇİ, Serkan ÖZBAY





# Milimetre Altı Ölçümler İçin Fiber Optik Yer Değiştirme Sensörü

Şekip Esat Hayber<sup>1</sup>, Timuçin Emre Tabaru<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0062-3817), [sehayber@ahievran.edu.tr](mailto:sehayber@ahievran.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1373-3620), [etabaru@erciyes.edu.tr](mailto:etabaru@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901075)

**ATIF/REFERENCE:** Hayber, Ş. E. & Tabaru, T. E. (2021). Milimetre Altı Ölçümler İçin Fiber Optik Yer Değiştirme Sensörü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 1-4.

## Öz

Bu çalışma milimetre altı yer değiştirmenin algılanması için birden fazla fiber kayıp mekanizmasının aynı anda değerlendirilip sensör parametrelerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda fiber hizalama kayıplarından olan boyuna yanlış hizalama kayıplarına ilaveten Fresnel yansıma kayıplarının da birlikte değerlendirildiği bir sensör sistemi incelenmiştir. Her iki kayıp mekanizmasının etkisi tek bir eşitlik ile ifade edilip sensör sisteminde kullanılacak fiber tiplerinin etkileri araştırılmıştır. Böylelikle plastik optik fiberle oluşturulacak yer değiştirme sensörünün milimetre altı ölçüm yapabilmesinin incelenen fiber parametrelerinde en uygun değerler belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda birbirinden farklı çap değerlerine sahip olan fiber tipleri için 1 mm'nin altında yer değiştirme ölçümlerinde kullanılacak en uygun fiber tipinin mümkün olan en düşük çapa sahip olması sonucuna ulaşılmıştır. Fiberlerin tipik çap değerleri dikkate alındığında bu durum için en uygun adayın 980/1000 (öz/yelek) µm çapa sahip olan fiber olduğu belirlenmiştir. Bu fiberin hassasiyetlik derecesi giriş fiberine uygulanan güç 100 µW olduğunda 32,05 µW/mm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar 1960 µm ve 2944 µm öz çapına sahip olan diğer fiberler için sırasıyla, 16,02 µm/mm ve 10,67 µm/mm olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Fiber hizalama kayıpları, Fresnel yansıma kaybı, PMMA fiber optik sensör, yer değiştirme sensörü.

## Fiber Optic Displacement Sensor for Sub-Millimeter Measurements

### Abstract

This study is based on evaluating more than one fiber loss mechanism simultaneously to detect sub-millimeter displacement and obtaining sensor parameters. In this context, a sensor system that evaluates Fresnel reflection losses together in addition to longitudinal misalignment losses from fiber alignment losses was examined. The effects of both loss mechanisms are expressed in a single equation. The effects of the fiber types used in the sensor system have been investigated. Thus, the most suitable values were determined in the fiber parameters that the displacement sensor to be formed with plastic optic fiber can make a sub-millimeter measurement. As a result of the calculations, it has been concluded that the most suitable fiber type to be used in displacement measurements below 1 mm for fiber types with different diameter values has the lowest possible diameter. The fibers' typical diameter values have determined that the most suitable candidate for this situation is the fiber with a diameter of 980/1000 (core/veat) µm. This fiber's sensitivity was found to be 32.05 µW/mm when the power applied to the input fiber was 100 µW. These results were found to be 16.02 µm/mm and 10.67 µm/mm for other fibers with 1960 µm and 2944 µm core diameter, respectively.

**Keywords:** Fiber alignment losses, Fresnel reflection loss, PMMA fiber optic sensor, displacement sensor.

\* Sorumlu Yazar: [etabaru@erciyes.edu.tr](mailto:etabaru@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Mesafe ölçümleri için çeşitli optik sensörler literatürde rapor edilmiştir [1]. Bir konum sensörü, doğrusal hareket veya dönme açısından mutlak konumu (konum) veya göreceli konumu (yer değiştirme) gösterebilir. Yer değiştirme sensörü, çeşitli elemanlar boyunca yer değiştirme miktarını algılayarak ve bunu bir mesafeye dönüştürerek sensör ile bir nesne arasındaki mesafeyi ölçen bir cihazdır. Hangi elemanın kullanıldığına bağlı olarak, optik yer değiştirme sensörleri, doğrusal yakınlık sensörleri ve ultrasonik yer değiştirme sensörleri gibi çeşitli sensör türleri vardır. Temassız yer değiştirme sensörleri, çok sayıda endüstriyel uygulamaların önemli bir parçasını oluşturur. Bu nedenle, iyi performans seviyelerine sahip fakat düşük maliyetli ve pratik optik sensörler tercih sebebi olmuşlardır [2]. Fiber optik sensörler genel olarak yüksek çözünürlük sunan interferometrik [3] ve kısmen daha basit genlik modülasyonu [4] sensörler olmak üzere sınıflandırılabilirler. Fiber optik sensörler, avantajlı özellikleri sayesinde interferometrik optik sensörlere değerli bir alternatif oluşturur: yanmaz özelliklerinin yanı sıra elektromanyetik parazitlere karşı bağımsızlık, doğası gereği yüksek hassasiyet, hafif, küçük boyut, hızlı tepki ve yüksek hassasiyetli temassız ölçüm ve uzaktan çalıştırma yetenekleri fiber optik sensörlerin kullanım sahasının genişliği artırır [5, 6]. Literatürde fiber optik tabanlı çok sayıda yer değiştirme sensörü geliştirilmiştir. Bunlardan Fabry-Perot interferometresine dayanan yapılar [7-9], sıvı refraktometre tabanlı [10], çok modlu girişim tabanlı [11], sıcaklık ölçümü için yer değiştirmeyi kullanan yapılar [12], genlik modülasyonlu tek modlu fiber kullanan yapılar [13] olmak üzere sayılabilir. Fiber kayıp mekanizmalarıyla sensörler geliştirirken bazı durumlarda birden fazla mekanizmanın devrede olduğu durumla karşılaşılabilir. Örneğin yer değiştirme hizalama kayıplarına dayanan bir yer değiştirme sensöründe aynı zamanda yansıma kayıplarının da etkisini dahil etmek gerekmektedir. Her iki kayıp mekanizmasının etkilerinin bir arada değerlendirilerek oluşturulmuş olan bir yer değiştirme sensörüne literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada fiber hizalama kayıplarından olan boyuna yanlış hizalama kayıplarına ilaveten Fresnel yansıma kayıplarının da birlikte değerlendirildiği bir sensör sistemi incelenmiştir. Sistemin matematiksel eşitliğinden yola çıkarak tipik plastik optik fiber parametrelerinin sensör performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Böylelikle plastik optik fiberle oluşturulacak yer değiştirme sensörünün milimetre altı ölçüm yapabilmesinin gerek ve yeter koşulları üzerine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda farklı çap değerlerine sahip olan fiber tipleri için 1 mm'nin altında yer değiştirme ölçümlerinde kullanılacak en uygun fiber tipinin mümkün olan en düşük çapa sahip olması sonucuna ulaşılmıştır. Piyasadaki halihazırdaki çap değerleri dikkate alındığında bu durum için en uygun adayın 980/1000 (öz/yelek)  $\mu\text{m}$  çapa sahip olan fiber olduğu belirlenmiştir. Bu fiberin hassasiyetlik derecesi giriş fiberine uygulanan güç 100  $\mu\text{W}$  olduğunda 32,05  $\mu\text{W}/\text{mm}$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar 1960  $\mu\text{m}$  ve 2944  $\mu\text{m}$  öz çapına sahip olan diğer fiberler için sırasıyla, 16,02  $\mu\text{W}/\text{mm}$  ve 10,67  $\mu\text{W}/\text{mm}$  olarak bulunmuştur.

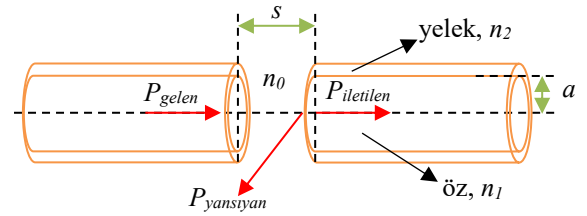
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Fiber Optik Kayıp Mekanizmaları

Bu bölüm fiber optik bağlantı kayıplarından olan, Fresnel yansıma kayıpları ile boyuna hizalama kayıplarını açıklamaktadır. e-ISSN: 2148-2683

Ayrıca bu bölümde, iki farklı kayıp mekanizmasının birleşimine dayanarak oluşturulan fiber optik yer değiştirme sensör FOYDS sisteminin matematiksel alt yapısı incelenmektedir.

Telekomünikasyonda istenmeyen fiber optik kayıpları, fiber optik sensör oluşturmada kontrollü bir şekilde kullanılarak algılayıcı mekanizmalara dönüştürülebilmektedir. Bu kayıplardan iki fiber birbirine eklendiği zaman bağlaşım hatalarından dolayı birinci fiberdeki gücün tamamı ikinci fibere aktarılamaz. Bu bağlantılarda bağlaşım kayıpları çeşitli sebeplerden ötürü oluşabilmektedir. Bunlar, Fresnel yansıma kayıpları ve fiber hizalama kayıpları olarak söylenebilir. Hizalama kayıpları ise üç durumdan oluşur bunlar: fiberler arasındaki ayırım (boyuna yanlış hizalama (longitudinal misalignment)), fiber öz eksenlerindeki dik kayma (yanal yanlış hizalama (lateral/radial/axial misalignment)) ve fiber öz eksenleri arasındaki açısal kayma (açısal yanlış hizalama (angular misalignment)). Şekil 1'de birinci fiberden gelen gücün bir kısmı yansıyarak geriye kalan kısmı ikinci fiberde kılavuzlanabilmektedir.



Şekil 1. Fiberde kayıp mekanizmaları.

Yansımadan ötürü kaynaklanan kayıp miktarını anlamak için öncelikle fiber-hava-fiber ara-yüzeylerinde oluşan yansıma katsayısını tanımlamak gerekir. Bu değer Eşitlik (1)'de verilmektedir [14].

$$R = \frac{P_{yansıyan}}{P_{gelen}} = \left( \frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2 \quad (1)$$

Burada  $P_{gelen}$  ve  $P_{yansıyan}$  sırasıyla gelen ve yansıyan optik güçleri göstermektedir.  $n_1$  ve  $n_0$  ise sırasıyla fiber öz ve dış ortamın kırılma indis değerlerini temsil etmektedir. Buna bağlı olarak gelen ve iletilen güçler arasında da aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$P_{iletlen} = (1 - R)P_{gelen} \quad (2)$$

Toplam yansıma kaybı,  $L_R$  dB cinsinden Eşitlik (3) ile verilir [15].

$$L_R = -10 \log(1 - R)^2 \quad (3)$$

Şekil 1'deki gibi aralarında  $s$  kadar bir açıklık bulunan fiber düzeneğindeki boyuna yanlış hizalamadan kaynaklı kuplaj kaybı (zayıflama),  $L_B$  Eşitlik (4)'de verilmektedir [16].

$$L_B = -10 \log \left( 1 - \frac{s \times NA}{3 \times n_0 \times a} \right) \quad (4)$$

Buradaki  $a$  fiber öz yarıçapını ve  $NA$  ise fiberin nümerik açıklık değerini ifade eder ve  $NA$  değeri Eşitlik (5) ile

hesaplanabilir [17]. Eşitlikteki  $n_2$  fiber yelek kırılma indisini göstermektedir.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5)$$

Toplam kayıp miktarı ise dB cinsinden aşağıdaki gibi verilir.

$$L_T = L_R + L_B \quad (6)$$

Buradan Eşitlik (3) ve (4) Eşitlik (6)'da yerine yazılırsa,

$$L_T = -10 \log(1 - R)^2 - 10 \log\left(1 - \frac{s \times NA}{3 \times n_0 \times a}\right) \quad (7)$$

Eşitlik (7) sadeleştirildiğinde,

$$L_T = -10 \log\left[(1 - R)^2 \times \left(1 - \frac{s \times NA}{3 \times n_0 \times a}\right)\right], \text{ dB} \quad (8)$$

şeklinde elde edilir. Fiber kayıpları ile gelen/iletilen güçler arasındaki ilişki,

$$L_T = 10 \log\left(\frac{P_{gelen}}{P_{iletilen}}\right) \quad (9)$$

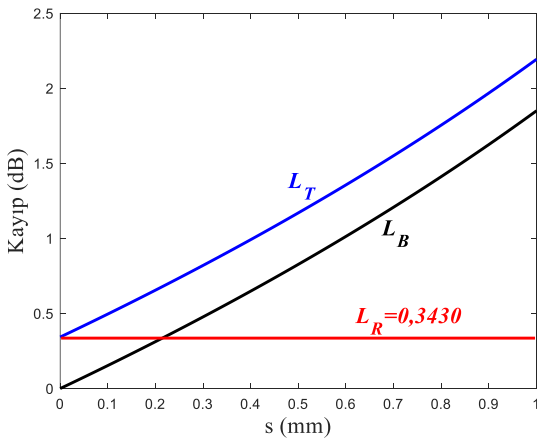
ile verilmektedir [16]. Buradan iletilen güç yani fiber çıkışındaki güç Eşitlik (10)'daki gibi elde edilir.

$$P_{iletilen} = P_{gelen} \times 10^{-\frac{L_T}{10}} \quad (10)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Yer Değiştirmeye Göre Kayıp Değerleri

İlk olarak  $n_1=1.49$ ,  $NA=0.51$  ve  $a=490 \mu\text{m}$  değerine sahip tipik bir PMMA plastik optik fiber için (OMC-FDPF4002EH)  $n_0=1$  (hava) olarak seçildiğinde iki fiber arasındaki boyuna mesafeye ( $s$ ) göre,  $L_B$  ve  $L_T$  kayıp değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu değerler için Eşitlik (3)'den  $L_R=0,3430$  dB bulunur. Şekil 2'ye bakıldığında iki fiber arasındaki mesafe arttıkça fiber boyuna hizalama kaybı artar ve sabit bir değere eşit olan fiber yansıma kayıpları da bu kayıp değerine eklenerek toplam kayıp miktarını oluşturur. Bu durumda sensör çıkışında optik güç azalacaktır.

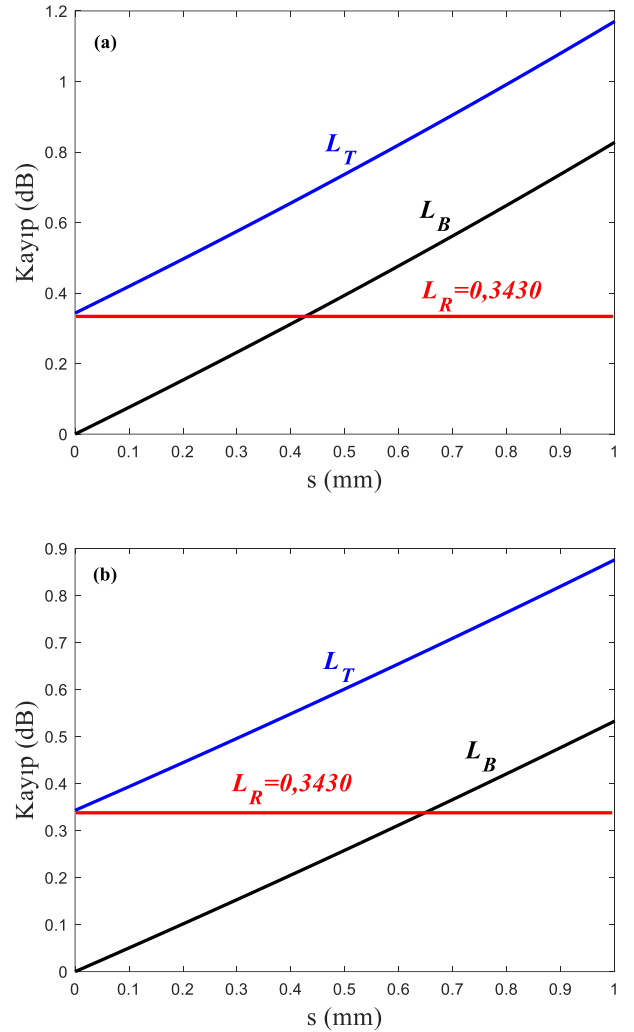


Şekil 2. Yer değiştirme miktarına göre fiber kayıpları.

İkinci durum olarak aynı fiber tipinin  $1960/2000 \mu\text{m}$ ,  $2944/3000 \mu\text{m}$  öz/yelek çap değerlerine sahip olan ve parça numaraları sırasıyla OMPF2000 ve OMPF3000 olan fiberler seçildiğinde yer değiştirme miktarına göre fiber kayıpları sırasıyla Şekil 3 (a) ve (b)'deki gibi olmaktadır. Şekil 2'den farklı olarak fiber öz yarıçapları arttığında kayıp miktarları azalmaktadır. Ve buna bağlı olarak maksimum yer değiştirme miktarını veren Eşitlik (11)'e göre ölçülebilecek en uzun mesafe değeri artarken sensör hassasiyetinde azalma olmaktadır.  $s_{limit}$  değerine ulaştığında Eşitlik (8) değeri sonsuza yaklaşacak ve buna bağlı olarak Eşitlik (10) ile verilen çıkış gücü sıfır değerine eşit olacaktır.

$$s_{limit} = \frac{3 \times n_0 \times a}{NA} \quad (11)$$

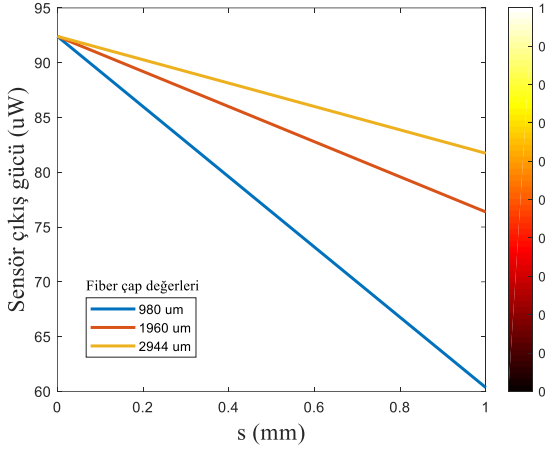
980  $\mu\text{m}$ , 1960  $\mu\text{m}$  ve 2944  $\mu\text{m}$  öz çap değerlerine sahip olan bu üç fiber tipi için  $s_{limit}$  değerleri sırasıyla, 2,9 mm, 5,8 mm ve 8,7 mm olarak hesaplanır. 1 mm altında ölçüm yapmak için 980/1000 (öz/yelek)  $\mu\text{m}$  çap değerine sahip olan fiber plastik optik fiber tipleri içerisinde en uygun fiber tipini temsil etmektedir.



Şekil 3. Yer değiştirme miktarına göre fiber kayıpları.

#### 3.2. Yer Değiştirmeye Göre Sensör Çıkış Gücü

$P_{gelen}$  güç 100  $\mu\text{W}$  olarak seçildiğinde çıkış gücü ( $P_{iletilen}$ ) mesafeye bağlı olarak üç fiber tipi için Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Yer değiştirme miktarına göre sensör çıkış gücü ( $P_{gelen}=100 \mu\text{W}$ ).

Bu çalışmada, Eşitlik (12) önerilen sensörün hassasiyetini ( $H$ ) belirlemek için kullanılmıştır.

$$H = \frac{\Delta P_{iletilen}}{\Delta s} \quad (\mu\text{W}/\text{mm}) \quad (12)$$

Buna göre üç PMMA fiber tipi için  $H$  değerleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. PMMA fiber tipleri için  $H$  değerleri.

Fiber öz çap değerleri, $2a$ ( $\mu\text{m}$ )	Hassasiyetlik, $H$ ( $\mu\text{W}/\text{mm}$ )
980	32,05
1960	16,02
2944	10,67

## 4. Sonuç

Plastik optik fiberle oluşturulacak milimetre altı yer değiştirmenin algılanması için bir sensör modeli geliştirilmiştir. Sensör için fiber kayıp mekanizmalarından olan yansıma ve boyuna yanlış hizalama kayıplarından faydalanılmıştır. Buna göre oluşturulmuş olan sensörün matematiksel modeli ortaya konmuştur. Modelin cevabını incelemek için piyasada bulunan PMMA tabanlı tipik plastik optik fiber değerleri kullanılmıştır. Bu doğrultuda farklı çap değerlerine sahip olan fiber tipleri için 1 mm'nin altında yer değiştirme ölçümlerinde kullanılacak en uygun fiber tipinin 980/1000 (öz/yelek)  $\mu\text{m}$  çapa sahip olan fiber olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu fiberin hassasiyetlik derecesi giriş fiberine uygulanan güç 100  $\mu\text{W}$  olduğunda 32,05  $\mu\text{W}/\text{mm}$  olarak bulunmuştur.

## 5. Teşekkür

Yazarlar, Erciyes Üniversitesi Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne, araştırma faaliyetlerine destekleri için teşekkür eder.

## Kaynakça

[1] Berkovic, G., & Shafir, E. (2012). Optical methods for distance and displacement measurements. *Advances in Optics and Photonics*, 4(4), 441-471.

- [2] Werneck, M. M., & Allil, R. C. S. (Eds.). (2019). *Plastic Optical Fiber Sensors: Science, Technology and Applications*. CRC Press.
- [3] Gangopadhyay, T. K. (2004). Prospects for fibre Bragg gratings and Fabry-Perot interferometers in fibre-optic vibration sensing. *Sensors and Actuators A: Physical*, 113(1), 20-38.
- [4] Saracoglu, O. G., & Hayber, S. E. (2016). Bent fiber sensor for preservative detection in milk. *Sensors*, 16(12), 2094.
- [5] Santos, J. L., & Farahi, F. (Eds.). (2014). *Handbook of optical sensors*. Crc Press.
- [6] Udd, E., Spillman Jr, W. B., 2011. *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, 498 pp.
- [7] Chen, J. H., Huang, X. G., Zhao, J. R., Tao, J., He, W. X., & Liu, S. H. (2010). Fabry-Perot interference-based fiber-optic sensor for small displacement measurement. *Optics communications*, 283(17), 3315-3319.
- [8] Zhou, X., & Yu, Q. (2010). Wide-range displacement sensor based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer for subnanometer measurement. *IEEE sensors journal*, 11(7), 1602-1606.
- [9] Wang, T., Zheng, S., & Yang, Z. (1998). A high precision displacement sensor using a low-finesse fiber-optic Fabry-Pérot interferometer. *Sensors and Actuators A: Physical*, 69(2), 134-138.
- [10] Krishnan, G., Bidin, N., Abdullah, M., Ahmad, M. F. S., Bakar, M. A. A., & Yasin, M. (2016). Liquid refractometer based mirrorless fiber optic displacement sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 247, 227-233.
- [11] Mehta, A., Mohammed, W., & Johnson, E. G. (2003). Multimode interference-based fiber-optic displacement sensor. *IEEE Photonics Technology Letters*, 15(8), 1129-1131.
- [12] Rahman, H. A., Harun, S. W., Saidin, N., Yasin, M., & Ahmad, H. (2011). Fiber optic displacement sensor for temperature measurement. *IEEE Sensors Journal*, 12(5), 1361-1364.
- [13] Trudel, V., & St-Amant, Y. (2009). One-dimensional single-mode fiber-optic displacement sensors for submillimeter measurements. *Applied optics*, 48(26), 4851-4857.
- [14] Shrivastav, A. M., Gunawardena, D. S., Liu, Z., & Tam, H. Y. (2020). Microstructured optical fiber based Fabry-Pérot interferometer as a humidity sensor utilizing chitosan polymeric matrix for breath monitoring. *Scientific reports*, 10(1), 1-10.
- [15] Özsoy, S. (2009). *Fiber optik*. Birsen Yayınevi.
- [16] A. Weinert, *Plastic Optical Fibers: Principles, Components, Installation*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999, pp. 37-45.
- [17] Bass, M., & Van Stryland, E. W. (2002). *Fiber Optics Handbook: fiber, devices, and systems for optical communications* (No. Sirsi) i9780071386234). Optical Society of America.



# Merkezi İşlem Biriminde Elektromanyetik Dalga Yayılımı Davranışı

Ayşe Nihan Basmacı<sup>1\*</sup>, Seçkin Filiz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3737-3751), [anbasmaci@nku.edu.tr](mailto:anbasmaci@nku.edu.tr)

<sup>2</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9383-8915), [sfiliz@nku.edu.tr](mailto:sfiliz@nku.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898242)

**ATIF/REFERENCE:** Basmacı, A. N. & Filiz, S. (2021). Merkezi İşlem Biriminde Elektromanyetik Dalga Yayılımı Davranışı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 5-9.

## Öz

Bu çalışmada, izotropik katmanlara sahip merkezi işlem birimlerinde elektromanyetik dalga yayılımı davranışı incelenmektedir. Ayrıca, merkezi işlem birimlerinin katmanlı yapılarının ve katmanların malzeme özelliği parametrelerinin enine elektrik (TE) ve enine manyetik (TM) modlar için elde edilen alan dağılımları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enine elektrik (TE) mod, Enine manyetik (TM) mod, Elektromanyetik dalga yayılımı, Merkezi işlem birimi (CPU).

## The Behaviour of Electromagnetic Wave Propagation in a Central Processing Unit

### Abstract

In this study, the behavior of electromagnetic wave propagation in central processing units with isotropic layers is investigated. In addition, the effects of the central processing units' layered structures and the material property parameters of the layers on the field distributions obtained for the transverse electric (TE) and transverse magnetic (TM) modes are examined.

**Keywords:** Transverse electric (TE) mode, Transverse magnetic (TM) mode, Electromagnetic wave propagation, Central processing unit (CPU).

\* Ayşe Nihan Basmacı: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3737-3751, [anbasmaci@nku.edu.tr](mailto:anbasmaci@nku.edu.tr)

## 1. Giriş

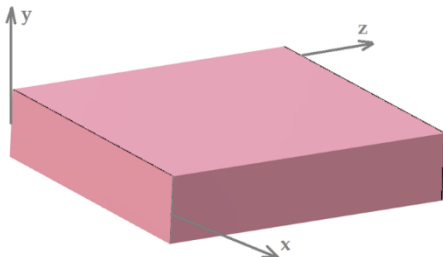
Maxwell denklemlerinin çözümünde de kullanılan zaman uzayda sonlu farklar yöntemi (FDTD) ya da bir diğer ismiyle Yee Yöntemi 1966 yılında geliştirilmiştir (Yee, 1966). Bu yöntem özellikle bir, iki ve üç boyutlu yapılarda meydana gelen elektromanyetik dalga yayılımı davranışının belirlenmesi için kullanılmaktadır (Sullivan, 2000). Optik, optoelektronik ve fiber optik teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmelerle birlikte, fotonik yapıların ve dalga kılavuzlarının kullanımı da yaygın hale gelmiştir. Fotonik yapılar farklı optik özelliklere sahip malzemelerin periyodik olarak, yanyana konumlandırılmasıyla oluşturulabilirler. (Johnson vd., 2013; El Haddad, 2016). Aynı ya da farklı malzeme özelliklerine sahip dalga kılavuzlarının art arda konumlandırılmasıyla, elektromanyetik dalga yayılımı davranışı ayarlanabilmektedir (Soltani vd., 2017; Hirani vd., 2018; Basmacı, 2020; Panyaev vd., 2020). Elektromanyetik dalga yayılımı davranışının ayarlanabilmesi için kullanılan tüm fotonik yapı katmanları birbirleriyle aynı malzeme özelliklerine sahip olabileceği gibi, birbirlerinden tamamen farklı malzeme özelliklere de sahip olabilirler (Cho vd., 2020; Zhang vd., 2021).

Taşınabilir bilgisayarlar ve cep telefonlarının taşınabilirlik anlamında katettiği ilerlemede merkezi işlem biriminin (CPU) tasarımı konusunun da önemli bir rolü vardır. CPU tasarlanırken, tasarlanan yapıda hızlı ısınmanın engellenebilmesi için açığa çıkan ısı enerjisinin uygun bir biçimde dağıtılması gerekliliği, yapının tasarımında göz önünde bulundurulması gereken konular arasında başı çekmektedir. Malzeme özelliği parametrelerinin elektrik alan dağılımı üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmanın da bu konuya katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Zhu vd., 2011). Ayrıca, CPU’da ve grafik işlem biriminde (GPU) meydana gelen elektromanyetik dalga yayılımı davranışının FDTD yöntemi kullanılarak incelendiği (Xiong vd., 2018) bir çalışma ve FDTD yöntemiyle elektromanyetik radyasyonun insan üzerindeki etkilerinin incelendiği (Kaburcu & Elsherbeni, 2018; Lwin & Yokota, 2019) bir diğer çalışma da CPU tasarımına katkı sağlayabilecek çalışmalar arasındadır.

Bu çalışmada, TE ve TM modları için farklı malzeme özelliklerine sahip 6 adet katmanın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş CPU’larda meydana gelen elektromanyetik dalga yayılımı davranışı incelenmektedir. Bu amaçla, CPU’ların TE ve TM modları için alan dağılımları belirlenmektedir. İncelenen CPU’lar, literatürdeki diğer çalışmalarda incelenen CPU’lardan (Bouras vd., 2018; Duman & Kaburcu, 2019; Mitri, 2020; Panyaev vd., 2020) yapısal anlamda farklıdır.

## 2. Materyal ve Metot

Merkezi işlem birimine (CPU) ait lineer, homojen, izotrop katmanlardan biri Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. CPU’ya ait, lineer, homojen, izotrop katman

Lineer, homojen ve izotrop ortamda, Maxwell denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Pozar, 2016):

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (1a)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (1b)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \quad (1c)$$

$$\nabla \times \vec{H} = -i\omega\varepsilon\vec{E} \quad (1d)$$

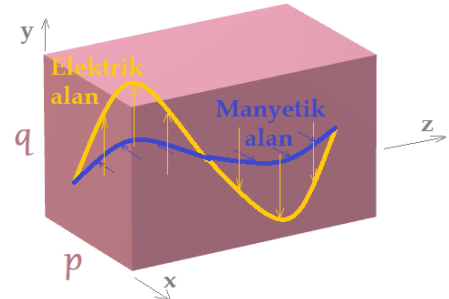
burada,  $\mu$  manyetik geçirgenlik sabiti,  $\varepsilon$  dielektrik sabiti,  $\vec{E}$  elektrik alan vektörü ve  $\vec{H}$  manyetik alan vektörüdür. TE modu için elektromanyetik dalga yayılımı denklemi, Denk. (1c) ve Denk. (1d) kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{H}) = \nabla(\nabla \cdot \vec{H}) - \nabla^2 \vec{H} = \nabla \times \left( -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) \quad (2)$$

Denk. (2)’nin çözümü sonucunda elde edilen zaman ve konuma bağlı kısmi diferansiyel denklem aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

burada,  $\mu\varepsilon$  elektromanyetik malzeme özelliği parametresini temsil etmektedir. TM modu için de elektromanyetik dalga yayılımı denkleminin benzer biçimde elde edilebilmesi mümkündür. Elektromanyetik dalga yayılımı davranışı incelenen merkezi işlem birimine ait katmanlardan biri Şekil 1’de, bu katmanda meydana gelen elektromanyetik dalga yayılımı Şekil 2’de görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, incelenen CPU katmanı dalga kılavuzu olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. Merkezi işlem birimine ait, lineer, homojen, izotrop katmanda meydana gelen elektromanyetik dalga yayılımı

$TM_{mn}$  modunda,  $H_z=0$  olduğu durumda,  $E_z$  aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$E_z = D_{TM} \left( \sin \frac{m\pi x}{p} \right) \left( \sin \frac{n\pi y}{q} \right) e^{i\omega t} \quad (4)$$

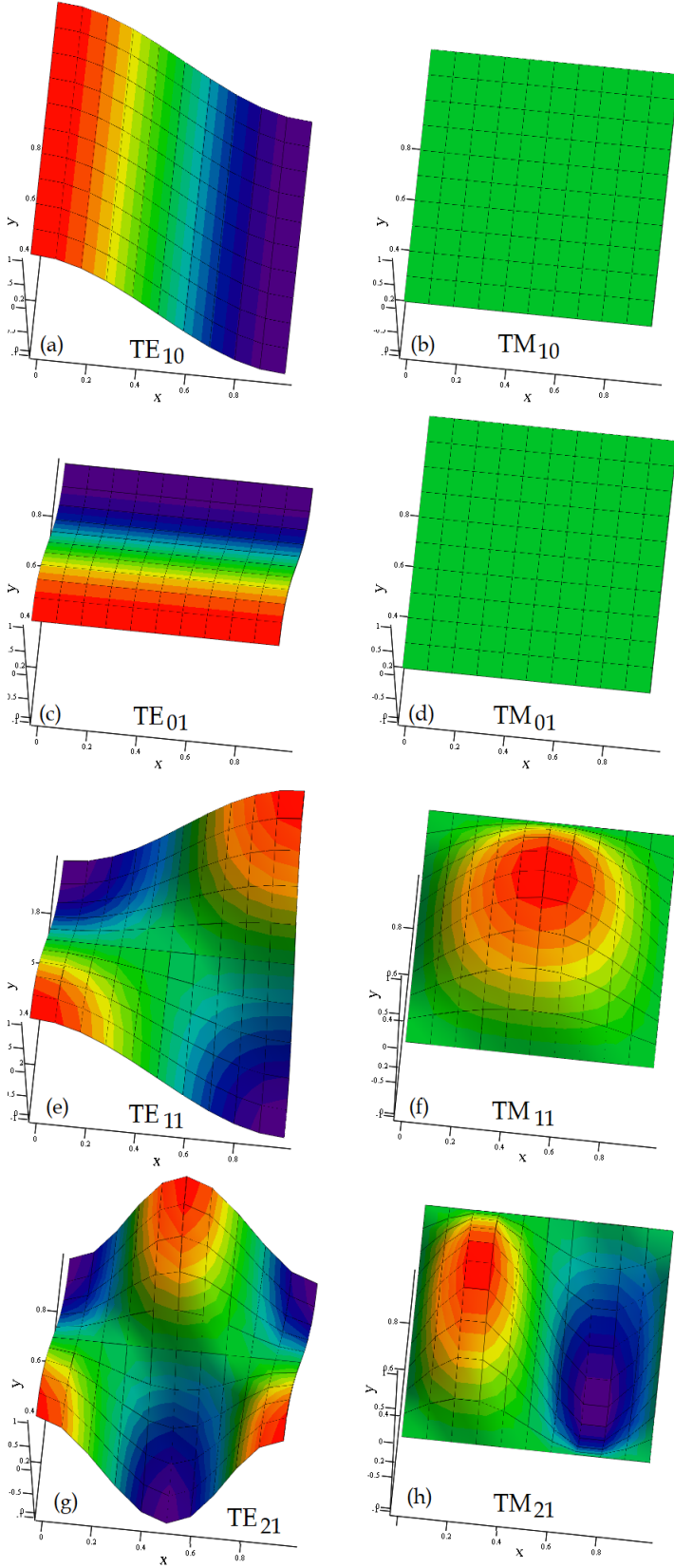
burada,  $D_{TM}$  TM mod için genlik sabitini,  $m$  ve  $n$  sırasıyla,  $x$  ve  $y$  eksenleri için dalga sayılarını temsil etmektedir.

$TE_{mn}$  modunda,  $E_z=0$  iken,  $H_z$  aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$H_z = D_{TE} \left( \cos \frac{m\pi x}{p} \right) \left( \cos \frac{n\pi y}{q} \right) e^{i\omega t} \quad (5)$$

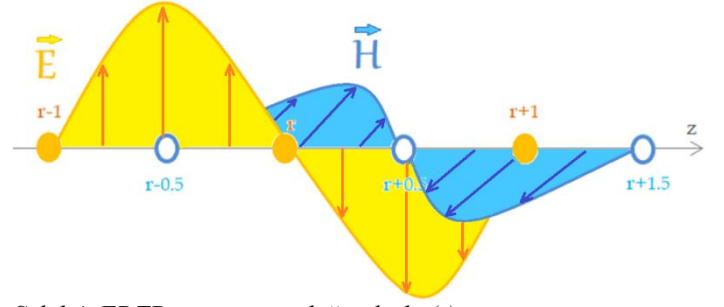
burada,  $D_{TE}$  TE mod için genlik sabitini temsil etmektedir.

Şekil 2’de de görülen CPU’ya ait lineer, homojen ve izotrop katmanının TM ve TE modları için, Denk. (4) ve Denk. (5)’in kesin çözümüyle elde edilen alan dağılımları Şekil 3’teki gibidir.



Şekil 3. Lineer, homojen ve izotrop CPU katmanında TE ve TM modları için alan dağılımları, (a)  $TE_{10}$ , (b)  $TM_{10}$ , (c)  $TE_{01}$ , (d)  $TM_{01}$ , (e)  $TE_{11}$ , (f)  $TM_{11}$ , (g)  $TE_{21}$  ve (h)  $TM_{21}$

Denk. (4) ve Denk. (5)'in kesin çözümüyle TE ve TM modları için elde edilen bu alan dağılımları FDTD yöntemiyle Şekil 4'te verilen düğümler kullanılarak da elde edilebilir.



Şekil 4. FDTD yönteminin düğümlerle ( $r$ ) gösterimi

FDTD yöntemiyle Şekil 4'te verilen düğümler kullanılarak Denk. (3)'ün çözümü, Tablo 1'de verilen ifadeler kullanılarak yapılabilir (Sullivan, 2000 ve Yee, 1966):

Tablo 1. FDTD çözümü için gerekli türev ifadeleri

Türev İfadesi	Sonlu Farklar ifadesi
$H$	$h_r$
$\frac{\partial H}{\partial r}$	$\frac{h_{r+s} - h_{r-s}}{2\Delta r}$
$\frac{\partial^2 H}{\partial r^2}$	$\frac{h_{r+s} - 2h_r + h_{r-s}}{\Delta r^2}$

Tablo 1'de  $r$  değeri  $x$ ,  $y$  veya  $t$  boyutlarından birinde birer adım aralığı ile artışı,  $\Delta r$  birbirine komşu olan iki düğüm arasındaki mesafeyi,  $s$  değeri ise  $x$ ,  $y$  veya  $t$  boyutlarından birinde 0.5'er adım aralığı ile artışı temsil etmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

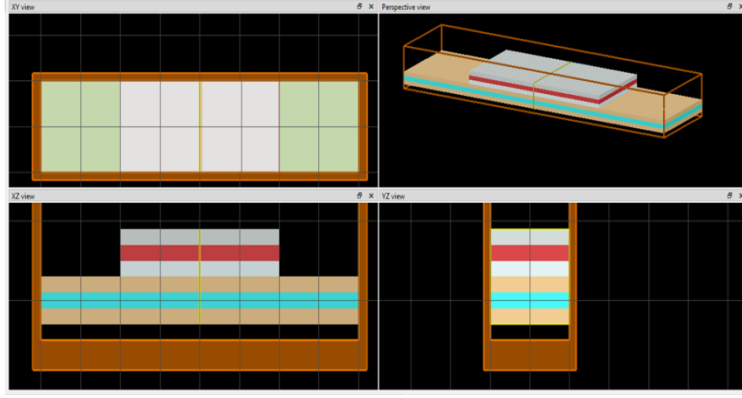
Bu çalışmada, farklı biçimde tasarlanmış iki adet CPU'nun  $TE_{11}$  ve  $TM_{11}$  modları için alan dağılımları elde edilmektedir. Alan dağılımı incelenen ilk CPU'da (CPU I), CPU katmanları Tablo 2'de verilen sıralamayla Şekil 5'teki gibi konumlandırılmakta ve malzeme özelliği parametreleri de yine tabloya göre belirlenmektedir. Alan dağılımı incelenen ikinci CPU'da (CPU II), CPU katmanlarının sıralaması ve malzeme özelliği parametreleri, birinci CPU'dan  $TM_{11}$  modu için elde edilen alan dağılımının tam zıttı bir alan dağılımı elde edilmek üzere belirlenmektedir.

Tablo 2. CPU I' ait katman sıralaması ve her bir katmanda kullanılan malzemeler

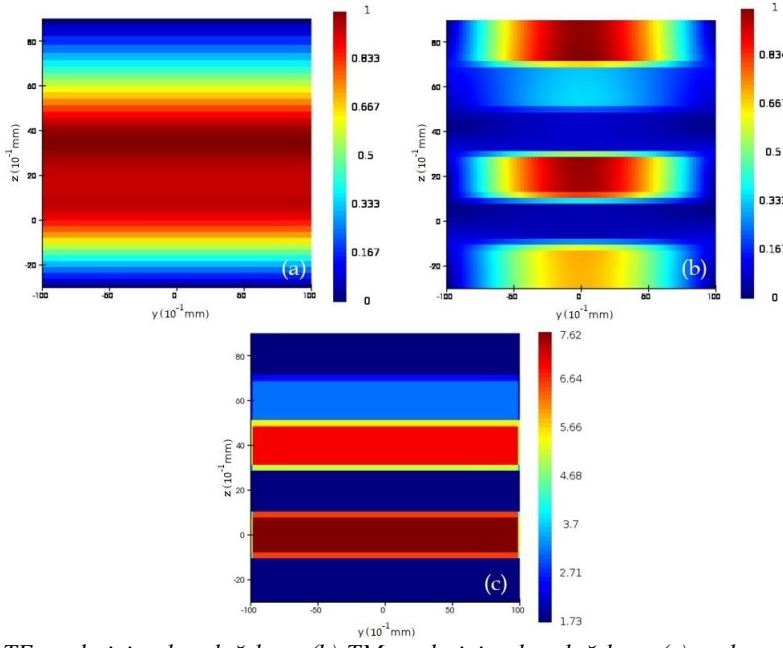
No	Katmanlar	Malzeme
1	Taban	FR4 epoksi
2	Entegre devre	$SiO_2$
3	Entegre ısı dağıtıcı	Al
4	Termal macun	Silikon
5	Entegre devre bağlantı malzemesi	Ag
6	IHS dolgu macunu	Epoksi

Bu iki CPU'nun, Şekil 6'da ve Şekil 7'de de görülen, TE ve TM modlarına ilişkin alan dağılımları kıyaslandığında, CPU'ların katmanlarındaki sıralamayla, bu katmanların malzeme özelliği parametrelerindeki değişimin alan dağılımları üzerindeki etkisinin TE modlarına kıyasla TM modlarında oldukça fazla sonucuna ulaşılmaktadır. Alan dağılımları, FDTD

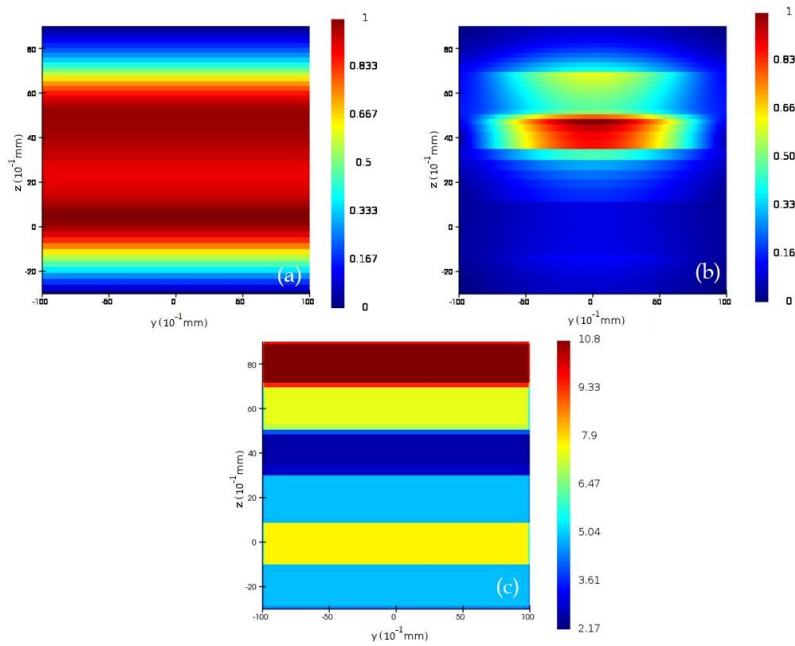
yöntemini kullanan ANSYS Lumerical programı ile elde edilmektedir.



Şekil 5. CPU I'in katmanlarının dizilimi



Şekil 6. CPU I'in, (a) TE modu için alan dağılımı, (b) TM modu için alan dağılımı, (c) malzeme özelliği parametreleri



Şekil 7. CPU II'nin, (a) TE modu için alan dağılımı, (b) TM modu için alan dağılımı, (c) malzeme özelliği parametreleri



## 4. Sonuç

Bu çalışmada, izotropik katmanlara sahip merkezi işlem birimlerinde meydana gelen elektromanyetik dalganın yayılımı davranışı incelenmektedir. Lineer, homojen ve izotrop katmanlara sahip iki farklı CPU'nun TE ve TM modları için alan dağılımları incelenmektedir. İncelenen CPU'ların katmanlarının dizilimleri ve malzeme özelliği parametreleri birbirinden farklıdır. CPU'ların katmanlarındaki dizilimin ve bu katmanların sahip olduğu malzeme özelliği parametrelerinin, yapıların TE ve TM modları için elde edilen alan dağılımları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. FDTD yöntemini kullanan ANSYS Lumerical programı ile elde edilen alan dağılımları incelendiğinde, TM modları için elde edilen alan dağılımlarının TE modlarına kıyasla, CPU katmanlarının dizilimindeki ve malzeme özelliği parametrelerindeki değişimden daha fazla etkilendiği sonucuna ulaşılmaktadır.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, her bir katmanı anizotrop özelliğe sahip olan, katmanlı yapıların, alan dağılımlarının aynı yöntemle incelenebilmesi mümkündür. Katmanlı yapıların katmanları arasındaki süreksizliklerin yani hasarların, yapıların alan dağılımları üzerindeki etkisi de araştırılması gereken konular arasındadır. Aşırı yük ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan yapıların alan dağılımlarının belirlenmesi konusunda yapılacak olan çalışmalar da bu anlamda literatürdeki eksikliği gidermek adına önem teşkil etmektedir.

## Kaynakça

- Basmacı, A.N. (2020). Characteristics of electromagnetic wave propagation in a segmented photonic waveguide. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 22, 452-460.
- Bouras, M., Mezhoud, M., & Hocini, A. (2018). Efficient magneto-optical TE/TM mode converter in a hybrid structure made with a SiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub> coated on an ion-exchanged glass waveguide. *Optik*, 157, 658-666.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.11.169>
- Cho, J., Park, M.-S., & Jung, K.-Y. (2020). Perfectly matched layer for accurate FDTD for anisotropic magnetized plasma. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, 20(4), 277-284.  
<https://doi.org/10.26866/jees.2020.20.4.277>
- Duman, Ç., & Kaburcu, F. (2019). A numerical study of ZnO random lasers using FDTD method. *Optik*, 181, 993-999.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.12.136>
- El Haddad, A. (2016). Exact analytical solution for the electromagnetic wave propagation in a photonic band gaps material with sinusoidal periodicity of dielectric permittivity. *Optik*, 127, 1627-1629.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.11.049>
- Hirani, R.R., Pathak, S.K., Shah, S.N., & Sharma D.K. (2018). Dispersion characteristics of dielectric tube waveguide loaded with plasma for leaky wave antenna application. *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 83, 123-130.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aeue.2017.08.019>

- Johnson, S.G., Oskooi, A. & Taflove, A. (2013). *Advances in FDTD Computational Electrodynamics Photonics and Nanotechnology*, Artech House, UK.
- Kaburcu, F., & Elsherbeni, A.Z. (2018). Temperature rise and SAR distribution at wide range of frequencies in a human head due to an antenna radiation. *The Applied Computational Electromagnetics Society*, 33(4), 367-372.
- Lwin, Z.M., & Yokota, M. (2019). Numerical analysis of SAR and temperature distribution in two dimensional human head model based on FDTD parameters and the polarization of electromagnetic wave. *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 104, 91-98.  
<https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.03.010>
- Mitri, F.G. (2020). Optimal TM TE mode conversion contribution to the radiation force on a cylinder exhibiting rotary polarization in circular polarized light. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 253, 107115.  
<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107115>
- Panyaev, I., Zolotovskii, I., & Dmitry, S. (2020). Laser generation and application of TE and TM modes in a semiconductor optical GaAs waveguide with distributed feedback generated by a space charge wave. *Optics Communications*, 459, 125026.  
<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.125026>
- Pozar, D.M. (2012). *Microwave Engineering 4<sup>th</sup> Edition*, John Wiley & Sons, Inc. Amherst, Massachusetts.
- Soltani, A., Ouerghi, F., Abdelmalek, F., Haxha, S., Ademgil, H., & Akowuah, E.K. (2017). Unidirectional light propagation photonic crystal waveguide incorporating modified defects. *Optik*, 130, 1370-1376.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.11.179>
- Sullivan, D.M. (2000). *Electromagnetic Simulation Using The FDTD Method*. IEEE Press, New York.
- Xiong, L.-L, Wang, X.-M. Peng, Z.-Y. & Zhong, S.-Y. (2018). The electromagnetic waves propagation in unmagnetized plasma media using parallelized finite-difference time-domain method. *Optik*, 166, 8-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.03.136>
- Yee, K.S. (1966). Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 11(3), 302-307.  
<https://doi.org/10.1109/TAP.1966.1138693>
- Zhang, Y., Cao, L., Shi, D., & Lin, Y. (2021). Multiscale analysis and algorithm of transient electromagnetic scattering from heterogeneous materials. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 391, 113427.  
<https://doi.org/10.1016/j.cam.2021.113427>
- Zhu, Y., Lu, J., & Li, E. (2011). Electromagnetic compatibility benchmark-modeling approach for a dual-die CPU. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 53(1), 91-98. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2010.2053208>



# Sakarya Havzası Su Kalitesi Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Hatice Çıtakoğlu<sup>1\*</sup>, Yusuf Özeren<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7319-6006), hcitakoglu@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup>Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1233-3403), yusufozeren@dsi.gov.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10-12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898046)

**ATIF/REFERENCE:** Çıtakoğlu, H. & Özeren, Y. (2021). Sakarya Havzası Su Kalitesi Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 10-17.

## Öz

Su canlı yaşamı için en önemli doğal kaynaklardan birisi olup hızlı nüfus artışı, tarım ve sanayide suyun bilinçsiz kullanımı ile kirlenmesi telafisi zor durumlara neden olabilecektir. Su kalitesi sadece insan yaşamı için değil, diğer tüm canlı yaşamı için de önemlidir. Su kirliliği ile ilgili en önemli parametrelerden birisi çözülmüş oksijendir. Çözülmüş oksijen suda canlı yaşamı için hayatidir. Yapay sinir ağlarının su yönetimindeki diğer uygulamalarla birlikte su kalitesi parametreleri için de kullanım alanı vardır. Su kalitesi parametrelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesiyle önemli kazanımlar sağlanabilir. Bu çalışmada, Sakarya Havzası gözlem istasyonlarına ait 1995-2014 yılları arasındaki aylarda ölçülmüş su kalitesi verileri ile çözülmüş oksijen değerinin modellenmesi yapılmıştır. Modelde giriş verileri; sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı ve aylar çıkış verisi ise çözülmüş oksijendir. Toplamda 1388 adet veri mevcuttur. Toplam verinin %80'ni (1107 veri) eğitimde, %20'si (281 veri) test verisi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmamızda modellerin tahmin başarısını ölçmek için, Kök Ortalama Karesel Hata, Ortalama Mutlak Hata, Ortalama Mutlak Bağlı Hata ve Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı ölçütleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda hata kriterleri makul değerlerde olup tahmin etme gücü yüksektir.

**Anahtar Kelimeler:** Sakarya havzası, Su kalitesi, Yapay sinir ağları, Çözülmüş oksijen.

# Sakarya Basin Water Quality Parameters Modeling With Artificial Neural Networks

## Abstract

Water is one of the most important natural resources for living life, and its rapid population growth, unconscious use of water in agriculture and industry and its pollution may lead to difficult situations. Water quality is important not only for human life but also for all other living things. One of the most important parameters regarding water pollution is dissolved oxygen. Dissolved oxygen is vital to aquatic life. Artificial neural networks have uses for water quality parameters along with other applications in water management. Significant gains can be achieved by modeling water quality parameters with artificial neural networks. In this study, the modeling of the dissolved oxygen value with the water quality data measured in the months between 1995-2014 belonging to the Sakarya Basin monitoring stations was made. Temperature, electrical conductivity, pH, biological oxygen demand, and months are used as input data in model. Also, dissolved oxygen is used output data. There are 1388 data in total. 80% of the total data (1107 data) was used for training, 20% (281 data) was used as test data. In this study, Root Mean Square Error, Mean Absolute Error, Mean Absolute Relative Error, and Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient criteria were used to measure the prediction success of the models. As a result of the study, the error criteria are reasonable and its predictive power is high.

**Keywords:** Sakarya basin, Water quality, Artificial neural networks, Dissolved oxygen.

\* Sorumlu Yazar: [hcitakoglu@erciyes.edu.tr](mailto:hcitakoglu@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Su, hayatın her alanında en çok ihtiyaç duyulan temel bir gereksinimdir. Dünyanın dörtte üçünün sularla kaplı olması çok fazla miktarda suya sahip olduğumuzu düşündürse de insanların kullanımına yönelik olan tatlı su miktarı ne yazık ki çok sınırlıdır. Okyanus ve denizlerde, yeryüzündeki suların büyük bir miktarı bulunsa da içme suyu ya da sulama suyu olarak kullanılamayacak nitelikte tuzlu sulardır. Yaşam için tatlı su ihtiyacı, yüzeysel sular ve yeraltı su kaynaklarından sağlanmaktadır. Hayatın devamı için bu denli büyük bir öneme sahip olan sular, insan faaliyetleri ile maalesef kirletilmektedir. Günümüzde ve gelecekte su kirliliği önemli sorunlardan birisi olacaktır. Su kirliliğine birçok unsur etki etmektedir (Schwarzenbach, Egli, Hofstetter, Gunten, ve Wehrli, 2010). Bunlara; nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerleşim yerlerindeki evsel atıklar, sanayi kuruluşlarının yoğunlaştığı bölgelerdeki sanayi atıkları ve tarım yapılan alanlardaki kimyasal gübreler ve tarım ilaçları örnek olarak verilebilir (Tunç Dede ve Sezer, 2017). Dünya üzerinde sınırlı miktarda bulunan su kaynaklarının hızlı nüfus artışı, tarım ve sanayide suyun bilinçsiz kullanımı ile kirlenmesi telafisi zor durumlara neden olabilecektir. Bilim insanları gelecekteki su kaynaklarının kirlenmesini önlemek, su kalitesinin korunmasını sağlamak ve etkilerini kontrol altına almak için birçok çalışma yapmıştır ve çalışmalar devam etmektedir (Zheng, Chen ve Zhang, 2004).

Dünya’da tatlı su kaynaklarının kısıtlı olması yanında ülkemiz dünyada su kaynaklarının kıt olduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Ülkemizde su yönetim sürecinin daha dikkatli ve doğru politikalar geliştirilerek sürdürülmesi çok daha fazla önem kazanmıştır. Nüfus artışı ile beraber tüm sektörlerde artması muhtemel su talebi ve küresel iklim değişikliğinin iyi yönetilmesi gerekmektedir (Aküzüm, Çakmak ve Gökalp, 2010). Su yönetim sürecinde, su kalitesi önemli bir yere sahip olacaktır ve suyun kalitesinin korunması ile sürdürülebilirliğinin sağlanması çok önemlidir.

Su kalitesinin sadece insan yaşamı için değil, diğer tüm canlı yaşamı için de önemini kavramamız gerekir. Su kalitesi ilk aşamada suyun atmosferde oluşumu ve yeryüzüne yağmur ve kar şeklinde düşmesiyle olur. Hidrolojik çevrim ile beraber su dolaşımı esnasında çevresel etkiler neticesinde su kirliliği oluşacaktır ve bu kirlilik bir yerden bir başka bölgeye taşınabilecektir. Sulardaki doğal kirlenme yanında insanlar tarafından özellikle endüstriyel faaliyetler ile birlikte kimyasal, fiziksel, biyolojik ve radyoaktif kirlilikler meydana gelir (MEGEP Yayınları, 2011). Su kalitesi parametrelerinin her biri ayrı bir öneme sahiptir ve belirli periyotlarla değişiminin izlenmesi gerekmektedir. Renksiz ve kokusuz bir madde olan suların; bulanıklığı, sıcaklığı, rengi ve kokusu fiziksel parametrelerindedir. Suyun sıcaklığı, suda canlı yaşamını etkileyebilecektir. Sıcaklık arttıkça suda reaksiyon hızı artacak, sudaki çözünmüş oksijen miktarı azalacaktır (MEGEP Yayınları, 2011). Suyun asidik ve bazik özelliği pH ile ifade edilir. Endüstriyel kirlenmenin etkisi pH değerinde görülebilir. Suda insan sağlığına zararlı ağır metaller diye tanımladığımız cıva, kurşun, arsenik v.d. bulunmamalıdır. Bütün sular elektrik içerir. Elektriksel iletkenlik suyun elektrik akımını iletme kapasitesini ifade eder (Güler, 1997). İletkenlik değerindeki artış su kirliliğine işarettir. Su kirlenmesi ile ilgili en önemli parametrelerden birisi çözünmüş oksijen (ÇO)’dir. ÇO, sudaki canlı yaşam için hayati bir öneme sahiptir. Oksijenin sudaki

çözünürlüğü, suyun sıcaklığı ve sudaki minerallerin derişimlerine bağlıdır. Sudaki aerobik canlı yaşamı için çözünmüş oksijene gereksinim vardır. Su içerisinde oksijenin miktarının azalması ile beraber anaerobik çürüme meydana gelir. Suyun kokusunda değişimler ortaya çıkacaktır. Belirli periyotlarla ölçülen su kalitesi parametrelerinin izlenmesi ile oluşması muhtemel problemlerin önceden engellenmesi sağlanabilir.

Yaşadığımız çevre sürekli bir değişim halindedir. Bu değişimin günümüzde ve gelecekte, çevrede nasıl etkileri olacağını tahmin edebilmek önemli kazanımlar sağlayacaktır. Birçok doğa biliminde kullanım alanı olan yapay zekâ tekniklerinin su yönetimindeki diğer uygulamalarla birlikte su kalitesi parametreleri için de kullanım alanı vardır. Su kalitesi ile ilgili çalışmalarda geçmiş yıllardan elde edilen veriler ile tahminde bulunmak, problemlerin çözümlerinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Yılmaz, 2015).

Yapay sinir ağlarından; sınıflandırma yapma, teşhis, verileri ilişkilendirme ve yorumlama gibi pek çok alanda yararlanılmaktadır. Özellikle tahmin çalışmalarında çok iyi sonuçlara ulaşılabilmektedir. Yapay sinir ağları (YSA) ile insan beyin yapısının çalışması taklit edilmeye çalışılır. İnsan beyni, tecrübeleri ile sağladığı kazanımlar ile sorunları çözme becerisi gösterir. YSA, insan beynine benzer öğrenmeyi gerçekleştiren bilgisayar sistemleridir. Öğrenme işlemi de örnekler ile gerçekleştirilir. Girdi ve çıktıların sisteme tanıtılması ile öğrenme sağlanır ve daha sonra eğitime işlemi gerçekleştirilir. (Öztemel, 2012). YSA’lar sahip olduğu öğrenme yeteneği ve öğrenme işleminden sonra daha az bilgiye gereksinim duyması, karmaşık matematiksel modelleri daha hızlı çözebilmeleri gibi sahip oldukları özellikleri nedeniyle önemli kazanımlar sağlarlar (Citakoglu, 2017).

Adamowski ve Karapataki (2012), Kıbrıs’ta Lefkoşa kentinin son dönemlerde yaşadığı su krizi sorunu ile ilgili olarak sürdürülebilir su yönetimi için çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağlarını kullanarak farklı modeller ile su talebinin tahmini üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde; radyal tabanlı fonksiyon (RBF), gradient-descent (GD) ve Levenberg-Marquardt (LM) olmak üzere üç farklı öğrenme algoritması yapay sinir ağlarında kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. LM YSA modelinin diğer iki YSA modeline ve çoklu doğrusal regresyona göre haftalık en yüksek su talebini daha doğru tahmin ettiğini belirtmişlerdir.

Hindistan’ın Gomti Nehri’nde yapmış oldukları çalışmada Singh, Basant, Malik ve Jain (2009), 10 yıllık bir süre ile sekiz gözlem istasyonundan ölçülmüş aylık su kalitesi verileri ile çözünmüş oksijen ile biyolojik oksijen ihtiyacını yapay sinir ağları ile modellemiştir. Modellemede giriş verisi olarak pH, T-Alk, Sertlik, Katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Cl, PO<sub>4</sub>, K, Na olmak üzere 11 değişken su kalitesi verisi kullanılmıştır. Verilerin, 576 (% 60) âdeti deneme, 192 (% 20) âdeti eğitime ve 192 (% 20) âdeti test verisi olarak kullanılmıştır. Model performans kriterleri olarak Kök Ortalama Kare Hata KOKH ile Determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değerleri kullanılmıştır. Determinasyon katsayısı değerleri, ÇO için 0.76 ile biyolojik oksijen ihtiyacı için 0.77 olarak hesaplanmıştır. Yapay sinir ağlarının nehir su kalitesi modellemeleri için geleneksel modelleme tekniklerine karşı önemli bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur.

Nehirlerin su kalitesinin belirlenmesinde çözünmüş oksijen önemli bir yere sahiptir. Sengorur, Dogan, Koklu ve Samandar

(2005), su kalitesi kontrolü için sınırlı sayıda veri ile yapay sinir ağları kullanarak çözünmüş oksijen değerinin tahmini için çalışma yapmışlardır. Modelleme giriş verisi NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, BOİ, debi ve sıcaklık olup model performans kriterleri olarak Ortalama Karesel Hata ile R<sub>2</sub> değerleri kullanılmıştır. R<sub>2</sub> değeri 0.9186 olan 3 nöron ve tek gizli tabakaya sahip ileri beslemeli YSA ile en iyi tahmin sağlandığı belirtilmiştir. Nehir kirlilik sorunlarının önceden tahmin edilmesinde yapay sinir ağlarından yararlanılabileceği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın amacı; Sakarya Havzası gözlem istasyonlarına ait 1995–2014 yılları arasındaki aylarda (Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos ve Kasım) ölçülmüş su kalitesi verileri kullanılarak çok katmanlı yapay sinir ağı modeli ile sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (Eİ), pH, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve aylar kullanılarak ÇO değerinin modellenmesi yapılmıştır. 1995–2014 (20 yıl) yılları arasındaki 1388 verinin %80'ni (1107 adet) eğitmede, %20'si (281 adet) test verisi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmamızda modellerin tahmin başarısını ölçmek için, Karekök Ortalama Karesel Hata, Ortalama Mutlak Hata, Ortalama Karesel Hata, Ortalama Mutlak Bağlı Hata ve Nash–Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı ölçütleri kullanılmıştır. Yapılacak modelleme çalışmasıyla genellikle doğrusal olmayan bu parametrelerin modellemedeki etkisinin ve yapay sinir ağlarına ait üyelik fonksiyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Sakarya Havzası'nda yer alan gözlem istasyonlarına ait 1995–2014 yılları arasındaki Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos ve Kasım aylarında ölçülmüş su kalitesi verileri ile ÇO değerinin çok katmanlı YSA ile modellenmesi yapılmıştır. Modellemede kullanılan bağımsız değişkenler; T, Eİ, pH, BOİ, aylar ve ÇO değerleridir.

### 2.1. Sakarya Havzası

Çalışmamızda ele alacağımız bölge, Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Sakarya Havzasıdır. Sakarya Havzası ülkemizin kuzeybatısında yer almakta olup Susurluk, Konya, Akarçay, Batı Karadeniz ve Kızılırmak Havzaları ile komşudur. Havza kendi içerisinde 6 alt havzaya bölünmüştür. Alt havzalar nehrin doğduğu noktadan Karadeniz'e döküldüğü noktaya kadar; Yukarı Sakarya, Porsuk Çayı, Ankara Çayı, Orta Sakarya, Göksu–Karasu ve Aşağı Sakarya Alt Havzası şeklindedir. Sakarya Havzasının ana kolu Sakarya Nehridir. Sakarya Nehri, Kızılırmak ve Fırat nehirlerinden sonra Türkiye'nin üçüncü en uzun, Kuzeybatı Anadolu'nun ise en büyük akarsuyudur. Eskişehir'in güneyinde yer alan Çifteler Sakaryabaşı kaynaklarından doğar ve Sakarya'nın Karasu ilçesinden Karadeniz'e dökülür. Nehrin drenaj alanı 58.160 km<sup>2</sup> olup başlangıcında yer alan bazı kaynaklarının kuruduğu göz önüne alınırsa kolları ile birlikte toplam uzunluğu 720 km'dir (Sakarya Havzası, Proje Nihai Raporu, 2013).

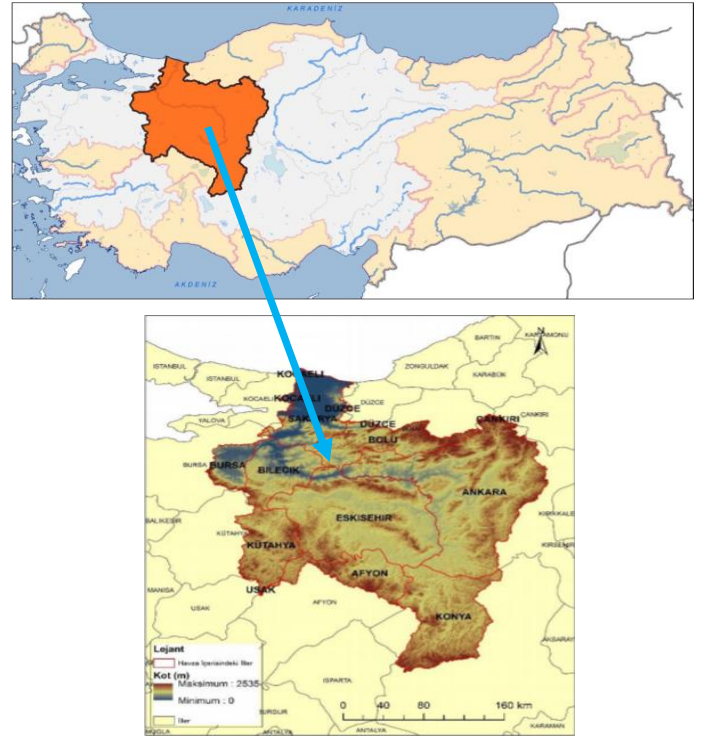
Sakarya Havzasında, ülkemizin başkenti ve önemli bir sanayi şehri olan Ankara ile Sakarya ve Eskişehir gibi gelişmiş büyük şehirler bulunmaktadır. Havzada yaşayan toplam nüfusun ülke nüfusuna oranı yaklaşık olarak %10'lar civarındadır. Havzada endüstriyel kuruluşların bulunması yanında drenaj alanında yer alan arazinin önemli bir kısmında tarım ve hayvancılık faaliyetleri sürdürülmektedir. Ülkemizin önemli ovaları; Polatlı, Pamukova ve Adapazarı Ovaları havzada yer

almaktadır. İlgili kuruluşlarca yapılmış sulama tesisleri ile sulama alanları önemli büyüklüğe sahiptir.

Sakarya Havzasında, konumu ve kapladığı geniş alan nedeniyle çeşitli iklimler görülmektedir. Kuzey kesimlerde ılıman ve yağışlı Karadeniz iklimi görülürken diğer kesimlerde tipik İç Anadolu ikliminin etkisi vardır (Sakarya Havzası, Proje Nihai Raporu, 2013). İklim farklılıkları ile beraber yağış miktarları da kuzey ve güney kesimlerde farklılık gösterir. Kuzeyde Karadeniz yağış rejimi hakimken, güneyde ise İç Anadolu yağış rejimi görülmektedir.

Sakarya Havzası'nda önemli göller ve çok sayıda baraj gölü bulunmaktadır. Havza'nın önemli bir su kaynağı olan Sapanca Gölü, Sakarya ilinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Gölün su toplama havzasının büyüklüğü yaklaşık 252 km<sup>2</sup>'dir. Ayrıca, Ankara'da yer alan Mogan ve Eymir Gölleri de havzada bulunmaktadır. Ülkemizin önemli Hidroelektrik Santral (HES) tesisi olan Sarıyar Hasan Polatkan Barajı havza sınırları içerisinde yer alır (Yaykırın, 2016). 1936 yılında işletmeye açılmış ve Su İşleri tarihinde Cumhuriyetin ilk barajı olan Çubuk I Barajı'nda havza sınırlarında bulunur (DSİ, 2021). Ankara ilinin içme ve kullanma suyunu sağlayan Çubuk I, Çubuk II, Bayındır, Kurtboğazi, Çamlıdere, Eğrekkaya, Akyar, Kavşakkaya Barajları ile Eskişehir ilinin içme ve kullanma suyunu sağlayan Porsuk Çayı üzerine inşaa edilmiş Porsuk Barajı havzada yer alan önemli barajlardandır.

Sakarya Havzası, ülkemizin en büyük iki şehri Ankara ve İstanbul arasında yer alması sebebiyle sanayi, ticaret, ulaşım ve turizm gibi pek çok ekonomik ve kültürel faaliyet açısından Türkiye'nin diğer yerlerine göre daha gelişmiş durumdadır. Havzada nüfus yoğunluğuna göre su miktarı kısıtlıdır. Sürdürülebilir su yönetimi için suyun kalitesinin korunması gerekmektedir.



Şekil 1. Sakarya Havzasının ülkemizdeki konumu (Sakarya Havzası, Proje Nihai Raporu, 2013; Yaykırın, 2016)

## 2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Son yıllarda bilgisayar yazılımları, dijital dünyamızın vazgeçilmezleri olmuştur. Yapay zekâ teknolojilerinden hayatımızın her alanında faydalanılmaktadır. Yapay Sinir Ağları, insan beyninin öğrenmesi model alınarak yeni bir bilgi üretme yöntemidir. YSA; insan beynini taklit edip öğrenme işlemi sağlayarak yeni bilgiler üretebilmesi ve geleceğe dönük tahminde bulunabilmesi amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları modellemesi, çok zor çalışmalarda ciddi kolaylıklar sağlamaktadır (Öztemel, 2012). YSA modelleri, örnekleri kullanarak öğrenirler ve farklı öğrenme algoritmaları ile öğrenebilirler.

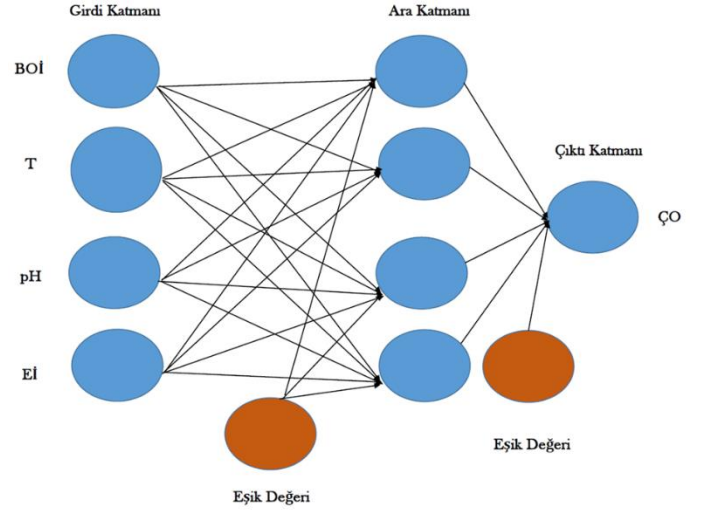
Yapay sinir ağlarından insan beyin sisteminin çalışması örnek alınarak çalışması istenir. Bundan dolayı biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir ağları arasında benzerlikler vardır. YSA'nın çalışmasındaki temel birim yapay sinir hücreleridir. Yapay sinir hücreleri; girdiler, ağırlıklar, toplama (birleştirme) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş bileşene sahiptir. Girdiler, dış ortamdan alınan bilgileri yapay sinir ağına getirirler. Ağırlıklar, öğrenilmiş bilgilerin saklandığı ve depolandığı yerdir. Matematiksel nöronların önemli unsurlarındadır. Toplama (birleştirme) fonksiyonu, girdiler ile ağırlıklarının çarpımlarının toplamını transfer fonksiyonuna aktaran işlem elemanıdır. Aktivasyon (transfer) fonksiyonu, ağırlıklı girdi değerlerinin aktivasyonundan ve çıkış değerinin tanımlanmasını gerçekleştirir. Çıkış, transfer işlevinin sonucudur.

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarını oluştururlar. YSA'dan çok karmaşık olayları çözümlerken faydalanılır. YSA karmaşık ilişkileri öğrenebilir ve daha önce karşılaşmadığı problemlere çözümler getirebilir. Eksik ve kısmen hatalı verileri ise verilere bağlı kalmadan değerlendirilebilir (Yavuz ve Deveci, 2012). YSA ile modelleme çalışmalarında, verilerimiz girdi olarak işlenecek daha sonra YSA'ların öğrenme özelliğinden yararlanarak ve tüm ihtimaller değerlendirilerek en iyi diye nitelendirebileceğimiz çıkış verisi elde edilecektir. YSA, öğrenme ile kazanacağı tecrübe ile problemlerin çözümünü gerçekleştirebilecektir.

Sadece girdi ve çıktı katmanından oluşan yapay sinir ağı tek katmanlı ağıdır. Bu ağlar karmaşık işlemlerin hesaplamalarında zayıf kalabilirler. Girdi ve çıktı katmanı yanında birden fazla gizli katmanda içeren ağ yapıları çok katmanlı ağ yapılarıdır. Bu ağlar yapıları eğitim ve test aşamaları ile çalıştırılır. Eğitim aşaması ile öğrenme algoritması için ağırlıklar hesaplanır ve bu değerler için çıktı hesaplanır (Yavuz ve Deveci, 2012). Test aşaması ile sistem test edilir.

### 2.2.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA)

Doğrusal olaylarla ilgili çalışmalarda YSA'ların ilk modelleri çözümler getirebilirken doğrusal olmayan olaylar için çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) geliştirilmiştir. ÇKYSA'da girdi ve çıktı katmanının kaç elemana sahip olacağı probleme göre belirlenir. Yine ara katman için belirlenmiş eleman sayısı yoktur. Deneme yanılma ile eleman sayısı belirlenmelidir. ÇKYSA'da bilgi akışı girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanı şeklinde ileri doğrudur. ÇKYSA'nın eğitim performansını ölçmek amacıyla eğitim aşamasından sonra, eğitim aşamasında ağı görmediği örnekler gösterilerek bunlara ağ nasıl karar verdiği incelenir. Görmediği bu örneklere doğru cevap vermesi model performansının iyi olduğunu gösterir (Öztemel, 2012).



Şekil 2. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağının (ÇKYSA) Yapısı

## 2.3. Model Performansının Belirlenmesi

YSA modelleri ile elde edilen sonuçlar; Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağlı Hata (OMBH) ve Nash–Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı (NSE) kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Bunlardan; KOKH, OMH, OKH ve OMBH değerleri 0'a yaklaştıkça daha doğru ve güvenilir tahminlerin yapıldığı anlaşılmaktadır. NSE değeri ise eksi sonsuz ve 1 arasında değişmektedir. Bu parametre değerinin 1 olması istenmektedir ve bu durum yüzde yüz başarıyı temsil etmektedir. Literatürde NSE değerinin 0.3–0.5 arasında olması düşük tahmin başarıyı gerçekleştirdiğini, 0.5–0.7 arası kabul edilebilir başarıyı, 0.7–0.9 arası yüksek tahmin başarıısını, 0.9–1 arası ise mükemmel tahmin başarıısını temsil etmektedir. Değerlere ait denklemler aşağıda ifade edilmiştir.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\zeta O_{T,i} - \zeta O_{\bar{0},i}| \quad (1)$$

$$OMBH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\zeta O_{T,i} - \zeta O_{\bar{0},i}}{\zeta O_{\bar{0},i}} \right| \quad (2)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta O_{T,i} - \zeta O_{\bar{0},i})^2 \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\zeta O_{\bar{0},i} - \zeta O_{T,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\zeta O_{\bar{0},i} - \bar{\zeta O}_{\bar{0}})^2} \quad (4)$$

Burada ÇOT, YSA modelleri ile tahmin edilen çözünmüş oksijen; ÇOÖ, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ölçülen çözünmüş oksijen;  $\bar{\zeta O}_{\bar{0}}$ , DSİ tarafından ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin ortalamasını; n, serinin uzunluğunu ifade etmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Sakarya Havzası'nda yer alan gözlem istasyonlarına ait 1995 – 2014 yılları arasındaki Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos ve Kasım aylarında ölçülmüş su kalitesi verileri ile ÇO değerinin ÇKYSA ile modellenmesi yapılmıştır. Giriş verileri olan; T, Eİ, pH, BOİ, aylar ve ÇO değerleri MATLAB programı yardımıyla giriş verisi olarak işlenerek ÇO değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. 1995 – 2014 (20 yıl) yılları arasındaki 1388 verinin %80'ni (1107 adet) eğitmede, %20'si (281 adet) test verisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 1'de eğitme ve test değişkenlerine ait verilerin temel istatistik özellikleri verilmiştir. ÇO ve pH değişkenlerinin Csx

katsayıları sıfırdan küçük olduğu için sola çarpık oldukları belirlenmiş olup diğer değişkenlerin Csx katsayıları sıfırdan büyük oldukları için sağa çarpık dağılıma sahip oldukları görülmüştür. BOİ, Eİ ve pH değişkenleri Ck katsayısının sıfırdan büyük olması sebebiyle olasılık yoğunluk dağılımında sivri özellik göstermektedir. Diğer değişkenler ise Ck katsayısının sıfırdan küçük olması sebebiyle basık dağılım özelliği göstermektedir. Csx ve Ck katsayıları sıfırdan farklı olmasıyla birlikte bu çalışmada kullanılan giriş-çıkış verileri normal dağılım özelliği göstermemektedir. Cv katsayısına göre olasılık yoğunluk fonksiyonu en değişken olan veri, en küçük ortalamaya sahip olan ÇO'dur. Aynı zamanda Cv katsayısının en küçük değere sahip olması nedeniyle pH diğer verilerden en az değişken özelliğe sahiptir.

Tablo 1. Giriş ve çıkış değişkenlerinin istatistiksel parametreleri (Eğitme ve test değişkenleri)

		X <sub>ort</sub>	SS	C <sub>v</sub>	Min	Mak	C <sub>sx</sub>	C <sub>k</sub>
Eğitme Verisi	T (°C)	14.524	5.698	39.23	0.00	29.5	0.11	-0.75
	pH	7.778	0.346	4.45	4.16	9.4	-1.09	11.22
	Eİ (mikromhos/cm)	836.90	425.30	50.82	193	6680	3.58	39.88
	BOİ (mg/L)	22.37	57.12	255.32	0.27	626	6.48	50.46
	ÇO (mg O <sub>2</sub> /l)	7.108	3.179	44.73	0.00	14	-0.31	-0.81
Test Verisi	T (°C)	15.083	6.202	41.12	2	30	0.08	-0.85
	pH	7.8657	0.4745	6.03	6.2	9.3	-0.01	0.74
	Eİ (mikromhos/cm)	841.8	387	45.98	212	2670	0.98	2.2
	BOİ (mg/L)	9.899	16.264	164.3	0.6	160	4.96	34.49
	ÇO (mg O <sub>2</sub> /l)	7.79	2.709	34.77	0.4	13.5	-0.52	-0.23

Bu çalışmada; ÇO değerinin tahmininde kullandığımız YSA modellerinin tamamı için ÇKYSA modellerinden yararlanılmıştır. Giriş ve çıkış katmanları arasında kullanılan aktivasyon fonksiyonları olarak tanjant sigmoid transfer fonksiyonu (tansig) ile logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu (logsig) kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak da standart sayısal optimizasyon tekniklerinden birisi olan Levenberg Marquardt öğrenme algoritması seçilmiştir. 1 gizli katmanlı modelde nöron sayısı 1–10 ve iterasyon sayısı 1–100 aralığında deneme-yanılma yapılarak en düşük hata kriterini veren model tespit edilmiştir.

Tablo 2'de görüleceği üzere ÇKYSA modeli ile farklı kombinasyonlar denenerak çözülmüş oksijen değerini en iyi tahmin edecek yöntemler araştırılmıştır. İlk adımda bağımsız değişkenlerimiz olan BOİ, Aylar, T, Eİ, pH değerleri modelimize 1 girişli olarak tanımlanmıştır. Hata kriteri olan determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değerine göre 1 girişli analizler neticesinde en iyi sonuçları BOİ değişkeni vermiştir. Bu modele göre giriş ve çıkış fonksiyonları tanjant sigmoid, gizli düğüm numarası 2 ve devir sayısı 94 olarak bulunmuştur. Daha sonra 2 girişli analizler için BOİ değeri ile diğer değişkenler ayrı ayrı tanımlanarak modelimiz oluşturulmuştur. Hata kriteri olan R<sup>2</sup> değerine göre 2 girişli analizler neticesinde en iyi sonuçları BOİ-Aylar değişkenleri vermiştir. Bu iki girişli modele göre giriş fonksiyonu logaritmik sigmoid ve çıkış fonksiyonu tanjant sigmoid, gizli düğüm numarası 6 ve devir sayısı 70 olarak bulunmuştur. 2 girişli analizlerin R2 değerinin 1 girişli analizlere göre daha iyi olduğu görülmüş olup 1 girişli analizlerin yeterli olmayacağı anlaşılmıştır. Daha sonraki adımda 3 girişli analizler

yapılmıştır. Hata kriteri olan R2 değerine göre 3 girişli analizler neticesinde en iyi sonuçları BOİ-T-pH değişkenleri vermiştir. Bu modele göre giriş ve çıkış fonksiyonları logaritmik sigmoid, gizli düğüm numarası 4 ve devir sayısı 19 olarak bulunmuştur. Yapılan 3 girişli analizlerin diğer analizlere göre, R<sup>2</sup> değerinin 1 daha çok yaklaştığı görülmüştür. Giriş değerimizi 4'e çıkararak analizler yapılmaya devam edilmiş olup 2 farklı modele ait sonuçlar alınmıştır. 4 değişkenli modellerimiz; BOİ-T-pH-Eİ ve BOİ-Aylar-T-pH'dır. Hata kriteri olan R<sup>2</sup> değerine göre 4 girişli analizler neticesinde en iyi sonuçları BOİ-T-pH-Eİ değişkenleri vermiştir. Bu modele göre giriş fonksiyonu logaritmik sigmoid ve çıkış fonksiyonu tanjant sigmoid, gizli düğüm numarası 4 ve devir sayısı 55 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, modellerin doğruluğunu değerlendirirken literatür de sık kullanılan performans kriterlerinden yararlanılmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde OMH, OKH, KOKH, OMBH gibi klasik hataların yanı sıra Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı ölçütleri de kullanılmıştır.

OMH, OKH, KOKH ve OMBH hatalarının en küçük değerleri daha doğru ve güvenilir tahminlerin yapıldığını göstermektedir. Tablo 3'de de görüleceği üzere bu hata değerlerine ait en küçük değerler 4 girişli BOİ-T-pH-Eİ modelimizle bulunmuştur.

NSE değeri -∞ ve 1 arasında değişmektedir. NSE değerinin 1 olması istenmektedir ve bu durum yüzde yüz başarıyı temsil etmektedir. Literatürde NSE değerinin 0.3–0.5 arasında olması düşük tahmin başarısı gerçekleştiğini, 0.5–0.7 arası kabul edilebilir başarıyı, 0.7–0.9 arası yüksek tahmin başarısını, 0.9–1

arası ise mükemmel tahmin başarısını temsil etmektedir. Tablo 3'de yer alan NSE değerlerimiz değerlendirildiğinde; BOİ-Aylar ve BOİ-T-Eİ değerlerine ait test ve eğitme sonuçları ile BOİ-T-pH değerlerine ait test sonuçlarının 0.5-0.7 arasında

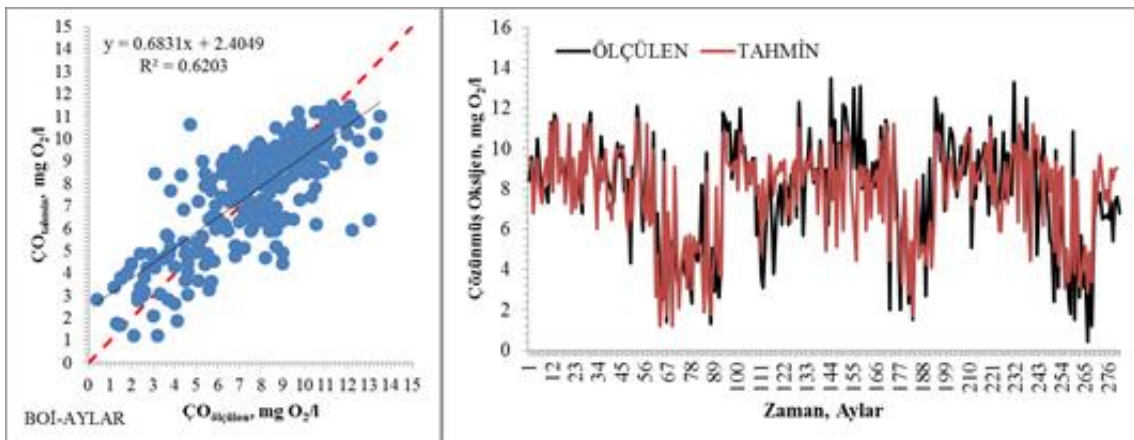
kalarak kabul edilebilir başarıyı temsil ettiği, BOİ-T-pH değerine ait eğitme sonucu ile BOİ-T-pH-Eİ değerlerine ait eğitme ve test sonucu 0.7-0.9 aralığında kaldığından yüksek tahmin başarısını temsil etmektedir.

Tablo 2. ÇO tahmininde farklı girişli veriler için modellere ait değerler ve bu modellere ait determinasyon katsayısı değeri (R<sup>2</sup>)

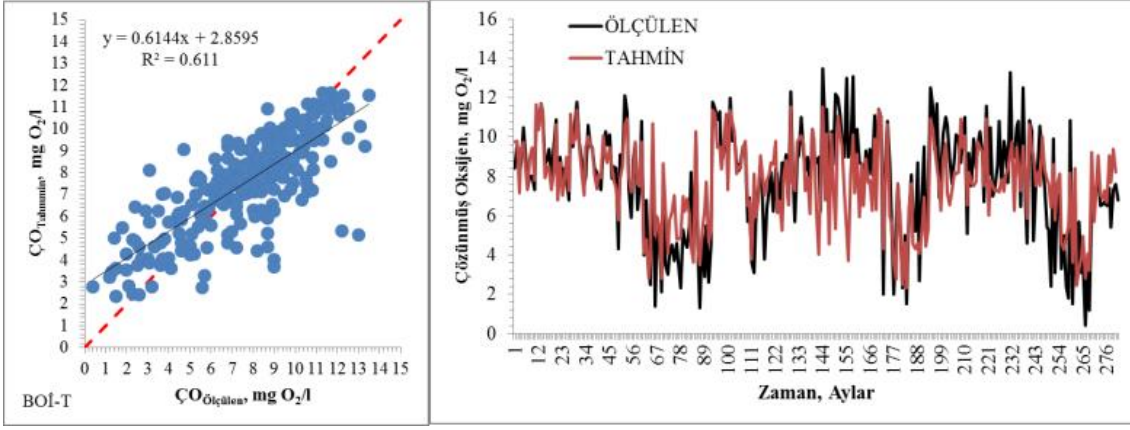
Değişkenler	Gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonu	Çıkış katmandaki aktivasyon fonksiyonu	Gizli katmandaki nöron sayısı	İterasyon	R <sup>2</sup>
BOİ	Tansig	Tansig	2	94	0.493
Aylar	Logsig	Logsig	4	35	0.224
T	Logsig	Logsig	2	50	0.221
Eİ	Logsig	Logsig	2	23	0.105
pH	Tansig	Logsig	4	75	0.100
BOİ-T	Tansig	Tansig	3	26	0.611
BOİ-Aylar	Logsig	Tansig	6	70	0.620
BOİ-Eİ	Tansig	Logsig	2	28	0.536
BOİ-pH	Logsig	Tansig	4	27	0.472
BOİ-T-pH	Logsig	Logsig	4	19	0.686
BOİ-Aylar-T	Logsig	Tansig	7	78	0.648
BOİ-T-Aylar	Logsig	Logsig	6	16	0.641
BOİ-T-Eİ	Logsig	Logsig	4	19	0.639
BOİ-T-pH-Eİ	Logsig	Tansig	4	55	0.722

Tablo 3. ÇO tahmininde farklı girişli veriler için modellerin eğitme ve test verilerine ait hata kriterleri

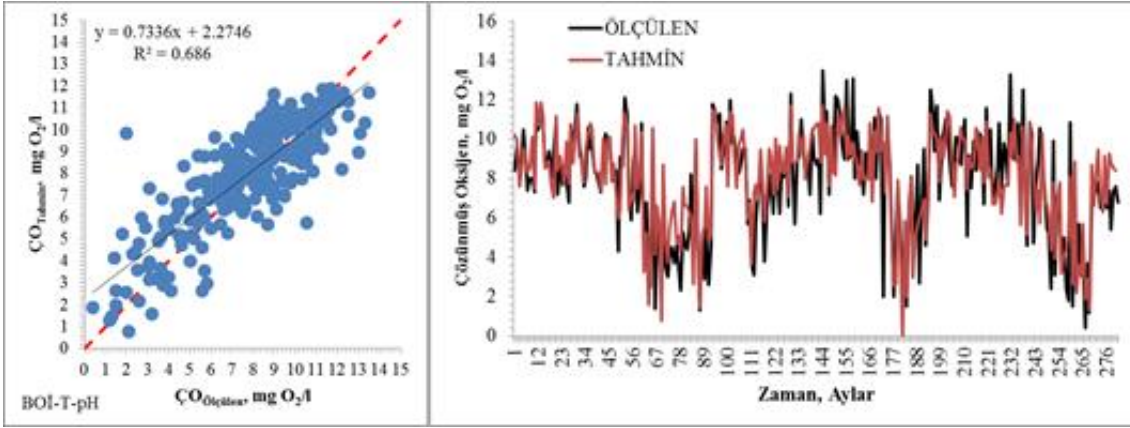
	Veri Grubu	OKH	OMH	OMBH	NSE	R <sup>2</sup>
BOİ-Aylar	Eğitme	3.30	1.40	35.32	0.672	0.672
	Test	2.87	1.30	23.41	0.613	0.620
BOİ-T	Eğitme	2.91	1.25	24.22	0.608	0.611
	Test	3.64	1.47	38.07	0.639	0.640
BOİ-T-pH	Eğitme	2.92	1.36	35.64	0.710	0.710
	Test	2.40	1.19	22.01	0.677	0.686
BOİ-T-pH-Eİ	Eğitme	2.54	1.25	30.55	0.748	0.748
	Test	2.09	1.10	20.03	0.719	0.722



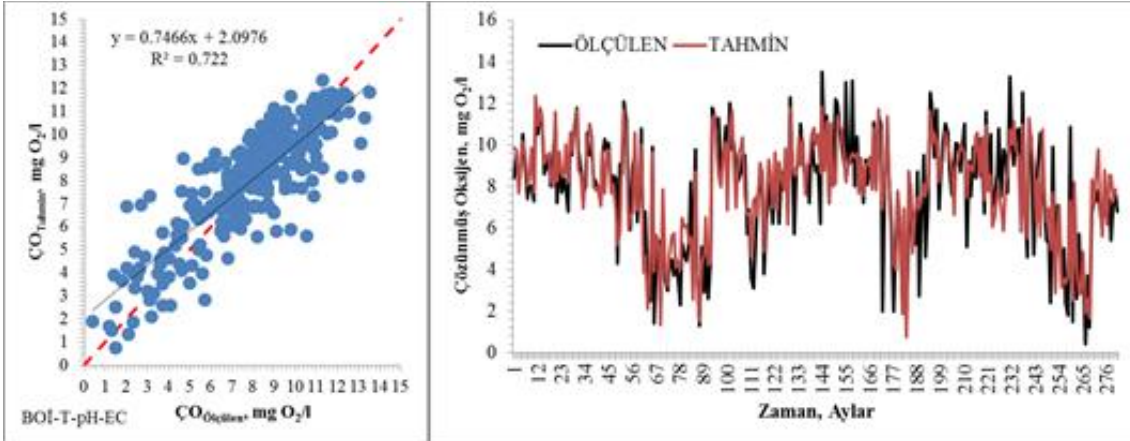
Şekil 3. Tahmin ve ölçülen ÇO değerlerinin BOİ-Aylar değişkenlere ait ÇKYSA test verilerine ait model sonuçları



Şekil 4. Tahmin ve ölçülen ÇO değerlerinin BOİ-T değişkenlere ait ÇKYSA test verilerine ait model sonuçları



Şekil 5. Tahmin ve ölçülen ÇO değerlerinin BOİ-T-pH değişkenlere ait ÇKYSA test verilerine ait model sonuçları



Şekil 6. Tahmin ve ölçülen ÇO değerlerinin BOİ-T-pH-Eİ değişkenlere ait ÇKYSA test verilerine ait model sonuçları

Şekil 3-6'ya göre tahmin ve ölçülen ÇO değerlerinin farklı değişkenlere ait ÇKYSA test verilerine ait model sonuçları yer almaktadır. Şekil 3,4,5'e kıyasla Şekil 6'da tahmin ve ölçülen çözülmüş oksijen değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal bir eğriye yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuçlar 4 girişli BOİ-T-pH-Eİ ÇKYSA modelinin diğer modellere göre tahmin değerlerinin daha başarılı olduğunu göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Su kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkemizde su yönetim sürecinin daha doğru politikalar geliştirilerek sürdürülmesi gerekmektedir. Su kalitesi bu sürecin önemli bir basamağıdır.

Gözlem istasyonlarından alınan su kalitesi verilerinin tahmin çalışmalarında önemli başarıları olan yapay sinir ağları kullanılarak modellemenin yapılması önemli faydalar sağlayacaktır. Bu çalışmada Sakarya havzasına ait 1995-2014 yılları arasındaki su kalitesi parametrelerinden çözülmüş oksijen değeri ÇKYSA ile tahmin edilmiştir. 1'den 4 girişe kadar farklı modeller geliştirilmiş olup modellerin tahmin başarısını ölçmek için KOKH, OMH, OMBH ve NSE ölçütleri kullanılmıştır. BOİ değişkenine bağlı 1 girişli modelde R<sup>2</sup> değeri 0.49 ile diğerlerinden daha doğru sonuç vermiştir. Bağımsız değişken sayısının artırılması ile 2 ve 3 girişli modellerde determinasyon katsayısının iyileşmesi sağlanmıştır. ÇKYSA modelleri ile yapılan analizlerde performans kriterlerinin tamamında en iyi



sonuçların BOİ-T-pH-Eİ modelinden alındığı görülmüştür. Klasik performans değerlendirme kriterlerinden farklı olarak Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı değeri 0.719 ile 0.7-0.9 aralığında kalarak yüksek tahmin başarısını temsil etmektedir. Bu çalışmada su kalitesi için önemli parametrelerden birisi olan çözünmüş oksijen değerinin diğer su kalitesi parametreleri ile tahmininde ÇKYSA modellerinden yararlanılabileceği ortaya konulmuştur. Farklı kombinasyonlar denenerek model performansları karşılaştırılmıştır.

## Kaynakça

- Adamowski, J. F. ve Karapataki, C. (2012). Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecastin: evaluation of different ann learning algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17 (7), 834-836.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000472](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000472)
- Aküzüm, T., Çakmak, B. ve Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1), 67-74.  
<http://ijans.org/index.php/ijans/article/view/86>
- Citakoglu, H. (2017). Comparison of artificial intelligence techniques for prediction of soil temperatures in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 545-556.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-016-1914-7>
- Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü. (2021, 17 Ocak). Erişim adresi <https://www.dsi.gov.tr>
- Güler, Ç. (1997). Su kalitesi. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:43*, Ankara.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık, Ankara.
- Schwarzenbach, R. P., Egli, T., Hofstetter, T. B., Gunten, U. v. ve Wehrli, B. (2010). Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 109-136.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- Sengorur, B., Dogan, E., Koklu, R. ve Samandar, A. (2005). Dissolved oxygen estimation using artificial neural network for water quality control. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 1 (2), 13-16. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/en/pub/else/issue/29326/313793>
- Singh, K. P., Basant, A., Malik, A. ve Jain, G. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. *Ecological Modelling*, 220 (6), 888-895.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.004>
- Tunç Dede, Ö. ve Sezer, M. (2017). Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (3), 909-917.  
<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.337643>
- Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP) Yayınları (2011). *Suların Analiz Parametreleri, Çevre Sağlığı*, Ankara.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü (2013). *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Sakarya Havzası, Proje Nihai Raporu*, Kocaeli. Erişim adresi: [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Sakarya\\_web.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Sakarya_web.pdf)
- Yavuz, S., ve Devenci, M. (2012). İstatistiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40, 167-187.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesiibd/issue/5897/78019>
- Yaykiran, S. (2016). Sakarya Havzası’nın yüksek çözünürlüklü hidrolojik modelinin yapılandırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi <http://hdl.handle.net/11527/13074>
- Yılmaz, B. (2015). Akarçay havzasında çözünmüş oksijen değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi. Uzmanlık Tezi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim adresi [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZLER/BekirYilmazTez%20\(2\).pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZLER/BekirYilmazTez%20(2).pdf)
- Zheng, L., Chen, C. ve Zhang, F. Y. (2004). Development of water quality model in the Satilla River Estuary, Georgia. *Ecological Modelling*, 178 (3), 457-482.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.016>



# Mekânsal Verilerin Sıklıkla Güncellendiği Coğrafi Bilgi Sistemleri Arama İşleminde Denormalizasyon Yöntemi

Murat Taşyürek<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5623-8577), [murattasyurek@kayseri.edu.tr](mailto:murattasyurek@kayseri.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899302)

**ATIF/REFERENCE:** Taşyürek, M. (2021). Mekânsal Verilerin Sıklıkla Güncellendiği Coğrafi Bilgi Sistemleri Arama İşleminde Denormalizasyon Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 18-23.

## Öz

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilaveten nesnelere konumlarını mekânsal veri formatında toplama, saklama, düzenleme, görüntüleme, kontrol ve analiz etme gibi işlemlerin sunulduğu karar destek sistemidir. CBS, farklı disiplinleri ilgilendirmesinden dolayı ve özellikle bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile web ve mobil platformlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojileri kullanan insanlar aradıkları bilgilere anında ve güncel haline ulaşmak istemekte ve buna olanak sağlayan CBS uygulamalarını kullanmayı tercih etmektedir. Bu sebepten dolayı mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sistemlerinde arama işlemlerinin hızlıca yapılması ve kullanıcıya güncel bilgilerinin sunulması önem arz etmektedir. CBS sisteminde ise mekânsal veriler nokta, çizgi ve poligon gibi geometri veri tiplerinden oluşur ve genellikle geometri veri tipine göre veritabanında farklı tablolarda tutulduğundan dolayı farklı tablolarda aynı anda arama işlemi zor bir problemdir. Veritabanı tasarımında, ihtiyaç olmayan özellikler ekleyerek veya özellikleri bir araya getirerek veritabanı cevap verme süresini azaltmak için yapılan işlemler denormalizasyon olarak tanımlanır. Bu çalışmada, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sisteminde arama işlemlerinin hızlanması için denormalizasyon tabanlı yeni bir sistem önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen sistemde Oracle veritabanında Kayseri Büyükşehir Belediyesine ait mekânsal veriler kullanılmıştır. Önerilen denormalizasyon tabanlı sistemde, farklı tabloda tutulan ve sıklıkla güncellenen mekânsal veriler arama işlemlerinin hızlı yapılması için genelleştirilmiş bir tabloda tutulmuştur ve veritabanı işlemleri ile bu verilerin güncelliği sağlanmıştır. Önerilen sistem gerçek veriler üzerinde normalizasyon tabanlı arama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen denormalizasyon tabanlı sistemin normalizasyon tabanlı sisteme göre daha hızlı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mekânsal veriler, Coğrafi bilgi sistemi (CBS), Genel arama, Denormalizasyon.

## Denormalization Method in Geographical Information Systems Search Process where Spatial Data is Frequently Updated

### Abstract

Geographic Information Systems (GIS) is a decision support system that allows operations such as collecting, storing, updating, controlling, analyzing and displaying information in spatial data format. GIS is widely used in web and mobile platforms due to its interest in different disciplines and especially due to developments in computer technology. People using these technologies want to access the information they are looking for instantly and up-to-date and prefer to use GIS applications that enable this. For this reason, in GIS systems where spatial data are frequently updated, it is important to perform the searches quickly and to provide up-to-date information to the user. In the GIS system, spatial data consist of geometry data types such as point, line and polygon, and searching in different tables at the same time is a difficult problem since they are usually kept in different tables in the database according to the

\* Sorumlu Yazar: [murattasyurek@kayseri.edu.tr](mailto:murattasyurek@kayseri.edu.tr)

geometry data type. In database design, the operations performed to speed up the reading from the database by adding unnecessary features or combining features are defined as denormalization. In this study, a new denormalization-based system is proposed to accelerate the search processes in the GIS system where spatial data are frequently updated. In the system proposed in this study, spatial data belonging to Kayseri Metropolitan Municipality was used in the Oracle database. In the proposed denormalization-based system, spatial data kept in different tables and frequently updated are kept in a generalized table for fast search operations, and these data are kept up to date with database operations. The proposed system is compared with normalization-based search method on real data. Experimental results show that the proposed denormalization-based system gives faster results than the normalization-based system

**Keywords:** Spatial data, Geographic information system (GIS), General search, Denormalization.

## 1. Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilaveten konumlarını mekânsal veri formatında toplama, saklama, düzenleme, görüntüleme, kontrol ve analiz etme gibi işlemlerin sunulduğu karar destek sistemidir (Tecim, 2008, Taşyürek ve ark., 2020). CBS, farklı disiplinleri ilgilendirmesinden dolayı ve özellikle bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile web ve mobil platformlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kanlı ve ark., 2018; Taşyürek ve ark., 2021). Bu teknolojileri kullanan insanlar aradıkları bilgilere anında ve güncel haline ulaşmak istemekte ve buna olanak sağlayan CBS uygulamalarını kullanmayı tercih etmektedir (Ahmet ve ark., 2019). Bu sebepten dolayı mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sistemlerinde arama işlemlerinin hızlıca yapılması ve kullanıcıya güncel bilgilerinin sunulması önem arz etmektedir. CBS sisteminde ise mekânsal veriler nokta, çizgi ve poligon gibi geometri veri tiplerinden oluşur (Shekhar ve ark., 1999) ve genellikle geometri veri tipine göre veritabanında farklı tablolarda tutulduğundan dolayı farklı tablolarda aynı anda arama işlemi zor bir problemdir.

Veritabanı tasarımında genellikle ilişkisel veritabanı teorisi olarak adlandırılan normalizasyon işlemi kullanılır (Powell ve ark., 2006). Normalizasyon, çok fazla sayıda satır ve sütun içeren bir tabloyu tekrar eden kayıtları elimine ederek daha az satır ve sütun içeren alt tablolar oluşturma işlemidir. Fakat veritabanındaki tablo sayısı arttıkça ve bunun sonucunda kayıt sayısı arttıkça verinin içinde arama işleminin süresi uzayacaktır. Veritabanında arama işlemini hızlandırmak için arama yapılan sütunlara indeks oluşturmak arama işleminin süresini kısaltacaktır (Beeri ve ark., 1989) fakat veriler farklı tablolarda tutulduğundan dolayı veritabanında farklı tablolarda aynı anda arama işlemi ancak görünüm (view) yapısı üzerinden olabilir ve oracle veritabanı görünüm yapısına indeks oluşturulmasına izin vermemektedir (Bello ve ark., 1998). Veritabanı tasarımında, ihtiyaç olmayan özellikler ekleyerek veya özellikleri bir araya getirerek veritabanı cevap verme süresini azaltmak için yapılan işlemler denormalizasyon olarak tanımlanır (Uzun ve ark., 2018). Literatürde klasik veritabanlarında denormalizasyon yöntemleri ile arama işlem süresinin kısaltılması konusunda yapılan çalışmalarda bulunmaktadır (Uzun ve ark., 2018; Karnitis ve ark., 2015). Bu çalışmada, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sisteminde arama işlemlerinin hızlanması için denormalizasyon tabanlı yeni bir sistem önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen sistemde Oracle veritabanında gerçek veri olarak Kayseri Büyükşehir Belediyesine (KBB) ait mekânsal veriler kullanılmıştır.

Bu çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde denormalizasyon modeli tanıtılmış, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sisteminde denormalizasyon yöntemi ile

arama işlemi sunulmuş ve daha sonra sonuçlar bölümünde ise yapılan deney sonuçları ve uygulama paylaşılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada denormalizasyon işlemi verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sistemlerinde arama işlemlerinin hızlandırılması için kullanılmıştır. Bu nedenle öncelikle denormalizasyon işlemi tanıtılacak ve daha sonra ise mekânsal veritabanı tablolarında hızlandırma işlemleri tartışılacaktır.

### 2.1. Veritabanlarında Denormalizasyon

Denormalizasyon, bir veya daha fazla tabloya fazladan veri eklediğimiz bir veritabanı optimizasyon tekniğidir (Shankar ve ark., 2018). Veritabanı tasarımında, normalizasyon işleminde ihtiyaç duyulmayan özellikler ekleyerek veya özellikleri bir araya getirerek veritabanından okuma işlemini hızlandırma olarak da tanımlanır. Uzun vd. (Uzun ve ark., 2018) üniversite anket uygulamasının performansını artırmak için denormalizasyon işlemi uygulamış ve normalizasyon işlemine göre performans artışını göstermiştir. Pogodaev vd. (Pogodaev ve ark., 2020) denormalizasyon yapılmış veritabanlarından sorgu performansını artırmak için materyalleştirilmiş görünüm (view) tabanlı bir yöntem önermiştir. Cavique vd. (Cavique ve ark., 2019) çoklu erişim yolu sorununun neden olduğu anlamsal ve bağlantı hatalarını gidermek için ilişkisel veritabanlarında denormalizasyon kuralı oluşturma üzerine bir çalışma yapmıştır.

Denormalizasyon işlemi “önce normalize işlemi uygula, eğer performans problemi var ise denormalize işlemi uygula” felsefesi üzerine kuruludur (Shankar ve ark., 2018). Sıklıkla kullanılan denormalizasyon işlemleri, birden fazla tablodan veri çekilmesi durumunda join işlemleri ile bu tablolardan bir üst tablo oluşturulması (Cavique ve ark., 2019), SQL grup fonksiyonlarının sorguyu yavaşlatması durumunda yeni bir sütun açılarak bu değerlerin önceden hesaplanıp sütuna yazılması ve birden fazla satır veya sütunun birleştirip tek bir sütun haline getirilmesi olarak sıralanabilir (Date ve ark., 2019). Denormalizasyon işleminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Zhang ve ark., 2018):

- Daha az birleştirme (join) işlemi yapıldığı için verilerin okunması daha hızlıdır.
- Daha az tabloya sorgu çekildiğinden yazılacak sorgu cümleleri daha basittir.

Denormalizasyon işlemi veri okumayı hızlarsa da bu işlemin dezavantajı vardır ve veritabanında sıkıntılara yol açabilir. Denormalizasyon işleminin dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Hay ve ark., 2020):

- Güncelleme işlemi ve ekleme işlemi daha zordur.
- Denormalizasyon işlemi güncellemeyi ve kod yazmayı zorlaştırır.

- Birden fazla veri oluşacağından dolayı veri tutarsızlığı oluşabilir.
- Veri boyutu büyüdükçe daha fazla depolama alanı ihtiyacı artacaktır.

Bu çalışmada, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sisteminde arama işlemini hızlandırmak için denormalizasyon tabanlı materyalleştirilmiş görünüm yapısı oluşturulacaktır.

### 3. Problem ve Çözümler

Problem, KBB tarafından coğrafi bilgi sistemine ait mekânsal verilerinin kent bilgi sistemi web sitesinde yayınlanması ve web sitesi gene arama işleminde ortaya çıkmıştır. İlk olarak uygulamada, klasik veritabanı tasarım süreçlerinden olan normalizasyon işlemi uygulanmış ve genel arama problemine çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Ancak, geliştirme aşamasında normalizasyon tabanlı sistemin arama işlemine çok uzun sürede cevap verdiği görülmüştür. Bu noktada, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği coğrafi bilgi sistemlerinde arama işleminin daha hızlı yapılması için denormalizasyon tabanlı materyalleştirilmiş görüntü oluşturma işlemine gidilmiş ve arama süresinin azaltılmasına çalışılmıştır.

#### 3.1. Normalizasyon Tabanlı Çözüm

Yapılan incelemeler sonucunda normalizasyon yapılacak veriler adı, türü, ilçe, mahalle adı, cadde sokak bulvar küme evler (CSBM) adı, konum bilgisi, ulusal adres veritabanı (UAVT) kodu ve dış kapı numarası olarak belirlenmiştir. Kayseri Büyükşehir sınırları içerisinde bulunan ve coğrafi karşılığı olan ilçe sınırı, mahalle sınırı, cadde sokak bulvar küme evler yol bilgisi, bina yapı bilgisi, kapı numarası bilgisi, cami, okul, eczane, hastane ve benzin istasyonları gibi coğrafi olarak karşılığı olan yerlerin CBS sisteminde mekânsal olarak tutulmasını ve değişen verilerin anlık olarak güncellenmesini planlamaktadır. Oracle veritabanında mekânsal indekslerin daha hızlı ve verimli olması için mekânsal sütunlarda tek bir veri tipinin (nokta, çizgi veya poligon) tutulması tavsiye edilir (Li, 2010). Bu nedenle mekânsal veriler geometri veri tipine göre ayrıldığında ve normalizasyon işlemi sonrasında aşağıdaki şekilde tablolar oluşmuştur.

- **Ilce** (IlceNo, Adi, Geometri, UavtKod)
- **Mahalle** (MahalleNo, IlceNo, Adi, Geometri, UavtKod)
- **CSBM** (CsbnNo, IlceNo, MahalleNo, Adi, Turu,

Geometri, UavtKod)

- **Bina** (BinaNo, IlceNo, MahalleNo, CsbnNo, Adi, Turu, Geometri, UavtKod)
- **DisKapiNumarasi** (DisKapiNo, BinaNo, IlceNo, MahalleNo, CsbnNo, Adi, Turu, Geometri, UavtKod)
- **OnemliNoktalar** (NoktaNo, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, BinaNo, DisKapiNo, Adi, Turu, Geometri, UavtKod)

Yukarıda tablo isimleri kalın renkli, birincil anahtar altı çizili, ikincil anahtarlar ise italik olarak gösterilmiştir. Adres alt yapısı ilçe, mahalle, CSBM, bina ve kapı olarak oluşur. İlçe sınırları poligon şeklindedir ve “Ilce” tablosunda tutulmuştur. Mahalle sınırları poligon şeklindedir ve “Mahalle” tablosunda tutulmuştur. CSBM çizgi şeklindedir ve “CSBM” tablosunda tutulmuştur. Bina verileri poligon şeklindedir ve “Bina” tablosunda tutulmuştur. Dış kapı numarası nokta şeklindedir ve “DisKapiNumarasi” tablosunda tutulur. Fakat bina içerisinde olan fakat kendi başına bir bina olmayan ve önemli noktalar olarak adlandırılan (Sheha ve ark., 2006) eczane gibi önem teşkil eden konumlar OnemliNoktalar tablosunda tutulmuştur. Yapılan bu işlem ile veriler geometrik veri tipine göre farklı tablolarda tutulduğundan dolayı mekânsal indeksler oluşturulabilir ve doğal olarak mekânsal analizler hızlı bir şekilde yapılabilir. CBS programları genellikle mekânsal indeksleri kullandığından dolayı dünya genelinde yaygın olarak kullanılan ArcGIS, Geomedia ve CitySurf gibi programlar ile veri ekleme, düzenleme veya silme işlemleri hızlıca yapılacaktır.

CSB sistemini kullanan herhangi bir kullanıcı sistemde bir arama işlemi yapacağı zaman aradığı noktanın ilçe, mahalle, csbn, bina, kapı numarası veya önemli nokta olup olmadığını bilemez. Arama işleminin bütün kayıtlarda arama yapması için normalizasyon işlemleri kapsamında bütün tabloları tek bir görünümde (view) bir araya getiren bir yapı oluşturulabilir. Bütün tablolar hepsini birleştirme (union all) komutu sayesinde birleştirildiğinde oluşacak yapı Şekil 1’de gösterilmiştir. Normalizasyon işlemi sayesinde oluşan bu görünümde tek bir sorguda bütün arama işleminin yapılması mümkündür fakat hepsini birleştirme komutu yavaş çalıştığından dolayı veri boyutu arttıkça performans kaybı da artacaktır.

#### 3.2 Denormalizasyon Tabanlı Çözüm

Oracle veritabanı yapısı klasik görünüm (view) üzerinde indeks oluşturulmasına izin vermez. Normalizasyon işlemi

```
CREATE OR REPLACE FORCE VIEW KBB_ALL (SiraNo, KayitNo, Adi, Geometri, Turu, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, BinaNo, DisKapiNo, UavtKod)
AS SELECT ROWNUM SiraNo, S.KayitNo, S.Adi, S.Geometri, S.Turu, S.IlceNo, S.MahalleNo, S.CSBMNo, S.BinaNo, S.DisKapiNo, S.UavtKod FROM
(SELECT IlceNo KayitNo, Adi, Geometri, 'İlçe' Turu, IlceNo, NULL MahalleNo, NULL CSBMNo, NULL BinaNo, NULL DisKapiNo, UavtKod FROM Ilce
UNION ALL
SELECT MahalleNo KayitNo, Adi, Geometri, 'Mahalle' Turu, IlceNo, MahalleNo, NULL CSBMNo, NULL BinaNo, NULL DisKapiNo, UavtKod FROM Mahalle
UNION ALL
SELECT CSBMNo KayitNo, Adi, Geometri, Turu, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, NULL BinaNo, NULL DisKapiNo, UavtKod FROM CSBM
UNION ALL
SELECT BinaNo KayitNo, Adi, Geometri, Turu, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, BinaNo, NULL DisKapiNo, UavtKod FROM Bina
UNION ALL
SELECT DisKapiNo KayitNo, Adi, Geometri, Turu, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, BinaNo, DisKapiNo, UavtKod FROM DisKapiNumarasi
UNION ALL SELECT NoktaNo KayitNo, Adi, Geometri, Turu, IlceNo, MahalleNo, CSBMNo, BinaNo, DisKapiNo, UavtKod FROM OnemliNoktalar
) S
```

Şekil 1 Bütün Tabloları Birleştirme Görünümü

kapsamında arama işlemini tek sorguda yapmak için oluşturulan görünüme indeks oluşturulmadığından dolayı arama işlemi yavaş çalışacaktır. Denormalizasyon işlemi “önce normalize işlemi uygulama, eğer performans problemi var ise denormalize işlemi uygula” felsefesi üzerine kuruludur (Shankar ve ark., 2018). Arama işlemi için normalizasyon işlemi yapıldığından dolayı denormalizasyon işlemi yapılabilir. Denormalizasyon, veritabanı tasarımında ihtiyaç duyulmayan özellikleri ekleyerek veya özellikleri bir araya getirerek veritabanı cevap verme süresini azaltmak için yapılan işlemler olarak tanımlanır. Denormalizasyon işlemleri kapsamında arama işlemini hızlandırmak için “KBB\_ALL” görünümünden materyalleştirilmiş bir görünüm oluşturulacaktır. Oracle veritabanı yapısında materyalleştirilmiş görünüm, bir sorgunun sonuçlarını içeren veritabanı nesnesi, tabla veya görünümdeki verilerin kopyasıdır veya özetidir (Yu ve ark., 2011). Şekil 2’de KBB için oluşturulan materyalleştirilmiş görünümün SQL kodu verilmiştir.

```
CREATE MATERIALIZED VIEW MV_KBB_ALL
REFRESH FAST START WITH SYSDATE
NEXT SYSDATE + 1/24
AS SELECT * FROM KBB_ALL;
```

Şekil 2 Materyalleştirilmiş Görünüm

Şekil 2’de gösterilen “MV\_KBB\_ALL” görünümüne veri ekleme, güncelleme veya silme işlemi için ihtiyaç yoktur fakat oracle veritabanı klasik görünüme indeks oluşturulmasına izin vermediğinden dolayı arama işleminin hızlı yapılması için ihtiyaç vardır. Oluşturulan bu görünümün geometrik sütunu hariç diğer sütunlarına indeks oluşturulmuştur. KBB coğrafi bilgi sistemlerinde mekânsal veriler sıklıkla güncellenmektedir ve kullanıcılar arama işleminin hızlı olması kadar aradığı verilerin güncel olmasına dikkat etmektedir ve bu nedenle Şekil 2’de oluşturulan görünüm saatte bir (1/24) güncellenmektedir. CBS sisteminde bir güncelleme olduğu durumda en geç bir saat içerisinde verinin güncel hali arama işleminin yansımaktadır. Burada materyalleştirilmiş görünümün yenileme sıklığı değiştirilebilir fakat aşırı sık yenileme veritabanını yoracaktır ve daha az yenileme işleminde ise kullanıcılar güncel verilere

erişemeyecektir. KBB ile yapılan değerlendirmeler sonucunda ideal sürenin bir saat olduğuna karar verilmiştir.

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada KBB’den alınan gerçek nesnelerin konumsal verileri kullanılmıştır. Tablo 1’de KBB’ye ait verilerin özet bilgisi gösterilmiştir. Tablo 1’de KBB’ye ait 16 adet ilçe bulunmaktadır ve bu ilçe sınırları içerisinde mekânsal olarak karşılığı olan mahalle, csbm, bina, dış kapı numarası ve önemli noktalar deneysel çalışmada kullanılmıştır.

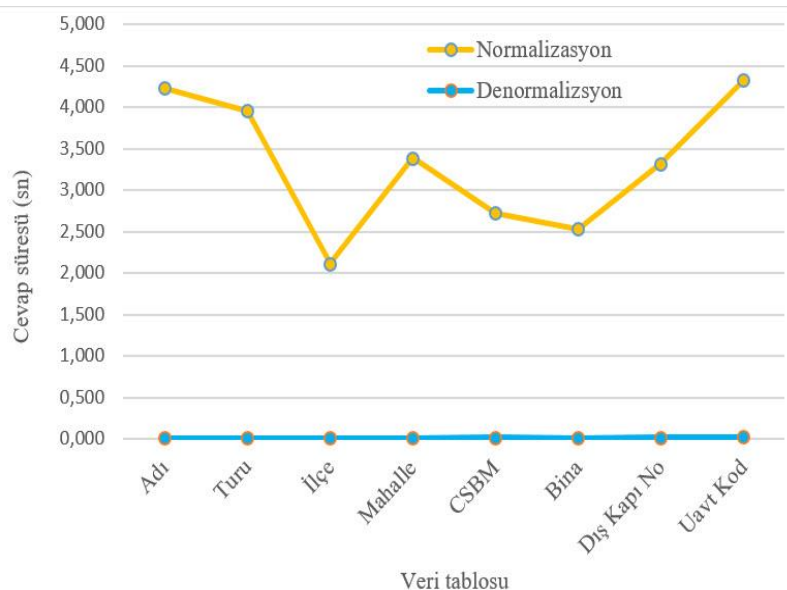
Tablo 1. KBB Mekânsal Veriler

Tablo Adı	Geometrik Veri Tipi	Kayıt Sayısı
İlçe	Poligon	16
Mahalle	Poligon	714
CSBM	Çizgi	26.543
Bina	Poligon	256.681
DisKapiNumarasi	Nokta	282.748
OnemliNoktalar	Nokta	7.577
KBB_ALL	-	574.279
MV_KBB_ALL	-	574.279

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler Intel Xenon E5-2660 V3 2.30 GHz (4 Core) 16 GB Ram 500 GB Sata disk özelliklerine sahip ve Windows Server 2016 sunucu işletim sistemi kurulu olan bir bilgisayar ortamında çalıştırılmıştır.

### 4.1. Deneysel Sonuçlar

Normalizasyon ve denormalizasyon tabanlı çözümlerinin sonuçları karşılaştırmak için çalıştırılan sorguların cevap verme süreleri incelenmiştir. Sorguların cevap verme süreleri saniye cinsinden incelenmiş olup, sorgu sonucunun doğru süreyi hesaplaması için her bir sorgu 20 defa çalıştırılıp ortalama cevap verme süresi alınmıştır.



Şekil 3 Yöntemlerin Cevap Verme Süreleri

KBB\_ALL ve MV\_KBB\_ALL görünümünde bulunan her bir alan için sorgular ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Normalizasyon tabanlı yaklaşım KBB\_ALL görünümü kullandığından dolayı ve bu görünümde indeks eklenemediğinden dolayı cevap verme süresi daha uzun çıkmıştır. Normalizasyon ve denormalizasyon tabanlı yöntemlerin cevap verme süreleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

Denormalizasyon tabanlı yaklaşım MV\_KBB\_ALL görünümünü kullanmıştır ve görünümde bulunan sütunlara indeks eklenebildiğinden dolayı sorguların cevap süreleri çok düşük çıkmıştır. Normalizasyon ve denormalizasyon tabanlı yaklaşımların cevap verme sürelerini daha iyi incelemek için cevap verme sürelerinin saniye türünden rakamsal değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de her iki yöntemin cevap verme süreleri incelendiğinde denormalizasyon tabanlı yaklaşımın normalizasyon tabanlı yaklaşıma göre en az 180 kat daha hızlı çalıştığı görülmektedir.

Tablo 2. Yöntemlerin Cevap Verme Süreleri

Sütün	Normalizasyon	Denormalizasyon
Adı	4,232	0,014
Turu	3,954	0,013
İlçe	2,112	0,009
Mahalle	3,387	0,012
CSBM	2,726	0,015
Bina	2,532	0,014
Dış Kapı No	3,321	0,016
Uavt Kod	4,327	0,023

## 4.2. Kent Bilgi Sistemi Uygulaması

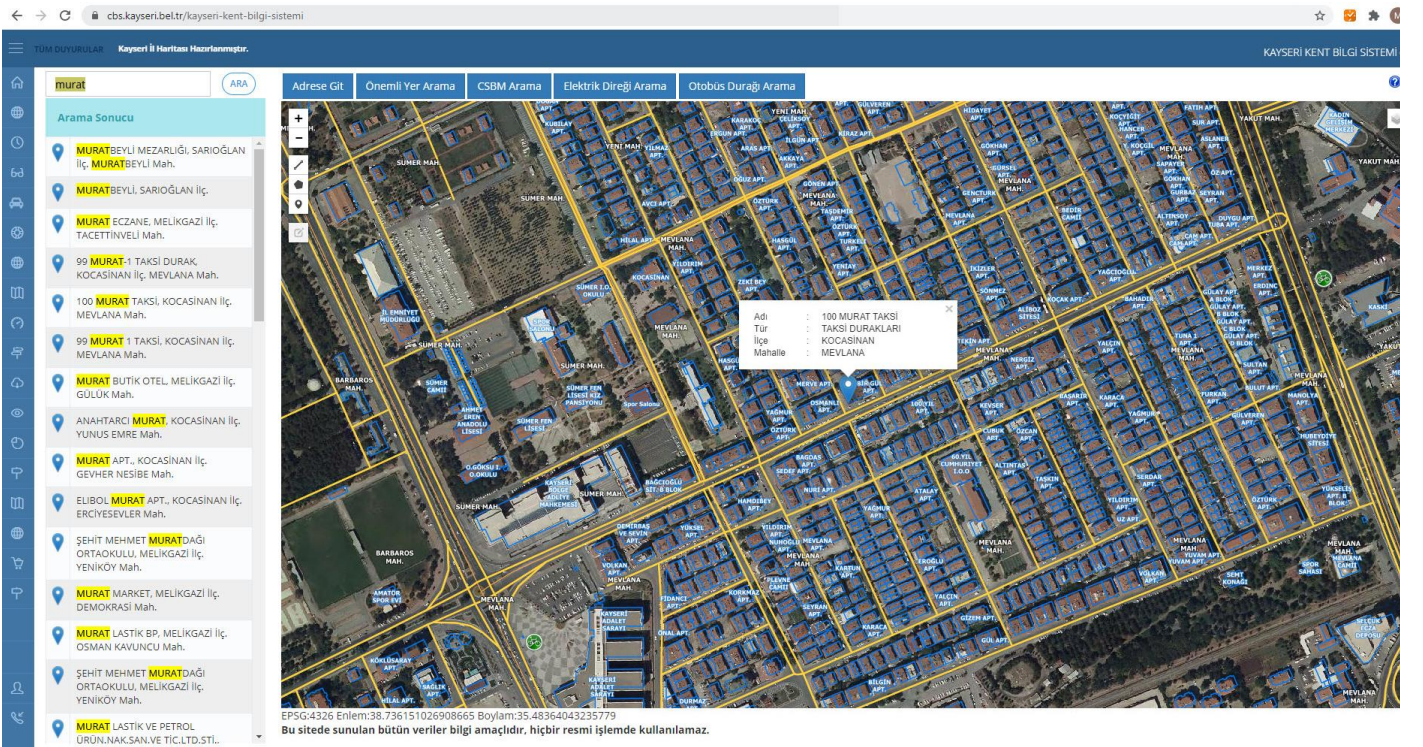
Önerilen denormalizasyon tabanlı yaklaşım KBB'nin kent bilgi sistemi sayfasında kullanılmaktadır. Kent bilgi sistemi sayfasına <https://cbs.kayseri.bel.tr/kayseri-kent-bilgi-sistemi> adresinden erişilmektedir. Açılan sayfada çalışan arama kutucuğuna aranacak kelime yazıldığında arkama planda önerilen denormalizasyon tabanlı yaklaşım çalışmaktadır. Önerilen yöntem çok hızlı bir sürede arama işinin sonucunu ekrana getirmekte ve kullanıcılar ekranda görmüş olduğu mekânsal veriye tıklayarak harita üzerindeki karşılığını görebilmektedir. KBB tarafından aktif olarak kullanılan denormalizasyon tabanlı uygulamanın ekran görüntüsü Şekil 4'te gösterilmiştir.

## 5. Sonuç

CBS sistemi birçok farklı disiplini ilgilendirdiğinden dolayı ve gelişen teknolojilerden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sistemlerine aranan bilgiye hızlı bir şekilde ve güncel haline erişilmesi çok önem arz etmektedir. Bu çalışmada, mekânsal verilerin sıklıkla güncellendiği CBS sistemlerinde genel arama işleminin hızlı bir şekilde yapılması için denormalizasyon tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yöntemin sonuçları normalizasyon tabanlı yöntemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen yaklaşımın normalizasyon tabanlı yaklaşıma göre çok daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan gerçek nesnelere ait sık güncellenen mekânsal verileri paylaştığı için Kayseri Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederiz.



Şekil 4 KBB Kent Bilgi Sistemi

## Kaynakça

- Ahmet, U., Özmen, H. B., & Uyguçgil, H. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri Ağ Analizinde Anlık Dinamik Sorgulama Simülasyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 743-749.
- Beeri, C., Bernstein, P. A., & Goodman, N. (1989). A sophisticate's introduction to database normalization theory. In *Readings in Artificial Intelligence and Databases* (pp. 468-479). Morgan Kaufmann.
- Bello, R. G., Dias, K., Downing, A., Feenan, J., Finnerty, J., Norcott, W. D., & Ziauddin, M. (1998, August). Materialized views in Oracle. In *VLDB* (Vol. 98, pp. 24-27).
- Cavique, L., Cavique, M., & Gonçalves, A. (2019, April). Extraction of fact tables from a relational database: an effort to establish rules in denormalization. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 936-945). Springer, Cham.
- Date, C. J. (2019). Denormalization. In *Database Design and Relational Theory* (pp. 161-182). Apress, Berkeley, CA.
- Hay, M., Zhou, Y., Chen, Y., Friedman, M. A., & Sahib, S. K. (2020). U.S. Patent Application No. 16/411,107.
- Kanlı, İ. B., & Kaplan, B. (2018). Kentsel Güvenliğin Sürdürülebilirliğinde İleri Teknolojilerin Kullanılması: Coğrafi Bilgi Sistemleri. *TESAM Akademi*, 143-186.
- Karnitis, G., & Arnicans, G. (2015, June). Migration of relational database to document-oriented database: Structure denormalization and data transformation. In *2015 7th International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks* (pp. 113-118). IEEE.
- Li, G. (2010, December). Research of key technologies on encrypting vector spatial data in oracle spatial. In *2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science* (pp. 1-4). IEEE.
- Pogodaev, A., & Ryzhkova, D. (2020, November). Developing Method to Optimize Queries in Denormalized Databases. In *2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)* (pp. 687-691). IEEE.
- Powell, G. (2006). *Beginning database design*. John Wiley & Sons.
- Shankar, K. R., & Nagarajan, G. (2018). Automatic Denormalization of Databases.
- Shekhar, S., Chawla, S., Ravada, S., Fetterer, A., Liu, X., & Lu, C. T. (1999). Spatial databases-accomplishments and research needs. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 11(1), 45-55.
- Sheha, M. A., Sheha, A., & Petilli, S. (2006). U.S. Patent No. 7,082,365. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Tasyurek, M., & Celik, M. (2020). RNN-GWR: A geographically weighted regression approach for frequently updated data. *Neurocomputing*, 399, 258-270.
- Taşyürek, M., & Çelik, M. (2021). FastGTWR: Hızlı coğrafi ve zamansal ağırlıklı regresyon yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 715-726. DOI: 10.17341/gazimmfd.757131
- Tecim, V. (2008). Coğrafi bilgi sistemleri: Harita tabanlı bilgi yönetimi. *Vahap Tecim*.
- Uzun, E., Buluş, H. & Erdoğan, C. (2018). Veritabanı Tasarımının Yazılım Performansına Etkisi: Normalizasyona karşı Denormalizasyon. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 887-895.
- Yu, T. F., Raitto, J., Panchapagesan, B., Lawande, S., & Bello, R. G. (2011). U.S. Patent No. 7,930,297. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Zhang, Y., Wang, S., & Lu, J. (2018). Fusion OLAP: Fusing the Pros of MOLAP and ROLAP Together for In-memory OLAP. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 31(9), 1722-1735.



# Farklı Çaplardaki Zıvanaların Kurşun İle Sabitlenmesinin Kayma Dayanımına Etkisi

Tülin Çelik<sup>1\*</sup>, Şükran Tanrıverdi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8638-9579), [tulinsandikci@gmail.com](mailto:tulinsandikci@gmail.com)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9751-5788), [sukran\\_tugrueleci@hotmail.com](mailto:sukran_tugrueleci@hotmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.897808)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, T. & Tanrıverdi, Ş. (2021). Farklı Çaplardaki Zıvanaların Kurşun İle Sabitlenmesinin Kayma Dayanımına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 24-29.

## Öz

Yapıldıkları dönemin ekonomik, sosyal ve kültürel özelliklerini yansıtan geçmişten günümüze kadar ulaşan yapılara yığma yapılar denir. Bu yapılar doğal afetler, doğa olayları, zeminden kaynaklı problemler ve insan etkileri gibi sebeplerden dolayı hasara uğramaktadır. Hasara uğrayan bazı yığma yapılar yıkılıp yeniden yapılırken, bazıları ise onarım ve güçlendirme gibi restorasyon çalışmaları ile ayakta tutulmaktadır. Bu yapılarda düşey doğrultudaki taşları birbirine bağlamada zıvana demirleri kullanılmıştır. Bu zıvana demirleri taş bloklar üzerine açılan yuvalara yerleştirildikten sonra kurşun ile sabitlenmiştir. Bu çalışmada farklı çaptaki zıvanaların kurşun ile sabitlenmesinin taş bloklar üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 15 adet numune üzerinde kayma dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda günümüzde özellikle onarım ve güçlendirmede kullanılan zıvana demirlerinin kurşun ile sabitlenmesinin önemi ve zıvana demirlerinin çaplarının nasıl olması gerektiği konusunda önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Zıvanalar, Kurşun, Geleneksel yapılar.

## The Effect on the Shear Strength of Dowels of Different Diameters Fixed with Lead

### Abstract

The structures that reflect the economic, social and cultural characteristics of the period they were built from the past to the present are called masonry structures. These structures are damaged due to reasons such as natural disasters, natural events, soil-based problems and human effects. While some damaged masonry structures are demolished and rebuilt, some are kept alive by restoration works such as repair and strengthening. Dowel irons were used to connect the vertical stones to each other in these structures. These dowel irons were placed in the holes opened on the stone blocks and then fixed with lead. In this study, shear strength tests were carried out on 15 samples in order to investigate the effects of lead fixation of dowels of different diameters on stone blocks. The experimental results have been compared with each other. In line with the results, suggestions were made on the importance of fixing the dowel irons with lead, especially used in repair and strengthening, and how the diameters of the dowel irons should be.

**Keywords:** Dowels, Lead, Masonry structures.

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



## 1. Giriş

Yığma yapılar, toplumun yaşam biçimlerini ve kültürlerini, yaşadıkları bölgelere yansıtmak için inşa ettikleri, kendilerine özgü yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılar, toplum düzeyinde kabul edilen, korunup gelecek nesillere aktarılması gereken ve kültürel öğeleri yansıtan yapılardır. Yığma yapılar biçimsel ve işlevsel olarak esinlenen bir yapı kültürü olması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle yığma yapıların zaman içerisinde meydana gelen çevresel ve insan etkilerinden kaynaklanan hasarlara karşı korunması gerekmektedir. Yapılarda oluşan hasarların giderilmesi için yapılacak olan onarım ve güçlendirme çalışmalarında, aslına uygun malzeme kullanımı ve yapıya müdahalenin en az seviyede tutulması oldukça önemlidir. Bu yapılarda en yaygın olan onarım ve güçlendirme çalışmalarından biride zıvana uygulamasıdır.

Zıvanalar, üst üste gelen taş blokları birbirine bağlayarak yapıya gelen yatay kuvvetlere karşı taş blokların hareketini engelleyen metal bağlantı elemanlarıdır. Taş blokları birbirine sabitlemek için kullanılan zıvana, alttaki ve üstteki taş bloklara açılan oyuklara yerleştirilir ve zıvananın çevresine kurşun dökülerek sabitlenir. Zıvanaların sabitlenmesi için dökülen kurşun malzemesi sayesinde, zıvanalar taş bloklardan sıyrılmadan yerinde sabit kalabilmektedir.

MÖ.6. yy Yunan mimarisinde önemli yapılarda demir kelepçe ve kelepçenin üzerine eritilmiş kurşun dökülerek taş blokları birbirine sabitlenmiştir. Ayrıca bu yapılarda taş blokları yerine mihlamak için zıvana çivileri kullanılmıştır. Minos ve Myken uygarlıkları döneminde, yumuşak taşların sürtünmelerden zarar görmemesi için demir zıvana çivileri kullanılmıştır. Zıvana demirin paslanmaması, sürtünmenin önüne geçilmesi ve zıvananın sabit kalması amacıyla etrafı kurşun dökülerek doldurulmuştur (Çördük, 2006). Romalılar ve Grekler de sütun parçalarının ve başlıklarının birbirine bağlanmasında kenet ve demir miller (zıvana) kullanmışlardır. Erken Osmanlı mimarisinde kenet ve saplama (zıvana) şeklindeki kullanımı kısıtlı olmakla beraber, özellikle 16. yüzyıl sonrasında yığma yapılarda kenet ve zıvana önemli bir malzeme konumuna yükselmiştir (Kurugöl ve Küçük, 2015).

Yığma yapılarda en yaygın olarak görülen hasar türü kayma (kesme) kuvvetleri nedeniyle meydana gelen kesme çatlaklarıdır. Bu yapılarda deprem ve zemin etkilerinden kaynaklı oluşan kesme çatlakları yapıda ani göçmelere neden olmaktadır. Literatürde metal bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar ile ilgili çalışmaların oldukça az ve yetersiz olmakla birlikte zıvanaların yığma yapılar üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür.

Nikolić vd. (2019), çalışmasında taş yığma yapıları metal bağlantı elemanı olan dübel ve kenetleri ile güçlendirilmiştir. Taş yığma yapıların davranışlarının sayısal modeli oluşturmak için sonlu ayırık eleman yöntemi ile modellenmiştir. Metal bağlantı elemanları olan kenet ve zıvanaların malzeme ve geometrik modelini geliştirmiş ve sonlu ayırık eleman modeli ile analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre, dinamik davranış incelendiğinde taş yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının tarihi anıtların davranışlarının simülasyonunda uygulanan modelin performansını olumlu yönde etkilemiştir. Tarihi yapıların depreme karşı dayanıklılığını arttırmada metal

bağlantı elemanlarının olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Soti ve Barbosa (2019), deneysel ve sayısal olarak donatısız yığma duvarı ve güçlendirilmiş yığma duvarları modelleyerek çözümlenmiş ve sonuçlarını birbiri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çelik zıvanaların duvarların deformasyon kapasitesini iyileştirmede etkili olduğu görülmüştür. Simonović ve Simonović (2018), yığma duvarları iki farklı yaklaşım olan çelik ızgara ve FRC dübelli betonarme paneller ile güçlendirerek analizleri yapmıştır ve sonuçları birbiri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak güçlendirme için uygulanan sistemlerinin kalitesi üzerindeki en önemli etkinin yığma duvarın yeterli bir şekilde güçlendirilmesi gereken elemanların rijitlik seçimi ile ilgili olduğu görülmüştür. Ural vd. (2015), farklı kenet ve zıvana sistemlerine sahip yığma duvar modelleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre sistemlerin yığma duvarların kesme kapasitesini nasıl etkilediğini inceleyerek bu konu ile ilgili bazı önerilerde bulunmuştur. Demir (2012), çok tabakalı yığma duvarların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Çalışmasında değişken olarak, aksenal gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu ele almıştır. Sonuç olarak, kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemekte ve kullanılan taşın çekme dayanımının nispeten düşük olması nedeniyle kenetlerin etkinliklerinin sınırlandırıldığından bahsetmiştir.

Bu çalışma kapsamında, taş bloklar üzerine farklı çaplardaki zıvanalar kurşun yardımı ile sabitlenmiştir. Farklı çaplara sahip deney numuneleri üzerinde kayma dayanım testleri yapılmıştır. Zıvana demirinde kullanılması gereken optimum çap incelenerek ve kurşunun öneminden bahsedilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yığma Taşların Basınç Dayanımı

Deneysel çalışmada 200x300x600 mm<sup>3</sup> ebatlarında volkanik kökenli tuf taşı kullanılmıştır. Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında volkanik tuf taşı için basınç dayanım testleri ve üç noktada eğilme çekme dayanımı testleri yapılmıştır. Taşın basınç dayanım testi, TS EN 772-1+A1 (2015)'de belirtildiği şekilde 6 adet 50x50x50 mm<sup>3</sup> boyutlarında taş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanım testi sonucunda taşın ortalama basınç dayanımı 4,13 MPa olarak hesaplanmıştır. Taşın basınç dayanımı ( $\sigma$ ), deneyde elde edilen kırılma yükünün (N) uygulanan alana (A) bölünmesiyle elde edilmiştir. Tablo 1'de taşın basınç dayanım sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Taşın basınç dayanım test sonuçları

Numune No	Enkesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (Mpa)
	a	b		
A1	50	50	12650	5,06
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	50	9970	3,98
A5	50	50	11450	4,58
A6	50	50	8450	3,38
			Ortalama	4,13
			Standart Sapma	0,66

Deneyde kullanılan taşın eğilmede çekme dayanımını belirleyebilmek amacıyla TS EN 772-6 (2004) standardı doğrultusunda yaklaşık olarak 40x40x160 mm<sup>3</sup> boyutlarında 6 adet taş üzerinde üç noktada eğilme testleri yapılmıştır. Yapılan test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Taşın ortalama çekme dayanımı 0,71 MPa elde edilmiştir. Taşın eğilmede çekme dayanımı Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$R_{tf} = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

Formülde R<sub>tf</sub>: Eğilmede çekme dayanımı, P: taşın kırılma yükü, L: mesnet silindirlerinin arasındaki uzaklık, b: taşın genişliği, d taşın yüksekliğidir.

Tablo 2. Taşın üç noktada eğilme test sonuçları

Numune No	Kırılma Yükü (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)
A1	490	0,77
A2	490	0,62
A3	560	0,88
A4	500	0,68
A5	450	0,59
A6	570	0,72
Ortalama		0,71

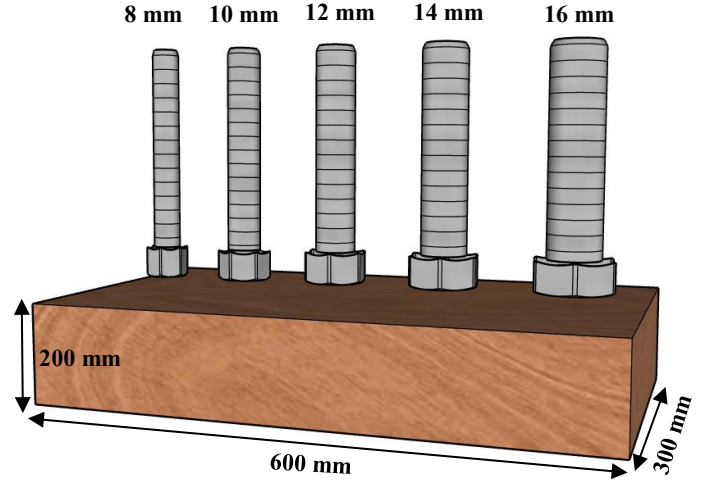
Çalışmada kullanılan farklı çaptaki zıvanaların çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Bu testler TS EN ISO 6892-1 (2020) (Metalik Malzemeler Çekme Deneyi) standardı baz alınarak yapılmıştır. Zıvanaların çekme testleri sonucunda çekme dayanımları 290 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme dayanımı Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$R_m = F_m \quad (2)$$

Denklemden kullanılan R<sub>m</sub>: Zıvanaların çekme dayanımı, F<sub>m</sub> ise deney sırasında akmanın gerçekleşmesi sonucunda zıvananın dayandığı en büyük yüküdür.

## 2.2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada çapları değişken olarak ele alınan (8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm) zıvanaların taş bloklar üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla her bir numuneden 3’er adet toplamda 15 adet numune üzerinde kayma testleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada zıvana demirlerini temsilen sonsuz dişliler kullanılmıştır. Şekil 1’de deneyde kullanılan zıvanaların (sonsuz dişlilerin) çapları ve taş bloğun boyutları verilmiştir.



Şekil 1. Zıvanaların çapları ve taş bloğun boyutları

Çalışmaya başlamadan önce taş bloklar üzerine zıvana çaplarından büyük boşluklar açılmıştır. Bu boşluklara zıvana demirleri yerleştirilip zıvana yuvaları eritilen kurşun malzemesi ile Şekil 2’de gösterildiği gibi doldurularak deney hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Zıvanaların kurşun ile doldurulması

Deney numuneleri Şekil 3’de gösterildiği gibi deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney numunelerinin üzerine hidrolik pompayı yerleştirmek amacıyla dikdörtgen kesitli plakalar yerleştirilmiştir. Bu plakaların üzerine hidrolik pompa ve hidrolik pompanın üzerine de 50 ton kapasiteye sahip yük hücresi konulmuştur. Kayma testinde zıvanalar hidrolik pompa yardımıyla yukarıya doğru çekilmektedir. Deney sırasında elde edilen kayma yükleri, hidrolik pompa üzerine yerleştirilen yük hücreleri aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmasıyla elde edilmiştir.



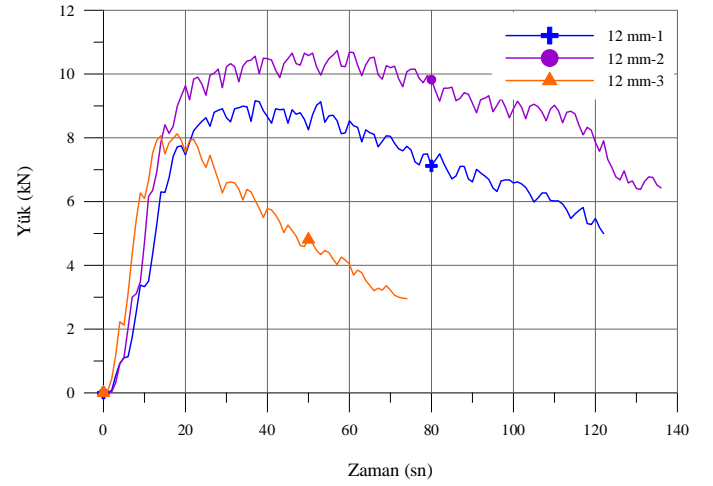
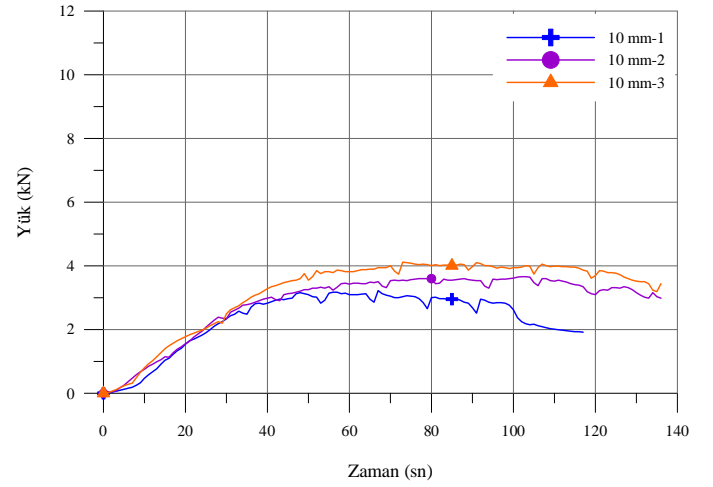
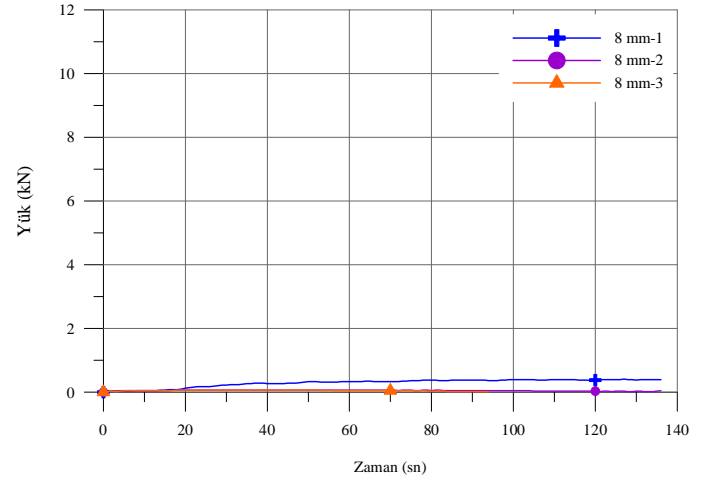
Şekil 3. Deney düzeneği

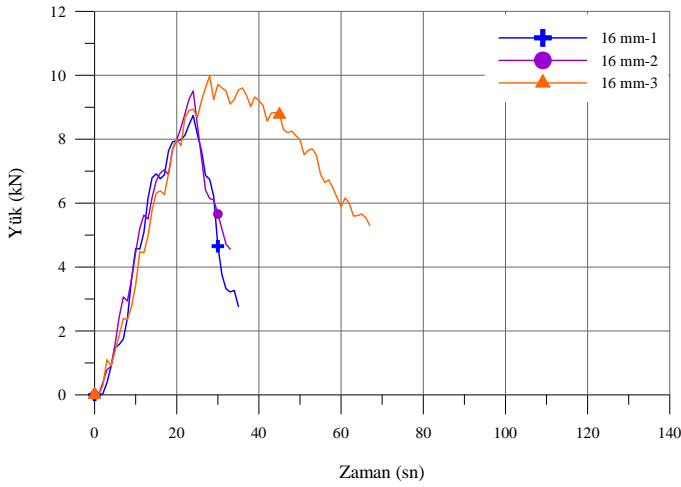
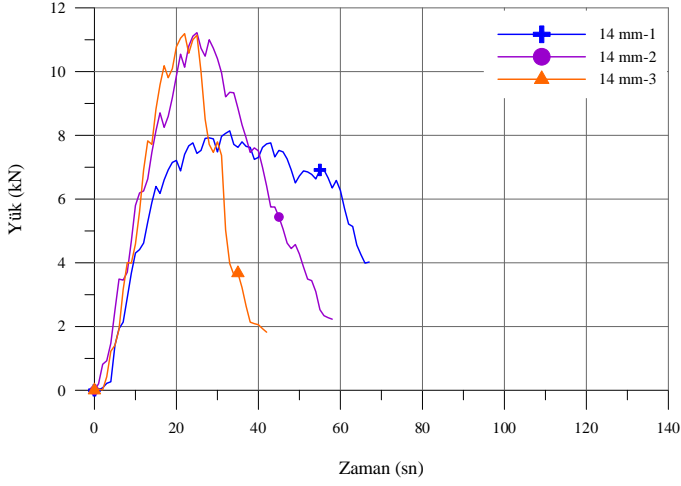
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma



Şekil 4. Deney sonucunda taş bloklarda meydana gelen deformasyonlar

Farklı çaplara sahip zıvanaların, taş bloklar üzerine kurşun yardımıyla sabitlenerek kayma dayanım testleri yapılmıştır. Deney sonucunda taş blok üzerinde meydana gelen deformasyonlar Şekil 4'de gösterilmiştir.





Şekil 5. Deney numunelerinin yük-zaman grafikleri

Şekil 5'de deney numunelerinin yük-zaman grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiği zaman 8 mm çapına sahip zıvanalar ile yapılan deney numuneleri birbirine yakın davranışlar sergilemiştir. Deney numuneleri arasında en az yükü taşıyan deney numunesi 8 mm çapına sahip zıvana ile yapılan numune olmuştur. 8 mm zıvana çaplı deney numunesi sırası ile maksimum 0,4 kN 0,06 kN ve 0,07 kN yük taşımışlardır. Bu deney numunelerinde zıvanalarda sıyrılmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple fazla yük taşıyamamışlardır.

10 mm çapına sahip zıvanalı numunelerin taşıdıkları yükler birbirlerine oldukça yakındır. 10 mm çaplı zıvana deneylerinde birinci deney 3,22 kN, ikinci deney 3,66 kN, üçüncü deney ise 4,11 kN yük taşımışlardır. Bu deney numuneleri 8 mm çapına sahip deney numunelerine göre daha fazla yük taşıyıp daha sünek davranış sergilemiştir.

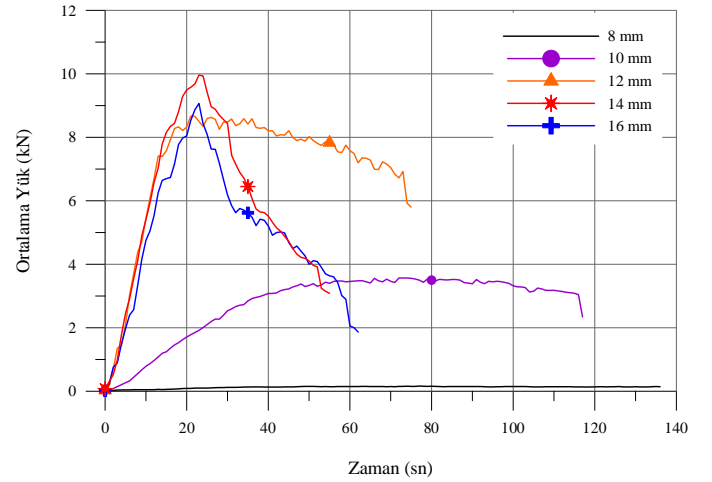
Diğer bir deney numunesi olan 12 mm çapa sahip zıvanalarla yapılan deney numuneleride, diğer deney numunelerinde olduğu gibi taşıdıkları yük ve davranış bakımından birbirlerine oldukça yakındır. Şekil 5'te verilen yük-zaman grafinde de görüldüğü gibi 12 mm çaplı deney numunelerinden 1. deney numunesi 9,16 kN, 2. deney numunesi 10,73 kN ve 3. deney numunesi 8,12 kN yük taşımışlardır. Zıvana çapı arttıkça deney numunelerinin taşıdıkları yüklerde artmıştır. 8 mm çapına sahip deney numunelerinde olduğu gibi sıyrılmalar gözlemlenmemiştir.

Zıvana çapı 14 mm olan deney numuneleriyle yapılan kayma testleri sonucunda üç deney numunesinin taşıdıkları maksimum yük sırası ile 8,14 kN, 11,22 kN ve 11,19 kN'dur. Deney sonucunda en fazla yükü taşıyan deney numunesi 14 mm çapına sahip zıvanalarla yapılan deney numuneleri olmuştur.

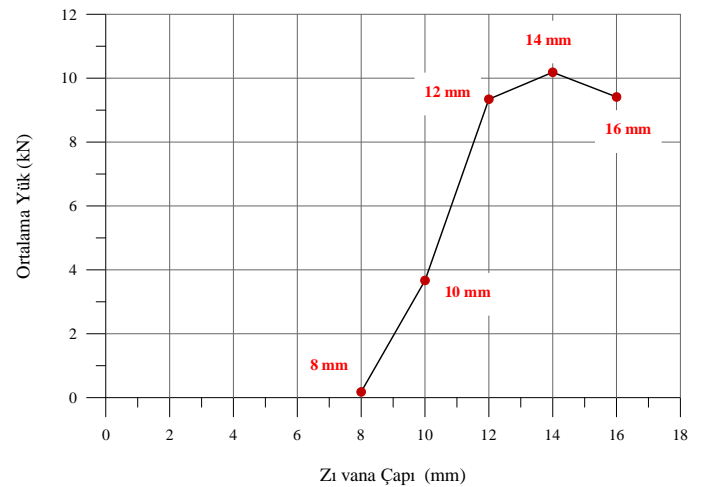
16 mm çaplı zıvanalarla diğer numunelerde olduğu gibi üç adet numune üzerinde deney işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda deney 1 numunesi maksimum 8,74 kN, deney 2 numunesi 9,51 kN yük taşırken deney 3 numunesi ise 9,97 kN yük taşımıştır. 16 mm çapına sahip deney numunesi 14 mm çaplı zıvana ile yapılan deney numunesine göre daha az yük taşımıştır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada farklı çaptaki zıvanaların kurşun ile taş bloklara sabitlenmesinin kayma dayanımlarına etkisi test edilmiştir. Deneysel olarak incelenen bu çalışmada 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm ve 16 mm çaplarına sahip zıvanalar taş bloklara açılan boşluklara kurşun yardımıyla sabitlenmiştir. Her bir numuneden 3'er adet yapılarak toplamda 15 adet numune üzerinde kayma testleri yapılmıştır. Deneysel çalışılan numunelerin ortalama yük-zaman grafikleri Şekil 6'da zıvana çaplarına karşılık gelen ortalama yüklerde Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Deney numunelerinin ortalama yük-zaman grafikleri



Şekil 7. Deney numunelerinin ortalama yük-zıvana çapı grafiği

- Deneş sonucunda elde edilen grafiklerde görüldüğü gibi en az yükü taşıyan 8 mm çaplı zıvana ile yapılan deneş numunesi olmuştur. Deneş sırasında bu numunelerde zıvanalar taş bloklar üzerinden sıyrılmıştır. 8 mm çaplı zıvanalı deneş numuneleri deneş sonucunda ortalama maksimum 0,17 kN yük taşımıştır.
- Çap miktarı 10 mm olan deneş numunelerinde 8 mm'ye göre yük taşıma kapasitelerinde artış meydana gelmiştir. 8 mm'lik deneş numunelerine göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. 10 mm çaplı deneş numunelerinin ortalama maksimum yük değeri 3,66 kN'dur.
- Deneş sonucu grafikler incelendiği zaman 12 mm çapına sahip zıvana ile yapılan deneş numunelerinin taşıdığı ortalama maksimum yük değeri, 10 mm ve 8 mm çapına sahip zıvanalarla yapılan deneş numunelerine göre daha fazladır. 12 mm çaplı deneş numuneleri ortalama 9,34 kN maksimum yük taşımıştır.
- Çapı 14 mm olan zıvanalarla yapılan deneş numuneleri diğer bütün deneş numunelerine göre daha fazla yük taşımıştır. Bu deneş numunelerinin taşıdığı ortalama maksimum yük 10,18 kN değerindedir. Yapılan deneşsel çalışma sonuçlarına bakıldığında zıvana çapı arttıkça yük değeri de artmıştır.
- Zıvana çapı 16 mm olan en büyük çaplı deneş numunelerinde taşıdıkları yüklerde azalma gözlemlenmiştir. 14 mm çapına sahip deneş numuneleri ile karşılaştırıldığında bu numunelere göre ortalama daha az yük taşımıştır. Deneş sonucunda 16 mm çapına sahip zıvanalarla yapılan deneş numunelerinin taşıdığı ortalama maksimum yük değeri 9,41 kN'dur.
- Zıvana çapı daha da arttıkça deneş numunelerinin taşıdıkları maksimum yükün daha da azalacağı yapılan deneş sonuçlarına göre öngörülmektedir. deneş sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda optimum zıvana çapı 14 mm olarak belirlenmiştir.
- Zıvanaların sabitleşmesi için kullanılan kurşunun yapılan deneş sonuçlarına göre büyük ölçüde zıvananın taş bloklardan sıyrılmamasını engellediği görülmüştür.

## Kaynakça

- Çördük, A. (2006). Yunan ve Roma mimarisindeki yapı teknikleri. *İzmir: Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*.
- Demir, C. (2012). *Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls* (Doctoral dissertation, PhD Dissertation. Turkey: Istanbul Technical University (ITU).
- Kurugöl, S., & Küçük, A. G. S. G. (2015). Tarihi Eserlerde Demir Malzeme Kullanım ve Uygulama Teknikleri. *Tarihi Eserlerin Korunması ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul, 521-536*.
- Nikolić, Ž., Smoljanović, H., & Živaljić, N. Analysis of metal connector's effect on seismic resistance of dry stone masonry structures. *Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Simonović, V., & Simonović, G. (2018, June). Numerical Investigation of Possible Strengthening of Masonry Walls. In *International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies* (pp. 175-181). Springer, Cham.
- Soti, R., & Barbosa, A. R. (2019). Experimental and applied element modeling of masonry walls retrofitted with near surface mounted (NSM) reinforcing steel bars. *Bulletin of Earthquake Engineering, 17(7)*, 4081-4114.
- Ural, A., Kara, M. E., & Uslu, S. (2015). Kenet ve Zıvanaların Yığıma Duvarların Kesme (Kayma) Davranışına Etkisi, 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 537-548*.
- TS EN 772-1+A1. (20159. Kagir birimler-deneş yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS EN 772-6. (2004). Kagir birimler-deneş metotları-bölüm 6: Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS EN ISO 6892-1. (2020). Metalik malzemeler-çekme deneş-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deneş metodu, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.



# Karadeniz Turizminin Geliştirilmesi Amacıyla Amasra'nın Oyun Tabanlı Dijitalleştirilmesi

Cahit Burak Büyüktümtürk<sup>1\*</sup>, Enes Durmuş<sup>2</sup>, Ersin Alaybeyoğlu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3198-2452), cahitburak.buyuktumturk@ogrenci.bartın.edu.tr

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5004-6726), enesdurmus@bartın.edu.tr

<sup>3</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8318-4081), ealaybeyoglu@bartın.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899386)

**ATIF/REFERENCE:** Büyüktümtürk, C. B., Durmuş, E. & Alaybeyoğlu, E. (2021). Karadeniz Turizminin Geliştirilmesi Amacıyla Amasra'nın Oyun Tabanlı Dijitalleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 30-34.

## Öz

Bu çalışmada tarihi Amasra ilçesinin üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model üzerine hikaye tabanlı oyun geliştirilmiştir. Tasarlanan oyunda karakter birinci kişi gözünden Amasra otogarından başlayarak ilçenin kültürel alanlarını ziyaret edebilmektedir. Oyunun kurgusunda karakter ziyaret mekanlarını, tamamlaması gereken görevleri gerçekleştirerek gezebilmektedir. Çalışmada, Amasra'nın turistik mekanları Blender ve Unity'nin açık kaynak olarak sağlamış olduğu modeller kullanılarak dijitalleştirilmiştir. Amasra'nın dijitalleştirilmiş mekanları üzerine kurgulu hikaye tabanlı oyun yardımıyla, Karadeniz'in kültürel mirasının uluslararası turizmine kazandırılması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Reklam oyunu, Dijitalleştirme, Benzetim, FPS, Turizm.

## Game Based Digitalization of Amastris to Improve Tourism of Black Sea

### Abstract

3D models of the historical places for Amastris are created in this work. Story based game is proposed by using the developed 3D models of Amastris. The character in the story based game, can visit the cultural places at beginning point of Amastris terminal. In fiction of the game, the character can visit the cultural places in the condition of completed missions. The cultural places of Amastris are digitalled by Unity and Blender3d's assets that shared as open source. It is aimed to contribute to the international tourism of the cultural heritage of the Black Sea with the help of the story-based game based on Amastris. This work is supported by the 2209 program of Scientific and Technological Research Council of Turkey.

**Keywords:** Advergame, Digitalization, Simulation, FPS, Tourism.

## 1. Giriş

Krallıklara ve medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan Amasra ilçesi günümüzde de Batı Karadeniz bölgesinin en turistik noktalarından biri olmaya devam etmektedir. Amasra koylarının arasında kalması ve bu sebeple Karadeniz bölgesinin sakin sularına sahip olması sayesinde sadece Batı Karadeniz bölgesinin değil bütün Karadeniz bölgesinin cezbedici noktalarından biri konumundadır.

Şehrin tarihi M.Ö. XII. yüzyıla kadar dayanmaktadır. Eski çağlarda Fenike kolonizasyonu, İonya, Lidya ve Pers İmparatorluğu gibi devletler Amasra'da yerleşim kurmuşlardır. Amasra ilk dönemlerinde Sesamos olarak anılmaktadır. Büyük İskender Döneminde Asya Seferi ile birlikte Pers iradesine son verilmiş olup İran medeniyeti ile daha yakın ilişkiler kurulabilmesi adına iki devletin arasında bir evlilik yapılmasına karar verilmiştir. Makedon generallerinden birisi ile evlendirilecek olan kişi ise şehre ismini verecek olan İran Prensesi Amastris'tir [1].

Romalılar döneminde ise Amasra, sahip olduğu ormanlar ve sakin sular ile önemli bir liman kenti haline gelmiştir. Romalılar Direklikaya gibi yapıları Amasra'ya kazandırmışlardır. 13. yüzyıldan 1460 yılına kadar kentin yönetimi birkaç Karadeniz şehri ile beraber İtalyan Devleti olan Cenevizliler tarafından yapılmıştır. Ceneviz Kalesi ile Arması bu dönemden günümüze kadar ulaşmıştır. Daha sonraki dönemlerde ise Amasra, Osmanlı Devleti yönetiminde kalmıştır [1]. Bu açıdan bakıldığında Amasra çok farklı kültürlerin mirasını barındıran tarihi bir ilçedir. Bu çalışmada, Amasra'nın bilinirliğinin ulusal ve uluslararası ölçekte artırılması amacıyla hikaye tabanlı simülasyon oyunu geliştirilmiştir [2].

İnternet ve mobil uygulamalar, interaktif etkileşimi artırmakla birlikte turistik tüketiciler arasında bağ kurmak amacıyla kullanılabilir [3]. Advergame turizm sektöründeki işletmelerin kullanabileceği ve bu sayede tanıtımlarını yapabilecekleri bir yöntemdir. Advergame kullanılarak bir turizm beldesi ile ilgili kültürel bilgileri kullanıcılara sunmak bu durumu desteklemektedir. Gençler ve çocuklar advergame uygulamalarını daha çok kullanmaları sebebiyle, advergame'lerin en önemli hedef kitlesi gençler ve çocuklardır [4-6]. Farklı bir turizm beldesinin ya da turistik destinasyonların tanıtılması, gerçek seyahat için istek uyandırılması amacıyla seyahat acentaları ya da yerel idareler advergame'leri kullanabilirler. Şehrin tarihini meraklı ve eğlenceli bir şekilde tanıtmak amacıyla (şehrin değişik yerlerine bulunması için bir şeyler saklanması vb.) yöntemler kullanılarak tanıtımlar advergame'ler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu şekilde turizm mekanlarından olan şehrin sokakları, meydanları, sarayları ya da ibadethaneleri kullanıcı tarafından keşfedilebilir. Böylece turizm mekanlarını gezmek ve görmek noktasında oyunu oynayan kişilerde bir istek uyandırılmış olur [4-6].

Dahası önerilen yöntemler arasında oyunlar içerisinde oluşturulabilecek farklı kurgular ve senaryolar ile kullanıcıların belirli bazı şifreleri çözmeleri istenebilir ki, bu çalışma için daha uygun bir alternatif sunmaktadır [3]. Advergame turizm sektörünün arz-talep dengesi gereği kullanılabilir uygulamalardır. Advergame büyük ölçekte ülkelerin turistik tanıtım faaliyetleri ile birlikte ulusal bazda tanıtım amacıyla da kullanılabilir. Günümüzde mobil uygulamaların ve akıllı cihazların kullanımında artan talep bu tip reklam uygulamalarının daha etkin

kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yerel yönetim ya da turizm sektöründe faaliyet gösteren otel zincirleri, sahip oldukları turistik destinasyonlarını daha çekici hale getirmek amacıyla bütünlük oyun reklam uygulamaları oluşturarak, tanıtım ve pazarlama faaliyetlerinde bulunup talep oluşturmaları ve talebi yönlendirmeleri mümkündür. Netice olarak oyun reklamları sayesinde turistlerin belirli bir destinasyona yönelik ilgilerini artırmak mümkündür. Ayrıca eşsiz bir deneyim sunmaları açısından da oyun reklamlarının, turizm sektöründe kullanımı önemli görülmektedir. Seyahat sonrasında söz konusu destinasyonun tekrar hatırlanması noktasında da oyun reklamlarının önemi ve etkisi yadsınamaz düzeydedir [3]. Tüm bu bilgiler ışığında, Amasra'nın tanıtımının oyun üzerinden yapılması kentin reklamının yapılabilmesi, kentin isminin ülke dışına taşınabilmesi ve kente gelen turist sayısının artırılabilmesi için efektif bir çözüm olacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Amasra'nın dijitalleştirilen tarihi mekanlarına ait görsellere ve dijitalleştirme aşamalarına yer verilmiştir. Dijitalleştirme aşamalarında Blender 3D [7] programı kullanılmıştır. Üçüncü bölümde ise kurgulanan oyun programında karaktere verilen görevler ve oyuna ait görsellere yer verilmiştir. Oyun tasarımında Unity [8] programı kullanılmıştır. Dördüncü bölümde çalışma özetlenmiştir. Önerilen çalışmanın Karadeniz Bölgesi turizmine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma TÜBİTAK 2209 Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmektedir.

## 2. Amasra'nın Modellenen Kültürel Mirasları

Çalışmada gerek kullanıcının doğru bilgilendirilebilmesi gerek gerçeğe yakın görüntüler elde edebilmek adına hem görsel hem de yazılı olarak veriler toplanmıştır ve drone yardımıyla havadan da görüntüler alınmaya devam edilmektedir. Amasra ilçesine ziyarette bulunularak Mendirek, Fatih Sultan Mehmet Camii, Kemere Köprüsü, Barış Akarsu Heykeli gibi yapıların görsel verileri elde edilmiştir. Amasra ile ilgili yazılı veriler elde edebilmek için çeşitli web siteleri ve makaleler taranarak yazılı kaynak elde edilmiştir.

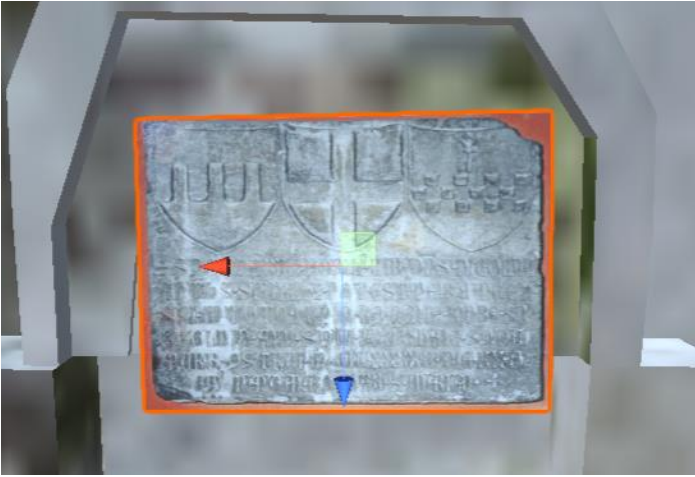
Amasra'nın tarihi yerlerinin modellenmesi amacıyla hem ücretsiz olması hem de kolay kullanım imkanı sunması sebebiyle Blender 3D programının 2.79 versiyonu tercih edilmiştir. Tarihi modeller ile birlikte projenin özgün değerini arttırabilmek amacıyla farklı binalar ile dekor ve eşya tasarımları gerçekleştirilmiştir. Araba, otobüs gibi modeller zaman kazanmak adına hazır assetsler kullanılarak projeye dahil edilmiştir. Şekil 1'de oyunda mekan olarak kullanılan Amasra'nın 3D harita modeli gösterilmiştir.

Projenin en çok zaman ve uğraş gerektiren kısmı programlama aşaması olmuştur. Halen 10000 satır kod yazılmıştır ve harita düzenlemeleri ile animasyon düzenlemeleri devam etmektedir. Projede zaman kaybını daha aza indirgeyebilmek amacıyla Unity'nin kendi üretmiş olduğu standart assets paketi projeye import edilmiş ve bu şekilde birincil tekil şahıs kamerasından bakış açısı elde edilebilmiştir. Blender 3D programında çizilen modeller oyun içi buglarla karşı karşıya kalmamak için ekipmanlara collider komponentleri eklenerek gezilebilecek şekle getirilmiştir. Şekil 2'de modellenen Amasra Kalesinin girişinde yer alan Ceneviz Krallığının amblemi gösterilmiştir.

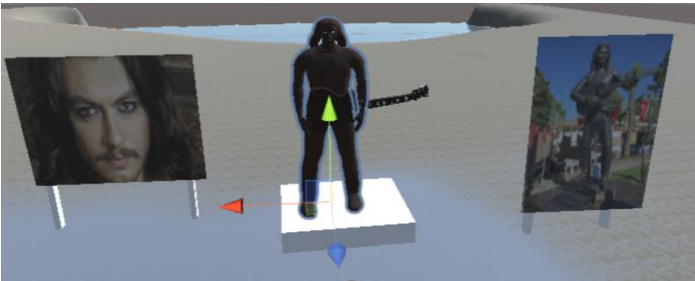
Oyun içine terrain eklenerek bu terrain Amasra'nın yerşekline uygun bir biçime getirilmeye çalışılmıştır. Barış Akarsu'nun heykeli ise Blender 3D programının yan ürünü olan "MakeHuman" ile tasarlanmıştır. Sonrasında Blender 3D programına eklenmiş ve diğer Blender 3D kullanıcıların ücretsiz olarak sunduğu gitar modeli ile birleştirilerek aslına yakın bir model elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 3'de tasarımı gerçekleştirilen Barış Akarsu heykeline ait görsele yer verilmiştir.



Şekil 1 Amasra 3D harita modeli.



Şekil 2 Amasra Kalesinin girişinde yer alan Ceneviz Krallığı'nın amblemine ait model.



Şekil 3 Barış Akarsu heykeli.

Sonuç olarak Blender 3D kullanılarak Amasra 3D olarak modellenmiş ve tasarlanan model, üzerine oyun kurgulanmasına elverişli hale getirilmiştir.

### 3. Önerilen Hikaye Tabanlı Simülasyon Oyunu

Kodlama kısmında projenin en çok zaman gerektiren aşaması kullanıcıya farklı görevler ekleyebilmek, farklı animasyonların oluşturulması ve uygulama işlemleri olmuştur. Kullanılan ışık modelleri ve yapay zeka objelerinin (yan karakterler, hayvanlar, vb.) kullanıcıya daha iyi bir simülasyon deneyimi sunabilmek için en uygun konumlara yerleştirilmesine özen gösterilmiştir.

Bu kısımda gerçekleştirilen yazılımlar kontrol ettiğimiz karakterin simülasyon oyuncularına olan etkisi ile hikaye ve sahne tasarımı olmak üzere iki ana başlık altında Bölüm 3.1 ve 3.2'de verilmektedir.

### 3.1 Kontrol Ettiğimiz Karakterin Simülasyon Oyuncularına Olan Etkisi

Oyunun içerisinde yönlendirdiğimiz karakter birincil şahıs (FPS) görünümü ile kontrol edilmektedir. Bu görüş açısını seçmemizin temel nedeni simülasyon oyunculara gerçeğe yakın bir oyun deneyimi sunmasını sağlamak ve yönettikleri karakter ile arasında kurulan empati duygusunu artırmaktır.

"Karşısındaki gibi hissedebilen kişi" kavramının birçok tanımı; empatiye, ulusal sınırlar ve kültürel ayrımlar ötesinde başkalarını anlamak için özellikle önemli bir eğilim olarak değer verir. Başkalarıyla empati kurmaları insanlar için zor olabilir. Bilgisayarlı simülasyon oyunları, küresel empatiyi ve küresel yurttaşlık öğrenimine ilgiyi geliştirmeye yardımcı olabilmeleri açısından halen kullanılmaktadırlar [9].

Öğrencilerin oyundaki karakterlerini kontrol etmelerine olanak tanıyan bir simülasyon oyunu olan "real lives" oyunu kontrollü deney olarak oynatılmıştır. Bir kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, müfredatlarının bir parçası bu simülasyon oyununu oynamak olan öğrenciler arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Daha fazla küresel empati duygusunun kullanıldığı oyunları oynayan öğrencilerin diğer ülkelerdeki insanların kültürleri hakkında bilgi edinmeye daha fazla ilgi gösterdikleri ortaya çıkmıştır [9].

Gerçek hayattaki karakterleriyle özdeşleşme, küresel empati ile de olumlu bir şekilde ilişkilidir. Bu bulgular, simülasyonların küresel öğrenme ve vatandaşlık için önemli eğilimler geliştirebileceği iddialarını desteklemektedir [9, 10].

Bu araştırmada da görüldüğü üzere, simülasyon oyunlarının oyuncular üzerinde ciddi olumlu etkileri bulunmaktadır [9, 10]. Bu projede, Amasra'nın tasarlanan her sahnesinde hikaye oyuncunun, yönlendirdiği karakteri kendisi gibi hissetmesine olanak sağlamaktadır.

### 3.2 Hikaye ve Sahne Tasarımı

Daha önce Batı Karadeniz'de bulunmamış ve bu bölgenin tarihine çok fazla ilgi duyan karakterimizin Amasra'daki macerası ilçe merkezinin girişinde bulunan Amasra otagarında başlamaktadır. Otobüsten ilk indiğinde karşılaştığı manzaradan etkilenen karakterimiz buranın tarihi ve turistik yerleri hakkında bilgi sahibi olmayı, tarihi ve turistik yerleri gezip görmeyi istemektedir. Amasra'nın insanı ile olan diyaloglarında onlara gideceği yerleri sormuş, ihtiyacı olanlara yardım etmiş, onlarla beraber bu tarihin temiz tutulmasına özen göstermiş ve hayvanların sağlığına önem vermiştir. Karakterimizin bu tutumu, hem çok güzel bir tecrübe edinmesine hem de insanların içindeki empati ve saygı duygusunun hiçbir para birimi ile



ödenemeyeceğini bizlere net bir şekilde göstermiştir

Simülasyon oyununu başlattığımızda karşımıza çıkan ilk ekran Şekil 4'te gösterilen giriş ekranıdır. Ekranda oyuncuların dil ayarları yapabileceği, kaldığı veya isteyeceği bölümden devam edebileceği ve oyundan çıkış yapabileceği butonlar bulunmaktadır. Ana menünün arka planında kullanılan görsel ise oyun içerisinden aktarılmış bir görseldir.



Şekil 4: Amastris oyunu giriş ekranı.

Oyunun en önemli ve gerçekçiliği artırmayı amaçlayan yazılımı ise yapay zekaların hareketlerini sağlayan kodudur. Şekil 5'te verilen kodlar oyunda hareketi sağlayan kodlardan biridir. Yazılan bu kodlar birçok hayvan ve insan modelleri ile uyumludur. Şekil 6'da tavşanın hareketi bu yazılım ile sağlanmaktadır. Bu hareketin çalışma mantığı vektörler ile sağlanmaktadır ve Gizmos ışınları sayesinde Unity düzenleyici panelinde görüntüsü alınmıştır. Verilen kodlar yapay zeka kodunun ufak bir kısmıdır, bu bir Editor Code'dur ve oyunculara gözükmemesi amaçlanmıştır. Yalnızca oyunun yapımcı ekibinin görebilmesi için tasarlanmıştır.

Oyunun bir diğer önemli hususu ise karakterin simülasyon içerisinde ilerlemesini sağlayan görevlendirme sistemidir. Bunun sayesinde karakter bir yerden bir yere giderken Amasra'nın tarihi hakkında bilgi edinmektedir

Örneğin Şekil 7'de görünen görevin amacı karakterin kayık ile tavşan adasına gitmesini ve tavşanları görmesini amaçlamıştır. Görevin uygulanış şekli ise karakterimiz sahil yanında yürürken bir kayıkçıya denk gelir ve bu kişi ona "Tavşan adasına gitmek istiyor musun?" diye sorar. Geçen diyalogun ardından kayıkçı karakterimizden kaybolan küreğini bulmasını istemektedir ve kürek bulunduğu beraber tavşan adasına giderler. Yapacağı iyilikten habersiz olan karakterimiz adaya vardığında kayıkçı az önce bulduğu kürek ile tavşan adasına havuç ekmesini rica eder. Karakterimiz burada yaşayan tavşanların beslenmesine ve hayatta kalmalarına yardım etmişken bir yandan da Amasra'nın doğal güzelliği olan Tavşan Adası'nı da gezide yaşadığı anlarına eklemiş olur.

Oyunun sahne tasarımı ve görev sisteminde bunun gibi örnekler bulunmaktadır. Bu yöntemin hem oyuncunun oyuna odaklı kalmasını hem de Amasra tarihi ve kültürü hakkında bilgi edinmesini sağlaması uygun görülmüştür.

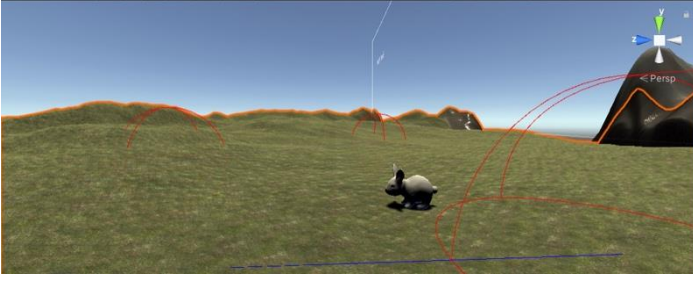
Oyunda bulunan özelliklerden biri de gece gündüz döngüsüdür. Bu döngüye ait görselleri Şekil 7 ve Şekil 8 de görmekteyiz. Ortamın karanlığı ay ile güneşin hareketleri ile ayarlanmaktadır. Gece gündüz gerçeğe en yakın saat dilimlerine göre düzenlenmiştir. Örneğin saat 6:00 gibi güneş doğarken

akşam 19:00 gibi ay ortaya çıkmaya başlamaktadır. Bir diğer özellik ise dil seçeneklerine göre değişen saat dilimleridir. Örneğin İngilizce dili seçildiğinde 12 saatlik zaman diliminde öğleden öncesi için "am", öğleden sonrası içinse "pm" ifadesi kullanılmaktadır.

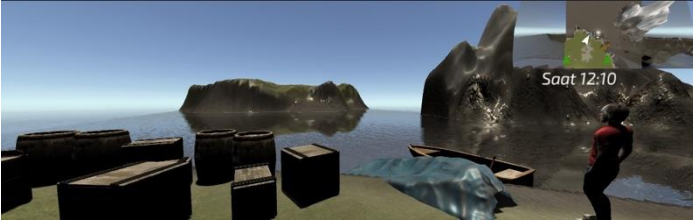
Bu döngünün eklenmesi karakterin uyumasını sağlayacak bir yazılıma ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Şekil 8 de görülen yatak kodunda karakterimizin sadece geceleri uyumasını sağlayan komut oyuna eklenmiştir. Bu şekilde karakterimiz gece olduğunda saati erkene alabilir ve tekrar havayı aydınlatarak macerasına devam edebilir.

```
private void OnDrawGizmos() {
    if (!gizmoskapa)
    { if (!oyunbasladı){
        for (int i = 0; i < transform.childCount;
i++){
            Gizmos.color = Color.red;
            Gizmos.DrawWireSphere(
transform.GetChild(i).transform.position,1);
        }
        for (int i = 0; i < transform.childCount-1;
i++){
            Gizmos.color = Color.blue;
            Gizmos.DrawLine(
transform.GetChild(i).transform.position,
transform.GetChild(i+1).transform.position);
        }
    }
    if(oyunbasladı) {
        for (int i = 0; i < gidileceknoktalar.Length;
i++) {
            Gizmos.color = Color.red;
            Gizmos.DrawWireSphere(
gidileceknoktalar[i].transform.position,1);
        }
        for (int i = 0; i < gidileceknoktalar.Length-1;
i++){
            Gizmos.color = Color.blue;
            Gizmos.DrawLine(
gidileceknoktalar[i].transform.position,
gidileceknoktalar[i+1].transform.position);
        }
    }
}
```

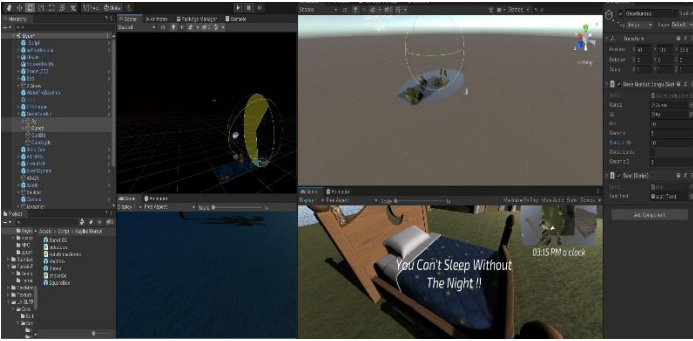
Şekil 5 Oyunda tavşanların hareket vektörlerini sağlamak amacıyla yazılan kodlar.



Şekil 6 Tavşanların hareketini sağlayan kodun görseli.



Şekil 7 “Tavşan adasına gitmek ister misin?” görevi.



Şekil 8 Gece Gündüz döngüsü.

#### 4. Sonuç

Çalışmada Amasra harita modeli oluşturulmuş ve Amasra'nın tarihi ve kültürel mekanları Blender 3D programı ile modellenmiştir. Dijital modeli gerçekleştirilen Amasra üzerine Unity kullanılarak hikaye tabanlı oyun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede oyuncunun oyununu oynarken bölgenin kültürel mekanlarının reklamını yapan bir advergaming tasarımı gerçekleştirilmiştir. Projenin Karadeniz turizmine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma TÜBİTAK 2209 Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmektedir.

#### Kaynakça

- [1] Aslan, S., & Kiper, P. (2016). Kimlik ve Bellek Sorunu Sarmalında Kentler: Amasra Kenti Örneğinde Fırsatlar ve Tehditlerin Değerlendirilmesi. *İdealkent*, 7(20), 881-905.
- [2] Ayman, Y., Demirbulut, Ö. G., & Saatçi, G. (2016). Oyuna dayalı reklamın (advergaming) turizm sektöründe uygulanabilirliği üzerine bir değerlendirme. *Journal of Tourism Theory and Research*, 2(2), 77-88.

- [3] Kachniewska, M. A. (2015). Tourism development as a determinant of quality of life in rural areas. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*.
- [4] Kiraci, H., & Yurdakul, M. (2012). Enjoyable or humdrum advergaming: the effects of brand congruity level on attitudes towards advergaming. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 21(1), 22-29.
- [5] Cauberghe, V., & De Pelsmacker, P. (2010). Advergaming. *Journal of Advertising*, 39(1), 5-18.
- [6] Gross, M. L. (2010). Advergaming and the effects of game-product congruity. *Computers in Human Behavior*, 26(6), 1259-1265.
- [7] <https://www.blender.org>
- [8] <https://unity.com>
- [9] Bachen, C. M., Hernández-Ramos, P. F., & Raphael, C. (2012). Simulating REAL LIVES: Promoting global empathy and interest in learning through simulation games. *Simulation & Gaming*, 43(4), 437-460.
- [10] Lean, J., Moizer, J., Derham, C., Strachan, L., & Bhuiyan, Z. (2020). Real World Learning: Simulation and Gaming. In *Applied Pedagogies for Higher Education* (pp. 187-214). Palgrave Macmillan, Cham.



# Prediction of Phishing Web Sites with Deep Learning Using WEKA Environment

Özlem Batur Dinler<sup>1\*</sup>, Canan Batur Şahin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2955-6761), o.b.dinler@siirt.edu.tr

<sup>2</sup> Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901465)

**ATIF/REFERENCE:** Batur Dinler, Ö., Batur Şahin, C., (2021). Prediction of Phishing Web Sites with Deep Learning Using WEKA Environment. *European Journal of Science and Technology*, (24), 35-41.

## Abstract

COVID-19 (Coronavirus) disease, observed in the city of Wuhan, China, on December 30, 2019, spread worldwide and caused a global epidemic. Since this epidemic can be transmitted very quickly and easily, some precautions and voluntary quarantine practices that governments have to take have significantly changed the habits of world communities in a short time. This change has especially increased distance activities, such as distance working, distance education, and distance shopping (e-commerce). Therefore, people have felt the need to quickly move the physical platforms they use to digital platforms to meet their daily needs. In this case, web phishing targeting digital platforms has led to a significant increase in online cyber attack types. The increase in phishing and the increasing volume of phishing websites have resulted in greater exposure of the world's information and organizations to various cyberattacks. Thus, after the COVID-19 pandemic in 2019, it has become more important than ever to detect phishing website analysis. In this study, performs the web phishing analysis and makes a comparison of classification performances among five popular methods: Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perception (MLP), k-Nearest Neighbour (k-NN), and Deep Learning (DL) by utilizing a Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) graphical user interface (GUI). In the experiments conducted with the data set divided into two as training and test, the RF and DL methods were more successful than the other methods compared, but k-NN, achieved a better performance when cross-validation was used. The possible reason for this is a simple approach toward deep learning. We hope the current study can provide guidance in investigating WEKA deep learning for web phishing classification.

**Keywords:** Machine learning, Deep learning, WEKA, DL4J deep learning architecture, Web Phishing, COVID-19.

## WEKA Ortamını Kullanarak Derin Öğrenme ile Kimlik Hırsızlığı Web Sitelerinin Tahmini

### Öz

30 Aralık 2019'da, Çin'in Wuhan şehrinde görülen COVID-19 (Coronavirus) hastalığı, dünya çapında yayılarak küresel bir salgına yol açmıştır. Bu salgın, çok hızlı ve çok kolay bulaşabildiği için hükümetlerin almak zorunda kaldığı birtakım önlemler ve gönüllü karantina uygulamaları, kısa bir süre içerisinde dünya topluluklarının alışkanlıklarını önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu değişim özellikle, uzaktan çalışma, uzaktan eğitim ve uzaktan alışveriş (e-ticaret) gibi uzaktaki etkinlikleri artırdı. Bu nedenle insanlar günlük ihtiyaçlarını karşılamak adına kullandıkları fiziksel platformları, hızlıca dijital platformlara taşıma gereksinimi duydular. Bu durumda beraberinde, dijital platformların hedef alındığı web kimlik hırsızlığı çevrimiçi siber saldırı türlerinde ciddi bir artış meydana getirmiştir. Kimlik avındaki artış ve kimlik hırsızlığı web sitelerinin artan hacmi, dünyadaki bilgilerin ve kuruluşların çeşitli siber saldırılara daha fazla maruz kalmasıyla sonuçlandı. Bu nedenle, 2019'daki COVID-19 salgınından sonra kimlik hırsızlığı web sitelerinin analizini tespit etmek, her zamankinden daha önemli hale geldi. Bu çalışmada web kimlik hırsızlığı analiz edilmekte ve Bilgi Analizi için Waikato Ortamı (Waikato

\* Corresponding Author: [o.b.dinler@siirt.edu.tr](mailto:o.b.dinler@siirt.edu.tr)

Environment for Knowledge Analysis - WEKA) grafik kullanıcı arayüzünden (GUI) yararlanarak RF, SVM, MLP, k-NN ve DL'den oluşan beş popüler yöntem arasındaki sınıflandırma performansları karşılaştırılmaktadır. Eğitim ve test olarak ikiye ayrılan veri seti ile yapılan deneylerde RF ve DL yöntemleri diğer yöntemlere göre daha başarılı iken, k-NN, çapraz doğrulama kullanıldığında daha iyi performans elde etmiştir. Bunun olası nedeni, derin öğrenmeye yönelik basit bir yaklaşımdır. Bu çalışmanın, kimlik hırsızlığı web sitelerinin sınıflandırması için WEKA derin öğrenmeyi araştırmada rehberlik sağlayacağını umuyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenimi, Derin öğrenme; WEKA, DL4J derin öğrenme mimarisi, Web Kimlik Hırsızlığı, COVID-19.

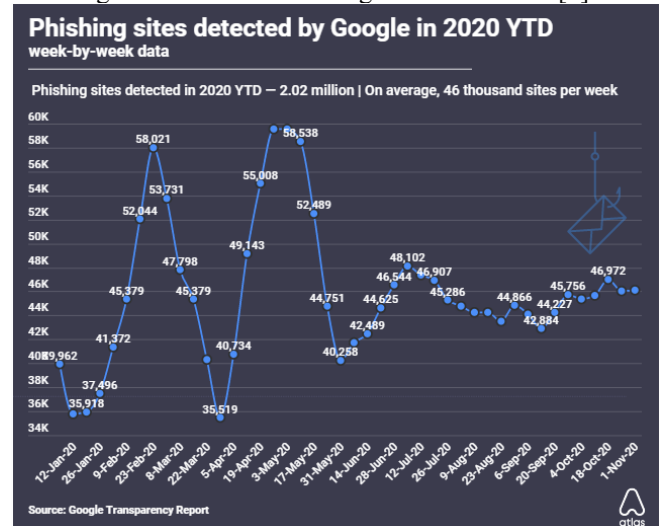
## 1. Introduction

The disease caused by the coronavirus, which was observed in the city of Wuhan, China, in December 2019 and called COVID-19, was declared a pandemic by the World Health Organization (WHO) on February 11, 2020. With the rapid spread of this outbreak, the number of patients increased, and many deaths occurred worldwide. Avoiding physical contact, quarantine or lockdowns have been implemented as effective measures to control the spread of the pandemic. As a result of these measures, the COVID-19 pandemic has brought about radical changes in the way of life of all people, from seven to seventy years old, worldwide. This change has started with the necessity of daily life activities carried out in physical environments to be transferred more to digital environments, and it has been in the direction of transforming the world's communities into rapidly digitalized individuals. Therefore, since the COVID-19 pandemic began, people have become accustomed to spending much more time in digital environments, and a significant increase in the internet and mobile use has been observed with the convenience provided by the digital world [1-2]. With these increases, a considerable increase has started to be observed in the number of phishing cyber attacks targeting digital platforms. In accordance with Google's Transparency Report [2], the tech giant identified 46,000 novel phishing websites on average each week in 2020. As shown in Figure 1, the total amount of phishing websites caught was surprisingly high, with 2.02 million in 2020 Year-to-Date (YTD). Moreover, the data in this figure demonstrate that the problem was especially severe in the first half of the year when more than 50,000 novel phishing sites were detected in certain weeks of February, April, March, and May. In this context, malicious actors took advantage of the COVID-19 pandemic crisis and intensified phishing attacks. These attacks came to the forefront, especially as "COVID-19" and "Coronavirus" themed attacks, and fraudsters who opened fake websites made large-scale illegal profits with the sales of large numbers of ordered medical materials. Identity theft has become a major threat not only for the healthcare sector but also for processes in many sectors and people using these processes during the pandemic. Therefore, it is extremely important to detect websites that steal an identity for the security of both corporate and personal information.

Machine learning technology is employed in different spheres of modern life. Machine learning applications are utilized for the purpose of identifying objects in images, transcribing speech into text, selecting relevant outcomes in a searching task, machine translation, etc. Machine learning has recently been using novel architectures, in other words, deep learning techniques. Deep learning is usually implemented by using the neural network architecture. With deep learning, the related information is learned and abstracted by the model in an automatic way with the data passing through the network. The term "deep" refers to the number of layers in the network, namely the network becomes deeper with the increasing number of layers. There is an interconnection of layers through nodes, or neurons, with each

hidden layer using the output of the previous layer as its input [3]. In the current study, we utilized five classifiers, four from the machine learning architectures, SVM, RF, MLP and k-NN, and one deep learning architecture, Long short-term memory (LSTM). The performance of these methods is not limited to a single performance criterion and comparisons are made according to different performance criteria using accuracy, precision, recall, F-measure, and computational times criteria. Furthermore, in addition to the experiments performed traditionally with training and test data, experiments related to cross-validation performance are also conducted.

Figure 1: Detected Phishing Attack Statistics [2].



Many studies have been conducted in the literature to detect identity phishing web sites. Traditional machine learning and deep learning methods will be mainly defined. Moghimi et al. [4] suggested the supervised machine learning methods to detect phishing on the basis of SVM. The experiment demonstrated a high accuracy of 0.9865. Nevertheless, the said method totally relies on the webpage content feature. Thus, its performance can deteriorate in case of redesigning the content by attackers.

Nguyen and Nguyen [5] detected identity theft with machine learning methods by using not only URL but also page content. In the study, the J48 decision tree, RF, SVM, Naive Bayes, and neural network methods were compared using the features obtained from URL and content. According to the experimental results, the RF method obtained the most successful classification result.

Zouina et al. [6] employed the SVM algorithm with the aim of detecting phishing websites, and the findings demonstrated that the accuracy rate achieved 95.80%.

Chiew et al. [7] suggested a hybrid integrated development algorithm on the basis of data perturbation and function perturbation for the purpose of feature screening. In the said study, RF, C4.5, SVM, and other conventional machine learning

methods were utilized for predicting the features in question. The researchers revealed that RF reached the highest accuracy.

Sahingöz et al. [8] made a comparison of the outcomes of Decision Tree, Adaboost, k-NN and RF, SMO and Naive Bayes models and revealed that RF obtained the highest accuracy of 97.89%.

Bahnsen et al. [9] made a comparison of the conventional machine learning method and LSTM method and demonstrated that the LSTM method was superior to machine learning methods, having an accuracy of 98.7%.

Nivaashini [10] proposed an automatic phishing identification method by employing deep learning to detect an unknown URL, either a phishing URL or benign URL. The Deep Boltzmann Machine (DBM) is used to pre-train the model with a superior representation of information for feature selection and binary classification of benign and phishing URLs using a Deep Neural Network (DNN), recognizing phishing URLs at a higher rate with a low false-positive rate.

Yuan et al. [11] suggested a method on the basis of features from URLs and web page links with the aim of detecting phishing websites and their targets. The researchers employed a Deep Forest model, obtaining a true positive rate of 98.3% and a false alarm rate of 2.6%.

Selvaganapathy *et al.* [12] suggested a phishing URL detection algorithm by utilizing a stacked restricted Boltzmann machine for feature selection and deep neural networks as classifiers. Afterward, they constructed multiple detections by utilizing IBK-kNN, Binary Relevance, and Label Powerset with SVM. The said model enhanced the detection accuracy as a result of combining the recognition results of multiple classifiers.

Furthermore, Chen et al. [13] suggested an LSTM-based phishing page detection approach.

The remaining part of the paper is organized as follows: materials and methods in Section 2, results and discussion in Section 3, and conclusions and recommendations are presented in the last section.

## 2. Material and Method

### 2.1. Phishing

Phishing was discovered in 1996, and nowadays, it is among the most severe cybercrimes that Internet users encounter. Web phishing is an online attack method in which the personal information (username, password, etc.) and financial data (credit card information, account number, etc.) of the victim are obtained by attackers who open fake websites with a completely similar design to the most widely used legitimate sites on the internet using the social engineering technique through short messages, e-mails, and WeChat [14-15]. It causes financial losses for both industries and individuals. Black Lists [16] and White Lists [17], Image processing [18], Heuristic [19], and Machine Learning-based approaches [20] are the most preferred methods to prevent phishing attacks. In the past and recent years, the research approach has focused on machine learning and the domain of 'Deep Learning,' which is the advanced field of machine learning.

Deep learning is also known under the name of deep machine learning.

### 2.2. Dataset

We utilized the dataset from [21] in our experiments. Table 1 contains a detailed description of the features/attributes in the dataset. The dataset comprises 1353 instances. In the dataset, 9 features and class information for each instance contain a categorical value of -1 for identity thief, 1 for non-identity thief, and 0 for suspicious ones.

Table 1. Features of the web phishing dataset.

Attribute Number	Attributes	Possible Values
1	SFH	1,-1,0
2	PopUpWidnow	-1,0,1
3	SSLfinal_State	1,-1,0
4	Request_URL	-1,0,1
5	URL_of_Anchor	-1,0,1
6	Web_traffic	1,0,-1
7	URL_Length	1,-1,0
8	Age_of_domain	1,-1
9	Having_IP_Address	0,1

### 2.3. Classifiers

In this study, four current machine learning methods, SVM, RF, MLP, and k-NN, and one current deep learning method, LSTM that are used for different classification problems nowadays, were used to classify phishing web sites. A brief description of the methods employed in the research is presented below.

#### 2.3.1. Support Vector Machines (SVM)

It is an efficient classifier method that can separate instances in feature space. The aim of the SVM method is to find the furthest boundary (hyperplane) between the instances of two different classes in the feature space.

#### 2.3.2. Random Forest (RF)

This method is one of the data mining models frequently used in the solution of both classification and regression problems. In this method, training is performed with decision trees formed by training a large number of different subsets randomly. The community of decision trees created in this method is called RF. In this classification model, a test instance of an unknown class is assigned according to the class of the highest valued decision tree. The most significant advantage of the RF model is its preventing overfitting and outlier problems.

#### 2.3.3. Multilayer Perceptron (MLP)

A multilayer perceptron represents a thinking structure created as a result of connecting neurons to each other with synaptic connections. It is inspired by the human brain and has a learning algorithm, which is similar to neural networks in biological systems. An MLP is a feed-forward artificial neural network (ANN) model, mapping sets of input data onto a set of appropriate outputs. An MLP includes multiple layers of nodes in a directed graph, with each layer completely connected to the next one. Besides the input nodes, each node represents a neuron, or a processing element, having a nonlinear activation function. The

MLP employs a supervised learning technique, named back-propagation, for the purpose of training the network [3].

### 2.3.4. *k*-Nearest Neighbour (*k*-NN)

This method is among the machine learning methods used in classification and regression prediction problems. In addition to its simplicity and easy applicability, its being stable for large data sets has made the use of this method widespread. This method is a classification method based on determining to which of the previously labeled instances a new instance will be more similar by distance.

### 2.3.5. Deep Learning (DL)

Unlike shallow neural networks, the application of deep neural networks represents the application of hidden layers between input and output layers. There is a tendency of shallow networks to have one hidden layer. However, as a result of increasing hidden layers or deepening the network, there is a tendency of the application toward deep learning. There are different techniques to build deep networks, varying between deep belief networks and recurrent neural networks. The present study employs a simple approach toward deep learning by utilizing a WEKA[22] package, named DL4jMLPClassifier, allowing for stacking different forms of neural layers. After experiments, we selected the deep neural network architecture presented in Table 2.

Table 2. Architecture of the DL4J.

Features	
DL 2-Layers	LSTM Layer Output Layer
Learning rate:	0.001
Weight Initialization	XAVIER
Activation Function	Activation RELU
Lossfunction	LossMCXENT

We utilized the default Weka settings in general. In accordance with DL4J's[23] documentation, an iteration represents an update of the parameters of the neural network model[24]. Weka utilizes by default the number of instances as iterations.

Recurrent Neural Networks (RNNs), a type of artificial neural networks, are in the group of architecture. Unlike the standard RNN, an LSTM network is a very convenient approach for the classifier to learn from experiences, estimate the time span of the process when the long time delays between important events are unknown. It is possible to define an LSTM block as a smart network cell since it can remember a value for a random length of time. An LSTM block has gates that evaluate whether the input value is important enough to be remembered, the decision up to when to keep remembering/forgetting, and when it should be an output value [25].

## 2.4. Performance Metrics

In this paper, different validation options (Percentage Split and k-fold Cross-Validation) were investigated by conducting experiments related to cross-validation performance in addition to the experiments traditionally conducted with training and test data. For experimental purposes, four different approaches were exhibited. In the first approach (Experiment 1), the dataset was randomly divided into two subsets as 66% training set and 33% test set; in the second approach (Experiment 2), the dataset was divided as 70% training set and 30% test set; in the third approach (Experiment 3), the dataset was divided as 80% training set and

20% test set. In the final approach (Experiment 4), the accuracy value was found using 10-fold cross-validation.

Concerning software application, popular machine learning techniques, including SVM, RF, MLP, and k-NN, were employed in the WEKA standard classification library. The WEKA DL4jMLPClassifier was utilized to perform deep learning (DL).

With the aim of measuring performance, we utilized the metrics of accuracy, precision, recall, F-measure, and computational times. The metrics have the following definitions.

**Accuracy:** Refers to the ratio between outcomes that are correctly predicted and the sum of all predictions.

**Precision:** Denotes the ratio of the number of *positive* samples that are classified correctly to the total number of samples classified as *positive* (either in the correct or incorrect way).

**Recall:** Represents the ratio of the number of positive samples that are classified correctly as positive to the total number of positive samples.

**F-measure:** From time to time, there are contradictions in the precision rate and the recall rate. Thus, it is required to consider them in a comprehensive way. The F-measure denotes a weighted harmonic average of the precision rate and the recall rate. With an increase in the F-measure, the method becomes more effective.

The mentioned metrics are described in the Eqs. 1-4.

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

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

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

$$F - measure = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (4)$$

While performing the assessment, *TP*, *TN*, *FP*, and *FN* are the number of positive classes that are predicted correctly, the number of negative classes that are predicted correctly, the number of positive classes that are predicted incorrectly, and the number of negative classes that are predicted incorrectly, respectively.

## 3. Results and Discussion

In the current part, we will present a more detailed description of our experiments and their findings. In the present study, the accuracies of various methods performances were compared. The methods are SVM, RF, MLP, k-NN, and DL. Table 3-6 contains the experimental results on the accuracy, precision, recall, and F-measure and the main measurements for classification performance of Experiment 1, Experiment 2, Experiment 3, and Experiment 4 on the basis of the web phishing dataset. The best results according to the relevant criteria are shown in bold.

- As seen in Table 3 (Experiment 1) and Table 4 (Experiment 2), RF exhibited the best accuracy performance compared to DL, SVM, MLP, and k-NN.
- As seen in Table 5 (Experiment 3), DL exhibited the best accuracy performance in comparison with SVM, RF, MLP, and k-NN.
- As seen in Table 6 (Experiment 4), k-NN displayed the best accuracy performance compared to DL, SVM, RF, and MLP.

Figure 2 show the accuracy results obtained with Experiments 1-4. In Experiment 1, Experiment 2, and Experiment 4, the quick observation determines that the simple deep learning model in WEKA exhibited the worst performance compared to the other models, while RF and k-NN had the highest accuracy.

Table 3. Comparison metrics of methods for Experiment 1

Method	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
DL	88.6957%	0.887	0.887	0.887
SVM	86.5217%	0.849	0.865	0.853
RF	<b>88.913%</b>	<b>0.889</b>	<b>0.889</b>	<b>0.889</b>
MLP	88.4783%	0.886	0.885	0.885
k-NN	88.6957%	0.886	0.887	0.885

Table 4. Comparison metrics of methods for Experiment 2

Method	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
DL	87.931%	0.882	0.879	0.880
SVM	86.4532%	0.851	0.865	0.856
RF	<b>89.9015%</b>	<b>0.900</b>	<b>0.899</b>	<b>0.899</b>
MLP	87.1921%	0.872	0.872	0.872
k-NN	88.4236%	0.882	0.884	0.882

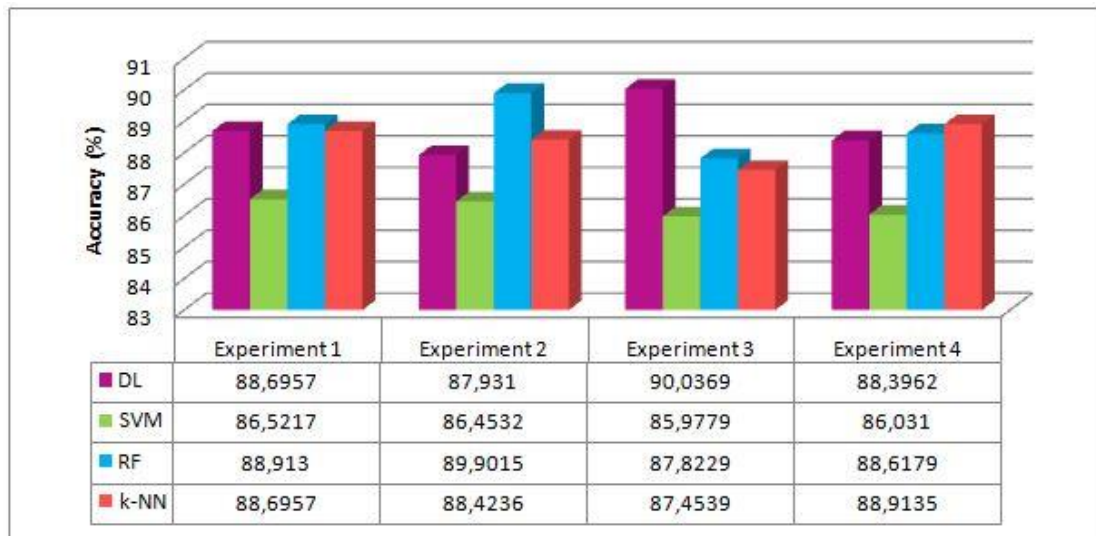
Table 5. Comparison metrics of methods for Experiment 3.

Method	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
DL	<b>90.0369%</b>	<b>0.902</b>	<b>0.900</b>	<b>0.901</b>
SVM	85.9779%	0.838	0.860	0.847
RF	87.8229%	0.880	0.878	0.879
MLP	88.9299%	0.890	0.889	0.889
k-NN	87.4539%	0.873	0.875	0.873

Table 6. Comparison metrics of methods for Experiment 4.

Method	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
DL	88.3962%	0.885	0.884	0.884
SVM	86.031%	0.843	0.860	0.846
RF	88.6179%	0.886	0.886	0.886
MLP	88.7657%	0.888	0.888	0.888
k-NN	<b>88.9135%</b>	<b>0.887</b>	<b>0.889</b>	<b>0.886</b>

Figure 2: Accuracy results obtained with experiments.



The implementation of the algorithms was performed on a PC having an Intel Core i3-2367M processor, a 4 GB memory size, and a 1.40 GHz clock speed. Table 7 summarizes the working times obtained by running the approaches applied with the training and test data (Experiments 1-3) and Table 8 summarizes

cross-validation data (Experiment 4) with different methods. In Table 7, RF was the fastest method with Experiment 3 approach, the DL method was the slowest method with Experiment 1 approach. Whereas, in Table 8, k-NN was the fastest method with Experiment 4 approach, DL was the slowest method.

Table 7. Comparison of the working time (in second) of the methods for Experiment 1-Experiment 3.

Method	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
DL	<b>495.22</b>	474.91	482.53
SVM	0.47	0.47	0.32
RF	0.16	0.07	<b>0.05</b>

MLP	5.07	4.74	4.83
k-NN	0.06	0.12	0.06

Table 8. Comparison of the working time (in second) of the methods for Experiment 4

Method	Time (in seconds)
DL	<b>486.23</b>
SVM	0.33
RF	0.03
MLP	4.78
k-NN	<b>0.01</b>

## 4. Conclusions and Recommendations

Within the scope of this study, it was estimated whether a website is an identity thief using different popular classifier methods in the WEKA environment. The methods were compared in terms of working time and different success criteria. An important reason for obtaining results close to each other is that some of the features in the data set are particularly strong and moderately related, indicating the class of instances.

At the same time, we show in the current study the systematic methodology of utilizing WEKA DeepLearning4j to classify web phishing. For future research, we want to investigate the novel approach toward web phishing classification, "deep learning," which can enhance the results. It is possible to utilize a lot of different potential combinations of neural networks, layer architectures and sizes, and other criteria to enhance the classification success rate. In the present research, the testing of only a few combinations of layers was performed.

## References

- [1] Güven, H. (2020), Changes in E-Commerce in the Covid-19 Pandemic Crisis Process, Eurasian Journal of Researches in Social and Economics (EJRSE), 7(5):251-268, ISSN:2148-9963.
- [2] <https://atlasvpn.com/blog/google-reports-over-2-million-phishing-sites-in-2020-ytd>
- [3] Batur Dinler, Ö., Aydın, N. (2020), An Optimal Feature Parameter Set Based on Gated Recurrent Unit Recurrent Neural Networks for Speech Segment Detection, *Applied Sciences*. 10(4):1273. <https://doi.org/10.3390/app10041273>.
- [4] Moghimi, M., Varjani, A. Y. (2016), New rule-based phishing detection method[J], *Expert Systems with Applications*, 53: 231-242.
- [5] Nguyen HH, Nguyen DT. (2016), Machine Learning based phishing web sites detection. AETA 2015: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences. LNEE, 371, 123-131.
- [6] Zouina, M., Outtaj, B. (2017), A novel lightweight URL phishing detection system using SVM and similarity index. *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 7, p. 17. Springer Open, Netherlands.
- [7] Chiew, K.L., Tan, C.L., Wong, K., Yong, K.S., Tiong, W.K. (2019), A new hybrid ensemble feature selection framework for machine learning-based phishing detection system. *Inf. Sci.* 484, 153–166.
- [8] Sahingoz, O.K., Buber, E., Demir, O., Diri, B. (2019), Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Syst. Appl.* 117, 345–357.
- [9] Bahnsen, A.C., Bohorquez, E.C., Villegas, S., Vargas, J., Gonzalez, F.A. (2017), Classifying phishing URLs using recurrent neural networks. In: Proc of 2017 APWG Symposium on Electronic Crime Research (eCrime), pp. 1–8.
- [10] Nivaashini. M. (2017). Deep Boltzmann Machine Based Detection of Phishing URLs, *International Journal of Advances in Electronics and Computer Science*, Volume-4, Issue-9, Sep.
- [11] Yuan, H., Chen, X., Li, Y., Yang, Z., and Liu, W. (2018), Detecting Phishing Websites and Targets Based on URLs and Webpage Links, in 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp.3669–3674, doi: 10.1109/ICPR.2018.8546262.
- [12] Selvaganapathy, S.G., Nivaashini, M., and Natarajan, H.P. (2018), Deep belief network based detection and categorization of malicious URLs, *Inf. Secur. J., Global Perspective*, vol. 27, no. 3, pp. 145–161, Apr.
- [13] Chen, W., Zhang, W., and Su, Y. (2018), Phishing detection research based on LSTM recurrent neural network, in Proceedings of International Conference of Pioneering Computer Scientists, Engineers and Educators, pp. 638–645, Springer, Zhengzhou, China, September.
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/WeChat>.
- [15] Gupta, B. B., Arachchilage, N. A. G. & Psannis, K. E. (2018), Defending against phishing attacks: Taxonomy of methods, current issues and future directions. *Telecommunication Systems*, 67 (2), 247–267.
- [16] Prakash, P., Kumar, M., Kompella, R.R., and Gupta, M., (2010), Phish-Net: Predictive blacklisting to detect phishing attacks," in *Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM2010)*, San Diego, USA, March.
- [17] Jain, A.K., and Gupta, B.B. (2016), A novel approach to protect against phishing attacks at client side using auto-updated white-list, *EURASIP Journal on Information Security*, vol. 2016, no. 1, p. 1-9.
- [18] Jain, A.K., and Gupta, B.B. (2017), Phishing Detection: Analysis of Visual Similarity Based Approaches, *Security and Communication Networks*, vol. 2017, pp. 1–20, doi: 10.1155/2017/5421046.
- [19] Babagoli, M., Aghababa, M. P., & Solouk, V. (2018), Heuristic nonlinear regression strategy for detecting phishing websites. *Soft Computing*, pp: 1–13.



- [20] Abu-Nimeh, S., Nappa, D., Wang, X., & Nair, S. (2007), A comparison of machine learning techniques for phishing detection. In Proceedings of the anti-phishing working groups 2nd annual ecrime researchers summit, eCrime '07, ACM, New York, NY, USA (pp. 60–69). APWG. Accessed 24 July 2018. [http://docs.apwg.org/reports/apwg\\_trends\\_report\\_q4\\_2016.pdf](http://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q4_2016.pdf)
- [21] UCI Machine Learning Repository, Website Phishing Data Set, <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Website+Phishing> (17.01.2021)
- [22] Frank, E., Hall, M.A., Witten, I.H. (2016), The Weka Workbench, 4th ed.; Online Appendix for “Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques”, Morgan Kaufmann: Burlington, MA, USA.
- [23] Lang, S., Bravo-Marquez, F., Beckham, C., Hall, M., Frank, E. (2019), WekaDeepLearning4j: A Deep Learning Package for Weka based on DeepLearning4j, Knowl.-Based Syst. 178, 48–50. [CrossRef]
- [24] Mouratidis, D., ve Kermanidis, K. (2019), Paralel Verilerin Dilden Bağımsız Otomatik Seçimi için Topluluk ve Derin Öğrenme. Algoritmalar, 12 (1), 26. doi: 10.3390/a12010026 .
- [25] Şahin, C., and Dırı B. (2019), Robust Feature Selection with LSTM Recurrent Neural Networks for Artificial Immune Recognition System, IEEE Access, Vol.7, pp. 24165 – 24178.



## Fraksiyonel Dereceli Kaotik Lorenz Sistemi'nin Devre Sentezi

İbrahim Ethem Saçu<sup>1\*</sup>, Nimet Korkmaz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Arş. ve Uyg. Merkezi (ERKAM), Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8627-8278), iesacu@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Arş. ve Uyg. Merkezi (ERKAM), Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7419-1538), nimetdahasert@erciyes.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901025)

**ATIF/REFERENCE:** Saçu, İ. E. & Korkmaz, N. (2021). Fraksiyonel Dereceli Kaotik Lorenz Sistemi'nin Devre Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 42-46.

### Öz

Bu çalışmada fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin devre sentezinde; fraksiyonel dereceli diferansiyel denklemlerin integrasyon işlemi gerçeklemek için standart kapasitörler kullanmak yerine R-C taklit devrelerinin kullanılmış ve bu devrelerin tasarım aşamaları üzerinde durulmuştur. Fraksiyonel dereceli sistemin R-C taklit devreleri ile tasarımı için, Matsuda yaklaşıklık metodu ile üçüncü dereceden transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen bu fonksiyon FOSTER-I R-C ağına dönüştürülerek, kaotik Lorenz Sistemi'nin devre çözümünde kullanılmıştır. Fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin devre çözümü için tasarlanan sistemin doğrulaması SPICE devre simülasyonu ile yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaotik Lorenz Sistemi, Fraksiyonel Kapasitör, Devre Sentezi, Matsuda Yaklaşıklık Yöntemi, FOSTER-I Ağı.

## The Circuit Synthesis of the Fractional-Order Chaotic Lorenz System

### Abstract

In this study, the R-C emulator circuits have been used instead of using standard capacitors in the circuit synthesis of the fractional-order Lorenz System and the design stages of these circuits have been emphasized. A third order transfer function has been obtained by Matsuda approximation method in order to get design of the fractional-order system with R-C emulator circuits. This obtained function has been transformed into FOSTER-I R-C network and this network structure has been used in the circuit solution of the chaotic Lorenz System. The verification of the system, which is designed for the circuit solution of the fractional-order Lorenz System, has been made by SPICE circuit simulation.

**Keywords:** Chaotic Lorenz System, Fractional Capacitor, Circuit Synthesis, Matsuda Approximation Method, FOSTER-I Network.

## 1. Giriş

Düzensizliğin düzeni şeklinde tanımlanan kaotik sistemlerin en temel karakteristikleri, başlangıç şartlarına duyarlılık ve geniş güç spektrumudur. Bu kavram literatüre ilk kez Fransız filozof Henry Poincare'in yaptığı astronomi çalışmaları ile 20. yüzyılın başlarında sunulmuş olup, kompleks sistemler üzerinde yapılan analizlerle ilgili çalışmalarda kullanılmıştır [1]. Bu sistemlerde; başlangıç koşullarındaki küçük farklılıklar, sistem çıkışında büyük değişikliklere sebep olmakta ve bu sebeple sistem çıkışının tahmin edilebilirliği zorlaşmaktadır. Öyle ki bazı durumlarda kompleks davranış sergilemeyen dinamik sistemlerde meydana gelen küçük parametre değişimleri, sistemi kaotik davranışa sürüklenmektedir.

Günümüzde kaos konusu; tıp, fizik, kimya, biyoloji gibi temel bilimler, mühendislik ve meteoroloji, ekonomi gibi farklı alanlarda sıklıkla çalışılmaktadır. Küresel ısınma konusunda karbon emisyonu iklim değişikliği gibi etkenlerin, ekonomi üzerinde faiz oranlarının ve borsadaki dalgalanmalarının ya da popülasyon devamlılığı için çevre şartlarının ele alındığı ve düzensizliğin hakim olduğu bilimsel çalışmalarda; bu süreçlerin devamında meydana gelebilecek sonuçların öngörülmesi için elde edilen verilerin analizine ve sonuçların yorumuna ihtiyaç vardır. Doğrusal olmayan bu sistemlerin analiz süreçlerinde klasik yöntemlerden yararlanılarak elde edilen sonuçlar beklentileri karşılamamaktadır. Bu sebeple kaotik sistemlerin analizi için yeni yöntemlerin kullanılması gündeme gelmiştir [2].

Doğrusal olmayan sistemlerin en yaygın uygulama alanlarından biri olan kaotik sistemler; ayrık zamanlı fark denklemleri ile tanımlanabildiği gibi, diferansiyel denklem takımları ile de ifade edilebilmektedir. Bunların yanı sıra, son zamanlarda fraksiyonel tanımlı genelleştirilmiş doğrusal olmayan sistemler üzerine de birçok çalışma yapılmaktadır. Fraksiyonel hesaplama, klasik matematiksel hesaptan farklı olarak diferansiyel denklemlerin derecesinin tam sayı olmayabileceğini belirtmekte ve daha genel bir tanımlama ortaya koymaktadır. Böylece herhangi bir diferansiyel denklemin derecesi tam sayı, kesirli sayı hatta kompleks sayı olabilmektedir. Kaotik sistemlerin uygulama alanlarına benzer şekilde, fraksiyonel hesaplamalı sistemler de mühendislik, biyoloji, kontrol teorisi gibi alanlarda kullanılabilir.

Fraksiyonel sistemlerin en önemli avantajlarından biri sistem modelleme çalışmalarında daha ayrıntılı tanımlamalar sağlamasıdır. Ayrıca modellerde kullanılan fraksiyonel derecelerin harici bir sistem parametresi olarak kullanılması, bu sistemlerin tasarımında ve kontrollerinde ek bir esneklik sağlamaktadır. Kaotik sistemler başlangıç koşullarına ve sistem parametrelerine hassas bağımlı yapılar olduklarından; bu sistemlerin fraksiyonel dereceden ifadelerle tanımlanmaları, analizlerinde ve kontrollerinde ek bir avantaj sağlayacak ve farklı dinamiklerin oluşmasına dahi imkân verebilecektir [3].

Bu çalışmada kaos konusuna öncülük eden meteorolog Lorenz'in 1963 yılında sıvılardaki türbülans hareketi ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar sonucunda literatüre kazandırılan kaotik Lorenz Sistemi'nin fraksiyonel versiyonu üzerinde durulmuştur [4]. Öncelikle, fraksiyonel dereceden üç adet durum denklemleri ile tanımlanan bu sistemin kararlılık analizleri yinelenerek, sistemin kaotik davranış sergileyebileceği minimum fraksiyonel derece belirlenmiştir. Ardından, fraksiyonel derece ile tanımlı diferansiyel denklemlerin nümerik çözümü için

kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan Grünwald-Letnikov (G-L) fraksiyonel türev yöntemi ile sistemin nümerik yanıtları elde edilmiştir [5].

G-L yöntemi nümerik yanıtların incelenmesi hususunda başarılı olmasına rağmen, sistemlerin devre gerçekleştirimi çalışmalarında önceki durum bilgilerinin tamamına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle gerçekleştirim çalışmalarında elverişsiz bir çözüm haline gelmektedir. G-L yönteminin devre gerçekleştirimine aktarımı için, her ne kadar sınırlı hafıza (short-memory) yaklaşımı gibi çözümler önerilse de, fraksiyonel dereceli sistemlerin donanım gerçekleştirimleri için kullanılan alternatif yöntemler devre karmaşıklığı ve donanım maliyeti açısından daha avantajlı hale gelmektedir. Bu alternatif yöntemler, genellikle fraksiyonel türev operatörünü arzu edilen sınırlı bantta karşılayacak olan tam sayı dereceli yaklaşıklık fonksiyonlarının türetilmesine dayanmaktadır. Devre sentezi esnasında ise ilgili yaklaşıklık fonksiyonları R-C, R-L ya da R-L-C ağları ile taklit edilebilmektedir [6].

Bu çalışmada fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin devre sentezinde; fraksiyonel dereceli diferansiyel denklemlerin integrasyon işlemini gerçekleştirmek için standart kapasitörler kullanmak yerine R-C taklit devrelerinin kullanılması ve bu devrelerin tasarım aşamaları üzerinde durulmuştur. Fraksiyonel dereceli sistemin R-C taklit devreleri ile tasarımı için, Matsuda yaklaşıklık metodu ile üçüncü dereceden transfer fonksiyonu elde edilmiştir [7]. Elde edilen bu fonksiyon FOSTER-I R-C ağına dönüştürülerek, kaotik Lorenz Sistemi'nin devre çözümünde kullanılmıştır. Tasarlanan fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin SPICE devre simülasyonu ile doğrulanması yapılmıştır [8-10].

Bu kapsamda; fraksiyonel dereceli kaotik Lorenz Sistemi'nin tanıtılması, denge noktalarının hesaplanması, kararlılık analizlerinin yapılması ve bu analizler sonucunda sistemin dinamiklerini koruyarak doğrusal olmayan davranışlarını sergileyebilmesi için kullanılacak minimum fraksiyonel derecenin hesaplanması işleminin ayrıntıları Bölüm 2'de ele alınacaktır. Minimum fraksiyonel derecenin belirlenmesinin ardından, Lorenz sisteminin dinamik davranışlarını etkilemeyen bir fraksiyonel derece belirlenerek G-L yöntemi ile nümerik simülasyon sonuçları elde edilmiş ve bu sonuçlar Bölüm 3'te verilmiştir. Bölüm 4'te fraksiyonel dereceli sistemin gerçekleştirimi için kullanılacak olan FOSTER-I R-C ağının oluşturulması için takip edilmesi gereken sürecin ayrıntıları ele alınmış ve SPICE devre simülasyon sonuçları sunulmuştur. Son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## 2. Fraksiyonel Dereceli Lorenz Sistemi

Kaotik ve sürekli-zamanlı dinamik sistemlerden biri olan Lorenz sistemi sıvılardaki konveksiyonu modellemek için sunulmuştur. Üç adet durum denklemleri ile tanımlanan sistemin durum denklemlerinden ikisi sıcaklık katsayısı, üçüncüsü ise hız alanı katsayısıdır. Fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'ne ait eşitlikler Denklem 1'de verilmektedir [4]:

$$\begin{aligned} {}_0D_t^{q_1}x &= a(y-x) \\ {}_0D_t^{q_2}y &= cx - xz - y \\ {}_0D_t^{q_3}z &= xy - bz \end{aligned} \quad (1)$$

Burada  $a$ ,  $b$  ve  $c$  Lorenz Sistemi'nin kaotik dinamiklerini etkileyen ayarlanabilir parametreleridir. Sistemin tamsayı derecede kaotik salınımlar sergilemesi için  $a=10$ ,  $b=8/3$  ve  $c=28$  olarak ayarlanabilir.

Denklem 1'de verilen Lorenz sisteminin denge noktaları, sistemin durum değişkenlerinin sıfıra eşitlenerek çözülmesi sonucunda  $E_1=(0, 0, 0)$ ,  $E_2=(-8.4853, -8.4853, 27)$  ve  $E_3=(8.4853, 8.4853, 27)$  şeklinde hesaplanmıştır. Denklem 1'deki sistemin Jacobian matrisi Denklem 2'deki gibi elde edilmiştir [11].

$$J = \begin{pmatrix} -a & a & 0 \\ c-z^* & -1 & -x^* \\ y^* & x^* & -b \end{pmatrix} \quad (2)$$

Fraksiyonel dereceli sistemlerin kararlık analizleri için Lyapunov üstellerini hesaplama yöntemi elverişsiz bir yöntemdir. Bunun yerine, bu çalışmada Tavazoei and Haeri [32] tarafından önerilen ve kök değerlerinin hesaplanması ile fraksiyonel sistemlerin kararlılık durumlarının belirlenmesine imkân sağlayan yöntem kullanılmıştır. Buna göre;  $E_1$  için özdeğerler  $\lambda_{1,2,3} = (-22.8277, 11.8277, -2.6667)$  iken,  $E_2$  ve  $E_3$  için özdeğerler  $\lambda_{1,2,3} = (-13.8546, 0.0940+10.1945i, 0.0940-10.1945i)$  olarak elde edilir. Kararlılık şartı için  $|\arg(\lambda)| > (q\pi/2)$  şartı sağlanmalıdır [12]. Buradan şartı sağlayan minimum fraksiyonel derece " $q_{min} > 0.9941$ " olarak elde edilmektedir. Bu çalışma için fraksiyonel derece " $q = 0.995$ " olarak seçilmiştir.

### 3. Fraksiyonel Dereceli Lorenz Sistemi

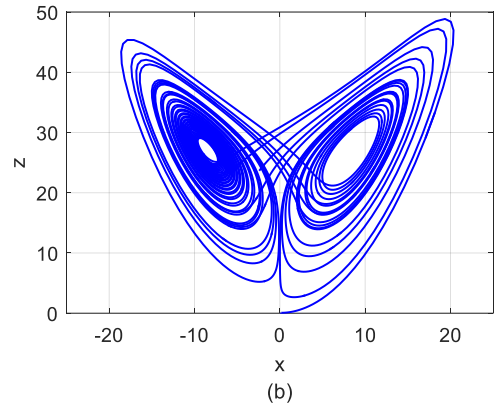
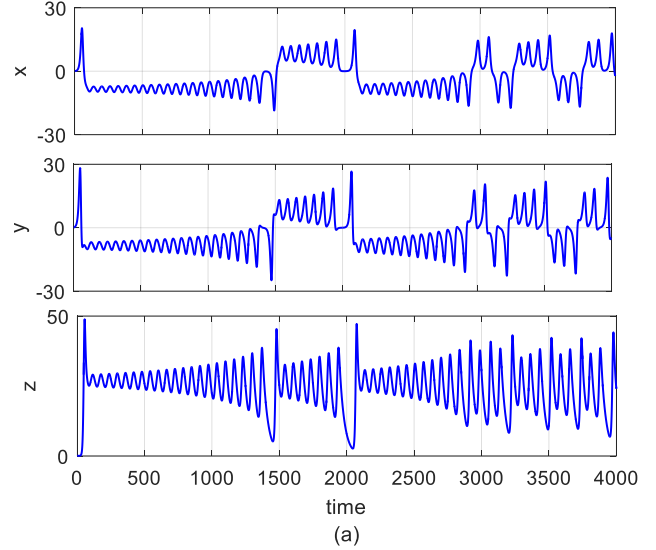
Literatürde fraksiyonel türev işleminin çözümü için Riemann-Liouville, Caputo ve Grünwald-Letnikov (G-L) gibi farklı etkin hesaplama yöntemleri mevcuttur [5]. Burada fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin nümerik simülasyonu için matematiksel tanımlamaları Denklem 3'te verilen G-L yöntemi kullanılmıştır.

$${}_a D_t^q f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^q} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{t-a}{h} \rfloor} (-1)^j \binom{q}{j} f(t-jh) \quad (3)$$

Burada  $a$  ve  $t$  türev işleminin sınırları iken,  $h$  adım büyüklüğüdür. '[\*]' işlemi tamsayı kısmı ifade ederken, binom ifadesinin açılımı Denklem 4'teki gibidir:

$$\binom{q}{j} = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(j+1)\Gamma(q-j+1)} \quad (4)$$

Denklem 3'te  $j=4000$  ve  $h=0.01$  değerleri kullanılarak  $[x(0)=1, y(0)=1, z(0)=1]$  başlangıç koşulları kullanılarak G-L yöntemi ile çözülen fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'ne ait nümerik simülasyon sonuçları Şekil 1'de sunulmaktadır. Şekil 1.a'da  $x$ ,  $y$  ve  $z$  durum değişkenlerinin zaman domeni cevapları sunulurken, Şekil 1.b'de  $x$ - $z$  faz portresi cevabı verilmektedir.



Şekil 1. Fraksiyonel dereceli Lorenz sistemi'nin G-L yöntemi kullanılarak yapılan nümerik simülasyon sonucu.

### 4. Fraksiyonel Dereceli Lorenz Sistemi'nin Devre Sentezi

Fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin G-L yöntemi ile nümerik yanıtların incelenmesinin ardından bu bölümde fraksiyonel sistemin devre sentezi üzerinde durulacaktır. Daha önce de bahsedildiği gibi fraksiyonel türev ve integral işlemlerinin nümerik çözümü için geliştirilen yöntemlerin fraksiyonel dereceli sistemlerin devre sentezinde doğrudan kullanılması oldukça güçtür. Bu sebeple fraksiyonel dereceli sistemlerin donanım gerçekleştirimleri için kullanılan alternatif yöntemler devre karmaşıklığı ve donanım maliyeti açısından daha avantajlı hale gelmektedir. Bu alternatif yöntemler, genellikle fraksiyonel türev operatörünü arzu edilen sınırlı bantta karşılayacak olan tam sayı dereceli yaklaşık fonksiyonlarının türetilmesine dayanmaktadır [6].

Bu çalışmada fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi için elde edilmesi amaçlanan tam sayı dereceli yaklaşık fonksiyonun hesabı için Matsuda yönteminden yararlanılmıştır. Yaklaşıklık Matsuda yöntemi ile elde edilmesi için iki aşamalı bir hesaplama uygulanır. Öncelikle " $s^q$ "nun rasyonel bir modeli sürekli fraksiyonel açılım yöntemi ile elde edilir. Ardından arzu edilen frekanstaki orijinal fonksiyona sabitleme işlemi uygulanır. Sonuç olarak " $s^q$ "nun yaklaşık fonksiyonu Matsuda yöntemi ile Denklem 5'teki gibi hesaplanır [7]:

$$s^q = d_0(2\pi f_0) + \frac{s - 2\pi f_0}{d_1(2\pi f_1) + \frac{s - 2\pi f_1}{d_2(2\pi f_2) + \frac{s - 2\pi f_2}{\dots}}} \quad (5)$$

$$d_0(2\pi f) = |(j2\pi f)^q|$$

$$d_{k+1}(2\pi f) = \frac{2\pi f - 2\pi f_k}{d_k(2\pi f) - d_k(2\pi f_k)} \quad k = 0,1,\dots,N$$

Bu yöntemde kutupların ve sıfırların toplam sayısı yaklaşık N derecesi olarak bilinir.

Matsuda yöntemi kullanılarak  $q=0.995$  değeri için hesaplanan yaklaşıklık fonksiyonu Denklem 6'da sunulmaktadır:

$$H(s)_{10n,Matsuda}^{0.995} = \frac{s^3 + 4.165 \times 10^7 s^2 + 1.496 \times 10^{12} s + 4.109 \times 10^{15}}{0.3924 s^3 + 1.428 \times 10^4 s^2 + 3.977 \times 10^7 s + 9.55 \times 10^7} \quad (6)$$

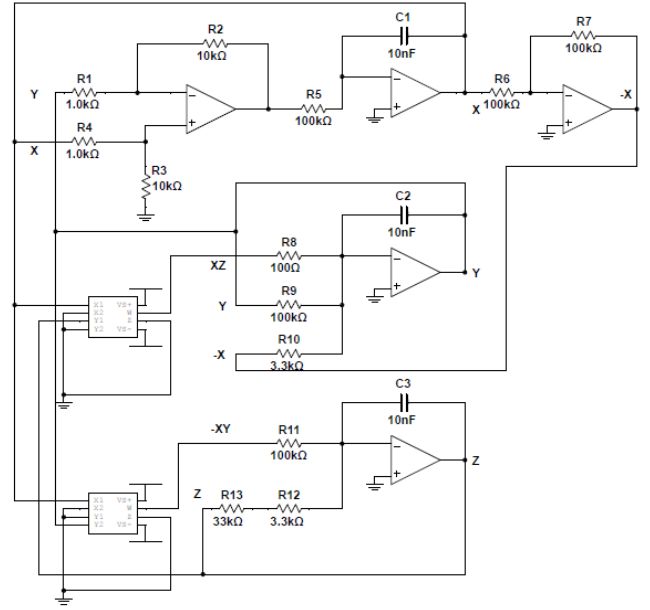
Tam sayı dereceden tanımlanmış Lorenz Sistemi'nin ayrık elemanlar kullanılarak donanım gerçekleştirim çalışması göz önüne alındığında, sistemin diferansiyel ifadelerinin gerçekleştirimi için kapasitör elemanının  $Z(s)=1/sC$  ifadesi ile temsilinden yararlanılmaktadır. Lorenz Sistemi'nin ayrık donanım ile gerçekleştirim çalışmasına örnek teşkil eden bir devre şeması Şekil 2'de sunulmaktadır.

Sistemin gerçekleştirim şeması göz önünde bulundurularak, Laplace domeninde tanımlı olan klasik kapasitör ifadesi ve eşitlikleri, fraksiyonel matematikle tanımlanarak genelleştirilirse  $Z(s) = 1/s^q C_q$  tanımlaması karşımıza çıkmaktadır. Bu tanımlama fraksiyonel kapasitör kavramı olarak değerlendirilmekte ve iki terminalli bir eleman gibi düşünülmektedir. Bu iki terminalli yapının değeri 10nF olan normal bir kapasitör yerine kullanılabilmesi için,  $q=0.995$  fraksiyonel derecesi ve Denklem 6'daki yaklaşıklık fonksiyonu kullanılarak FOSTER-I R-C ağ yapısına uygun şekilde Şekil 3 'teki gibi bir tasarım yapılmıştır [8].

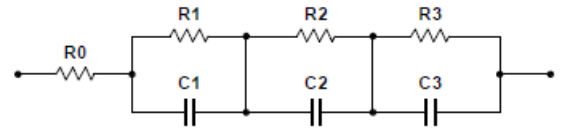
Değeri  $10nF/s^{0.005}$  olan ideal fraksiyonel dereceli kapasitör ve Denklem 6 ile verilen yaklaşıklık fonksiyonunun genlik (Şekil 4a) ve faz (Şekil 4b) yanıtlarının karşılaştırılması Şekil 4'te sunulmaktadır. İlgili şekillerden de görülebileceği gibi ideal fraksiyonel kapasitörün faz açısı  $\pi q/2$  ilişkisine bağlı olarak  $-89.55^\circ$ 'de sabitken, yaklaşıklık fonksiyonunun faz açısı belirli bir frekans bandı dışında sapmaktadır.

Şekil 3'teki bu tasarımda eleman değerleri  $R_0=2.5485\Omega$ ,  $R_1=40.005\Omega$ ,  $R_2=433.7114\Omega$ ,  $R_3=43.024M\Omega$ ,  $C_1=749.22nF$ ,  $C_2=759.59nF$ ,  $C_3=9.6717nF$  olarak belirlenmiştir. Bu R-C ağ yapısının Şekil 2'deki devre yapısına adaptasyonu ile  $q=0.995$  fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi için tasarlanan devre yapısı elde edilmiştir. Bu devre yapısına ait SPICE simülasyon sonuçları Şekil 5'te verilmektedir.

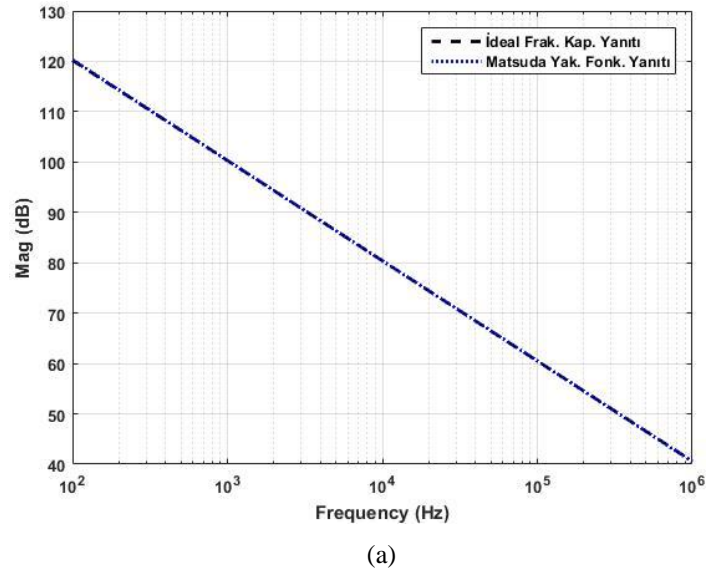
Şekil 5'teki simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi  $q=0.995$  fraksiyonel dereceli kaotik Lorenz sistemi için hesaplanan yaklaşıklık fonksiyonu kullanılarak tasarlanan R-C ağ yapısının, tamsayı dereceli Lorenz Sistemi için tasarlanan devre yapısına adaptasyonu ile fraksiyonel dereceli sisteme ait devre yapısı başarılı bir şekilde sentezlenmiştir.

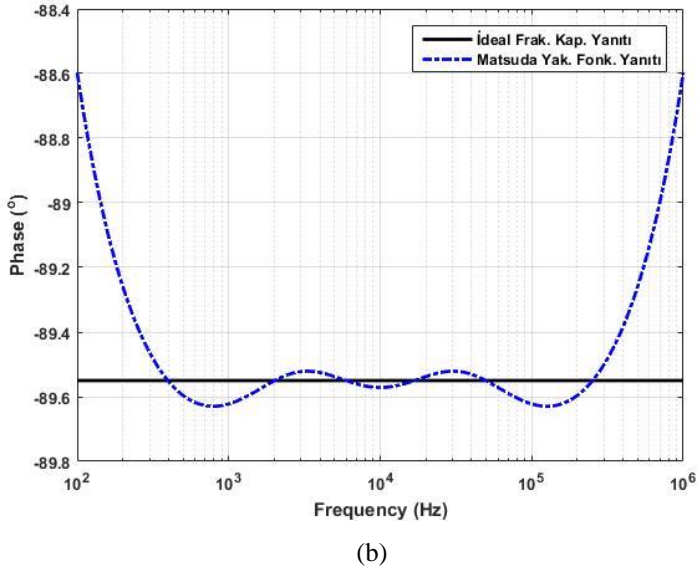


Şekil 2. Kaotik Lorenz Sistemi'nin VOA tabanlı opamplar kullanılarak ayrık donanımlarla gerçekleştirim şeması.



Şekil 3.  $q=0.995$  fraksiyonel dereceli  $10nF/s^{0.005}$ 'lik kapasitör için FOSTER-I R-C ağ yapısına uygun tasarlanan devre şeması.





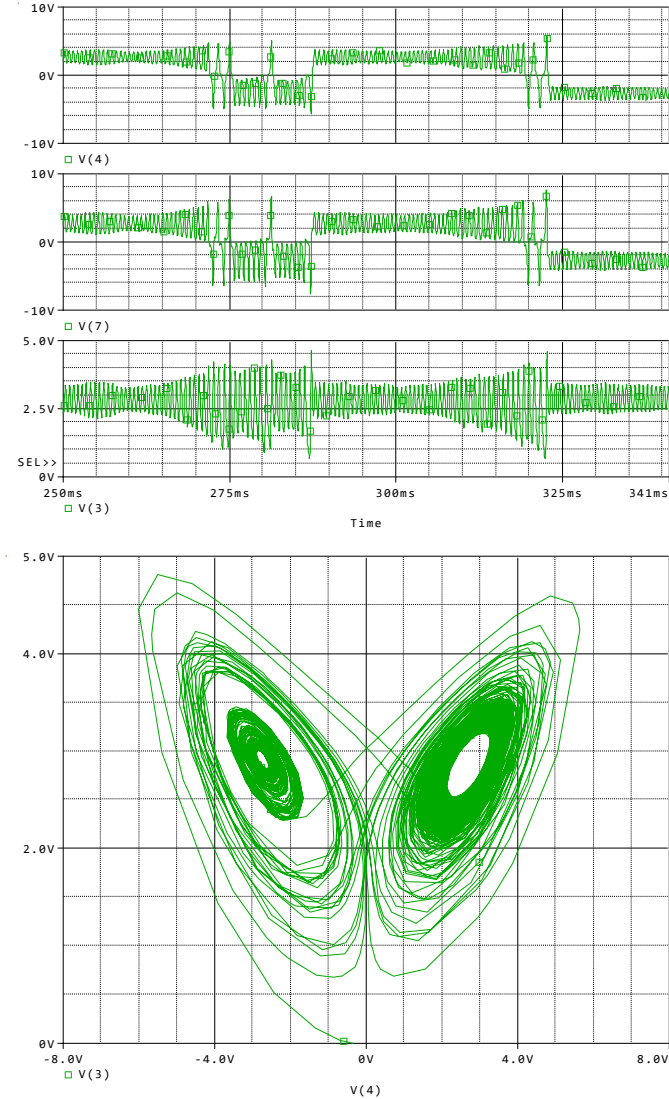
Şekil 4. Değeri  $10nF/s^{0.005}$  olan ideal fraksiyonel dereceli kapasitör ile yaklaşık fonksiyonunun a) genlik ve b) faz yanıtlarının karşılaştırılması.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada fraksiyonel dereceli kaotik Lorenz Devresi için FOSTER-I R-C ağ yapısından yararlanılarak bir taktik devresi sentezi yapılmış sonuçlar SPICE simülasyonu ile test edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle kaotik Lorenz sisteminin denge noktaları hesaplanmış, kararlılık analizleri yapılarak sistemin kaotik davranış sergileyebilmesi için minimum fraksiyonel derecesi " $q_{min} > 0.9941$ " olarak elde edilmiştir. Bu hesaplamaların ardından  $q=0.995$  değeri kullanılarak fraksiyonel dereceli Lorenz Sistemi'nin diferansiyel denklemlerinin çözümü için Grünwald-Letnikov analiz yöntemi kullanılarak nümerik analizi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Nümerik analiz sonrasında belirlenen fraksiyonel derece için Matsuda yaklaşıklık yöntemi kullanılarak üçüncü dereceden bir transfer fonksiyonu hesaplanmıştır. Belirlenen transfer fonksiyonunun FOSTER-I R-C ağ yapısı ile gerçekleştiriminin tamsayı dereceli Lorenz Sistemi için tasarlanan devre yapısına adaptasyonu ile bu sistemin fraksiyonel dereceden devre sentezi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Sisteme ait devre simülasyon sonuçları nümerik simülasyon sonuçları ile birebir uyumludur.

## Kaynakça

- [1] May, R. M., Isham, V., Bolker, B., Renshaw, E., Lawrance, A. J., Spencer, N. M., ... & Cheng, B. (1992). Discussion on the meeting on chaos. 0035-9246, 54(2), 451-474.
- [2] Pamuk, N. (2013). Dinamik sistemlerde kaotik zaman dizilerinin tespiti. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(1), 78-92.
- [3] Sacu, I. E., & Alci, M. (2018). Low-power OTA-C based tuneable fractional order filters. Electronic Components and Materials, 48(3), 135-144.
- [4] Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. Journal of atmospheric sciences, 20(2), 130-141.
- [5] Podlubny, I. (1998). Fractional differential equations: an introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications. Elsevier.
- [6] Krishna, B. T. (2011). Studies on fractional order differentiators and integrators: A survey. Signal Processing, 91(3), 386-426.
- [7] Matsuda, K., & Fujii, H. (1993). H (infinity) optimized wave-absorbing control-Analytical and experimental results. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 16(6), 1146-1153.
- [8] Elwy, O., Rashad, S. H., Said, L. A., & Radwan, A. G. (2018). Comparison between three approximation methods on oscillator circuits. Microelectronics Journal, 81, 162-178.
- [9] Kiliç, R., & Korkmaz, N. (2016). Experimenting chaos with chaotic training boards. Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM), 1, 71-84.
- [10] Cuomo, K. M., & Oppenheim, A. V. (1993). Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications. Physical review letters, 71(1), 65.
- [11] Tavazoei, M. S., & Haeri, M. (2007). A necessary condition for double scroll attractor existence in fractional-order systems. Physics Letters A, 367(1-2), 102-113.
- [12] Tavazoei, M. S., & Haeri, M. (2009). A note on the stability of fractional order systems. Mathematics and Computers in simulation, 79(5), 1566-1576.



Şekil 5.  $q=0.995$  fraksiyonel dereceli Lorenz sistemi'nin FOSTER-I R-C kullanılarak yapılan devre sentezine ait simülasyon sonucu.



# Bernoulli-Equation-Based Robotic Model for Non-Contact Magnetic Micromanipulation

Jiyan Sürer<sup>1</sup>, Ahmet Fatih Tabak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kadir Has University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3388-7843), [20181701031@stu.khas.edu.tr](mailto:20181701031@stu.khas.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Kadir Has University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechatronics Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3311-6942), [ahmetfatih.tabak@khas.edu.tr](mailto:ahmetfatih.tabak@khas.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899657)

**ATIF/REFERENCE:** Sürer J., Tabak, A.F., (2021). Bernoulli-Equation-Based Robotic Model for Non-Contact Magnetic Micromanipulation. *European Journal of Science and Technology*, (24), 47-52.

## Abstract

Micromanipulation is an important part of biomedical micro-robotic applications. The lab-on-a-chip applications with live cells and require delicate handling of samples to not compromise their structural integrity. The non-contact micromanipulation via hydrodynamic interactions stands out as an alternative reliable method to avoid this problem. There are several numerical and experimental studies in the literature demonstrating the use of such micro-robotic systems. Furthermore, the analytical models explaining the non-contact manipulation rely on higher-order effects or interfacial interactions along with the inertial forces for rigid-body motion. In this study, the flow field of a free vortex, induced by a rotating magnetic particle, is modeled with the help of conservation of energy across the curvilinear streamlines along with the Magnus effect implicitly implemented in the equation of motion. The streamlines are assumed to be undisturbed although a non-magnetic particle is modeled to be dragged by the induced flow. The rigid body motion of the non-magnetic particle is obtained with the help of drag coefficients and pressure difference along the radial direction. And the pressure difference is predicted along with the rigid-body rotation of the particle along its axis. The results indicate a stable orbit with a constant radial position while the non-magnetic particle completes one full revolution around the core of the free vortex. Furthermore, it has been observed that the step-out phenomenon does not undermine the stability of the rigid-body motion of the particles.

**Keywords:** non-contact manipulation, robotic simulation, Bernoulli equation, free vortex flow

## Temassız Manyetik Mikro Manipülasyon için Bernoulli Denklemine Dayalı Robotik Model

### Öz

Mikro manipülasyon, biyomedikal mikro robotik uygulamaların önemli bir parçasıdır. Canlı hücreler ile yapılan testler, yapısal bütünlüklerinden ödün vermemek için numunelerin hassas bir şekilde işlenmesini gerektirir. Hidrodinamik etkileşimler yoluyla temassız mikro manipülasyon, alternatif bir güvenilir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Literatürde bu tür mikro robotik sistemlerin kullanımını gösteren çok sayıda sayısal ve deneysel çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, temassız manipülasyonu açıklayan analitik modeller, katı cisim hareketi için atalet kuvvetleri ile birlikte yüksek mertebeden etkilere veya arayüzey etkileşimlerine

\* Corresponding Author: [ahmetfatih.tabak@khas.edu.tr](mailto:ahmetfatih.tabak@khas.edu.tr)

dayanmaktadır. Bu çalışmada, dönen bir manyetik parçacık tarafından indüklenen zorlanmış bir girdabın akış alanı, hareket denkleminde örtük olarak uygulanan Magnus etkisi ile birlikte akış çizgileri boyunca enerjinin korunumu yardımıyla modellenmiştir. Manyetik olmayan bir partikül, indüklenen akış tarafından sürüklenerek şekilde modellenmesine rağmen, akış çizgilerinin bozulmadığı varsayılmaktadır. Manyetik olmayan parçacığın rijit cisim hareketi, radyal yön boyunca sürükleme katsayıları ve basınç farkı yardımıyla elde edilmektedir. Ve basınç farkı, parçacığın eksenli boyunca katı cisim dönüşü ile birlikte hesaplanmaktadır. Sonuçlar, sabit radyal konuma sahip kararlı bir yörüngeye işaret ederken, manyetik olmayan parçacık, zorlanmış girdabın çekirdeği etrafında bir tam dönüşü tamamlar. Ayrıca, manyetik adım atlama durumunda partiküllerin katı cisim hareketinin stabilitesinin zarar görmediği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** temassız manipülasyon, robotik simülasyon, Bernoulli denklemi, zorlanmış girdap akışı

## 1. Introduction

Non-contact manipulation of microparticles, bacteria, and mammalian cells is considered to be one of the promising biomedical applications of the future as the delicate nature of live cells challenges in handling them properly (Zhang et al., 2019). The non-contact approach can be based on magnetics (Diller et al., 2014), optics (Zhang et al., 2020), acoustic waves (Mohanty et al., 2020), and hydrodynamic effects (Diller et al., 2011). The latter is in the focus of this study as, to the best of the author's knowledge, the associated hydrodynamics has not been addressed with an energy-conservation-modeling-approach to incorporate in a definitive robotic model, although there are several studies in the literature addressing the use of a form of hydrodynamic interaction for micromanipulation single or multiple particles.

Ye et al. (2012) investigated the possibility of micromanipulation with rotating flow fields with distant magnetic micro-manipulation and induced rotating fluid. A moving spherical body causes two things due to the various movements of based on rolling and sliding: the rotational fluid flow and the two-dimensional motion of the manipulator. In the force balance, it is concluded that the object's stable orbital attitude in rotational fluids, which are motion criterion and orbital criterion should be met by selection factors. With using these, micro assets can be moved precisely and quickly without any contact. In the interval of the low Re numbers, an object of small sizes can be manipulated accurately. Pieters et al. (2014) investigated the approach to automate the process of protein crystal harvesting via rotating magnetic fields. There is also a visual control system to automatically collect protein crystals, as well as a micro-vehicle and magnetic actuation system. This micro robot is placed in a way that it creates a transverse magnetic field, then it is used to catch and move micro-objects by rolling around the surface on the long axis and forming a vortex. As a result, protein crystals are caught quickly and gently without contact by this approach. Zhang et al. (2019) studied a micro-tool that can take almost all specified shapes and program multiple axes and complex operations. So that; an optoelectronic microrobot, which is described in the article, it used to do manipulation of cells and other living particles. The goal of the approach is a micro-robot controlled by optoelectronic tweezers, and since this micro-robot relies on light to control electrophoresis rather than the force generated by photon momentum, the optoelectronic tweezers perform stronger on manipulation compared to the optical tweezers for a particular photon density. It has also been stated that this process can be used in cell-cell interaction, RNA sequencing and manipulation with a closed system. Floyd et al. (2009) studied the manipulation of underwater microspheres by an electromagnetic micro-robot. The authors present a new method of manipulation:

using an unbound magnetic end effector called Mag- $\mu$ Bot, with a micrometers scale. This novel method of manipulation is done in a liquid-immersed environment. This method also finds a numerical solution by reducing the effect of stagnation and allowing areas of fluid flow to form while the robot is in the environment. It was also noted that the results were better predicted in the near-wall force model in the following analysis. Fan et al. (2018) presented automatic microfluidic capturing using a magnetic micro-robot that resembles a peanut and exercising robotic manipulation. An electromagnetic actuator scheme is developed by using rolling and kayaking in the motion modes of the micro-robot. This research demonstrates the implementation of swimming microrobots in sub-micrometer dimensions. It is noted that said micro-robot can comfortably capture and manipulate a particle that is one hundred times bigger than itself. Steager et al. (2013) focused on the manipulation of cells and microbeads by magnetically powered micro-robots. These robotic manipulations, besides just moving the cell, present the creation and operation by outside magnetic fields of micron-sized biocompatible ferromagnetic micro-robot. The said microbeads in the article were automatically placed at the target location by creating localized magnetic gradients. Koens et al. (2019) reviewed the mechanisms with the help of the combination of theory and experimentation of the two micro rafts engaging with each other. Three models were merged to describe the dynamics of a new micro raft experiment by authors: mean division of rafts, mechanisms of disengagement of rafts, and configuration consolidation. Also, a broad array of capillary correlations between the disks identified for each pattern of arrangement. In a similar study, Li and Fukuda (2020) presented a study with the aim on the common point of engineering and art. Thanks to micro-robots that can be used in liquid media, magnetic guided manipulation is recommended to create designed patterns properly. The magnetically guided manipulation offers suggestions for practical scaffold development in tissue engineering, as well as a modern tool for drug distribution and gastrointestinal disease analysis in clinical research, and also offers a new methodology to non-invasive, non-destructive, and non-contact precision activity in biomedical engineering. However, micro-robots are placed methodically in the desired place to overcome the liquid disorder that may occur. Ye and Sitti (2014) focused on the capture of microorganisms in a liquid environment and their controlled transport in two dimensions. This approach aims to mitigate damage to biological samples otherwise inflicted by heat and light during manipulation. This technique presented in the paper was realized by a portable micro-robotic system to specifically capture and move specific microorganisms that float near to a planar solid surface at low Reynold numbers. The non-contact manipulation was achieved using local rotational fluid bubbles stimulated with fast-spinning spherical-shaped neodymium.



As can be seen in the literature, the method of non-contact manipulation by hydrodynamic interactions associated with induced flow fields has been studied extensively by theoretical and experimental means. Here, as stated earlier, the focus is on the simple but fast robotic model to predict the motion of a particle manipulated by the induced free vortex flow. The rigid body motion of the said particle is modeled via a novel approach based on Bernoulli's equation of conservation of energy across the streamlines, the free vortex flow field, and the implicit Magnus effect modeling on the captured particle. The particles are assumed to be of perfect spherical shape and the fluid drag on the particles is predicted via drag coefficients whereas the rigid-body accelerations of the particles are calculated under the influence of time-dependent magnetic and flow fields. The performance of the model is demonstrated by rigid-body acceleration, velocity, and displacement of the particles over time.

## 2. Numerical Modeling

Figure 1 illustrates two particles, one being rotated by the magnetic field while the other one is being captured and manipulated by the induced free vortex flow. The particle is passive and non-magnetic; thus, it is under the influence of the resultant flow field. The force balance is written in cylindrical coordinates. The non-magnetic particle is orbiting the magnetic particle that is being held in place and rotating at the core of the vortex by rotating the magnetic field. Both particles are assumed to be neutrally buoyant and submerged but far enough from any solid boundary to avoid additional drag (Higdon and Muldowney, 1995).

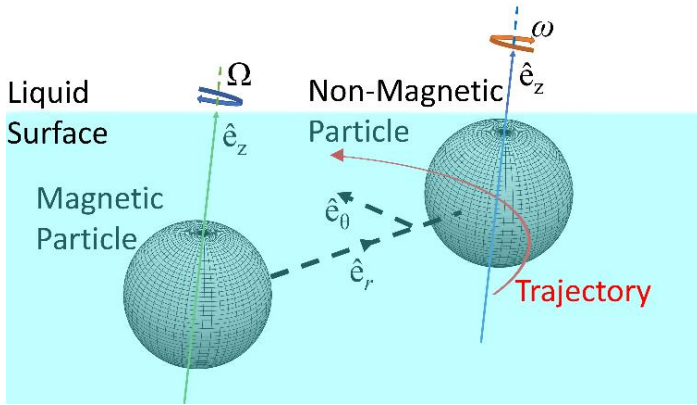


Figure 1: Magnetic particle and non-magnetic particle submerged in a large liquid bath. The magnetic particle being rotated by external magnetic field whereas the non-magnetic particle is under the influence of its flow, i.e., the free vortex. Rigid-body rotation axes and directions are chosen to agree with the model and simulation results.

The magnetic particle at the center is assumed to be rotating under the influence of a time-dependent magnetic field of adequate strength, i.e.,  $\mathbf{B} = [20 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \ -20 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \ 0]^T$  mT with a rotation rate of  $f = 5$  Hz along the z-direction, for this study. The resultant flow field can be modeled using Bernoulli's conservation of energy equation across the streamlines. The flow field is assumed to be a free vortex. Using the two assumptions, it will be possible to predict the flow field in which the captured particle is being dragged. Thus, using the Bernoulli's equation, the pressure drop along the radial direction can be predicted and employed in the equation of motion. The radial force balance

results in acceleration along r-axis whereas the azimuthal acceleration is observed due to viscous drag only. This model does not take capillary interaction between the magnetic particles and non-magnetic particle (Mastrangeli et al., 2010) nor it considers the added mass effect (Wang and Ardekani, 2012) in order to keep the focus on implications on the analysis based on Bernoulli's equation as described in this study.

The equation of motion for the magnetic particle rotating at the core is:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = (\mathbf{m} \times \Re \mathbf{B}) - 8\pi\mu R^3 \Omega. \quad (1)$$

Above,  $\mathbf{m}$  stands for the magnetization vector of the magnetic body which is assumed to be spherical with the magnetic properties similar to that of a N52-grade Neodymium magnet (Dong et al., 2019) with the direction of  $[1 \ 0 \ 0]^T$ . Thus, the core of the vortex is rotating with the angular velocity of  $\Omega$  rad/s under the influence of the applied magnetic field  $\mathbf{B}$ . Here,  $J$ ,  $\mu$ , and  $R$  stand for the moment of inertia in  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ , dynamic viscosity of the liquid in  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ , and radius of the magnetic particle at the vortex core in m. Furthermore,  $\Re$  is the rotation matrix from the lab frame to the frame of the rotating magnetic particle.

The Bernoulli's equation for energy conservation across the streamlines is (Munson et al., 2005):

$$p - \rho \int \frac{v_\theta^2}{r} dr = \text{constant} \quad (2)$$

with  $p$ ,  $\rho$ ,  $v_\theta$ , and  $r$  denoting static pressure in Pa, liquid density in  $\text{kg}/\text{m}^3$ , azimuthal velocity in  $\text{rad}/\text{s}$ , and radial position in m, respectively. The free vortex can be modeled as  $v_\theta = \Gamma / (2\pi \cdot r)$  (Munson et al., 2005) with  $\Gamma$  being the circulation, i.e.,  $\Gamma = 2\pi \cdot \Omega \cdot R^2$ , for the vortex-induced by the rotating core, i.e., the magnetic particle at the center. Furthermore, the captured non-magnetic material rotates along its axis of rotation along z-direction due to the torque owing to the net shear exerted on its surface that can be found by integrating infinitesimal shear-torque values along the z-axis, i.e.,  $dT = r \cdot \mu \cdot (dv_\theta/dr) \hat{e}_z \cdot \mathbf{N} \cdot \text{m}/\text{m}^2$ , over its entire surface. The resultant torque is found to be  $T = 8\pi \cdot \mu \cdot R^2 \cdot \Omega \cdot a$  which is supposed to contribute to the relative velocity of the surface of the non-magnetic particle to the local flow field of the free vortex. Here,  $a$  signifies the radius of the non-magnetic particle. Thus, the equation of motion for the rigid-body rotation along the symmetry axis, with the moment of inertia of  $j$ , is given as:

$$j \frac{d\omega}{dt} = (-8\pi\mu R^2 \Omega a - 8\pi\mu a^3 \omega) \hat{e}_z. \quad (3)$$

This rotational velocity,  $\omega$  rad/s, will be imposed on the surface on the non-magnetic particle based on the location with respect to the center of the vortex core, i.e.,  $\omega \cdot (r - r_p)$  m/s with  $r_p$  signifying the position of the non-magnetic particle with respect to the center of the vortex core. This correction in Bernoulli's equation will include the Magnus effect (Cipparrone et al., 2011) acting on the particle thus contributing to the equation of motion along the radial direction.

The drag force acting on an object moving with a speed  $U$  in an arbitrary direction  $\hat{e}_i$  is given as  $F_d = -\zeta \cdot U \cdot \hat{e}_i$  (Berg, 1993). Here,  $\zeta$  denotes the linear drag coefficient, i.e.,  $\zeta = -6\pi \cdot \mu \cdot a$ . The drag force will be the main resistance to the rigid-body motion along the radial and azimuthal directions. Therefore, the equation of motion for the captured non-magnetic particle in the cylindrical coordinate system of the vortex core is then

$$m \frac{du_r}{dt} = \{-6\pi\mu a u_r - \pi a^2 \rho \int_{r_p-a}^{r_p+a} \frac{(\Omega R^2 - \omega(r-r_p))^2}{r} dr\} \hat{e}_r \quad (4)$$

along the radial direction, with  $u_r$  being the linear rigid-body velocity of the non-magnetic particle with respect to the center of the vortex core, and

$$m \frac{du_\theta}{dt} = -6\pi\mu a (u_\theta - v_\theta) \hat{e}_\theta \quad (5)$$

along the azimuthal direction with  $u_\theta$  being the azimuthal rigid-body velocity of the non-magnetic particle captured by the local flow field. Here,  $m$  stands for the mass of the non-magnetic particle. The presence of  $\Omega$  in all the equations of motion dictates that the system is coupled, resulting in the overall magnetohydrodynamic property for the system. This last equation of motion concludes the modeling for the described physical scenario under given assumptions.

### 3. Results and Discussion

The following results are obtained for two spherical particles identical in shape and dimensions and assumed to be naturally buoyant for sake of simplicity. The radius of the particles is  $10 \mu\text{m}$  and the proximity is  $40 \mu\text{m}$ . The liquid is water at room temperature. The simulation is carried out in Matlab/SIMULINK environment via time-integration over the rigid-body accelerations for a total of 10 seconds in real-time. The following plots are extracted directly from Simulink 'scope' block.

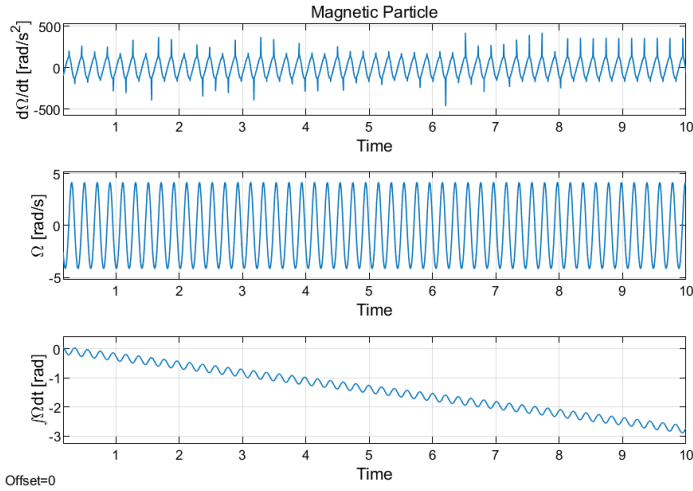


Figure 2: (Top) The angular acceleration,  $d\Omega/dt$ , (Middle) the angular velocity,  $\Omega$ , and (Bottom) the net rotation,  $\int\Omega dt$ , of the magnetic particle at the core of the free vortex, with respect to simulation time.

Figure 2 demonstrates the angular acceleration, velocity, and total rotation of the magnetic particle. It is observed that the magnetic field is rotating too fast for smooth time-dependent alignment between the magnetic field,  $\mathbf{B}$ , and its magnetization vector,  $\mathbf{m}$ . Therefore, the oscillation in velocity (Middle) is the well-known step-out phenomenon (Mahoney et al., 2014). The net rigid-body rotation (Bottom) is almost 3 rad in the clockwise direction in 10 seconds although the maximum instantaneous angular velocity is observed to be more than 4 rad/s. Also, the angular acceleration (Top) exhibits discontinuities due to a

change in direction of rotation rate owing to the step-out phenomenon.

Figure 3 represents that the angular acceleration, velocity, and total rotation of the non-magnetic particle. The magnitude of the angular acceleration (Top) is found to be much larger than that of the magnetic particle depicted in Figure 2. The angular velocity (Middle) of the non-magnetic particle is directly related to the free vortex flow field which is subject to the step-out phenomena observed in Figure 2. The time-dependent and the net rigid-body revolution of the non-magnetic particle (Bottom) happens to be in a counter-clockwise direction; therefore, in the opposite direction of the revolution of the magnetic particle. Hence, the relative velocity on one side of the non-magnetic particle becomes zero maximizing the local pressure and opposing the pressure difference associated with the free vortex flow of the rotating magnetic particle.

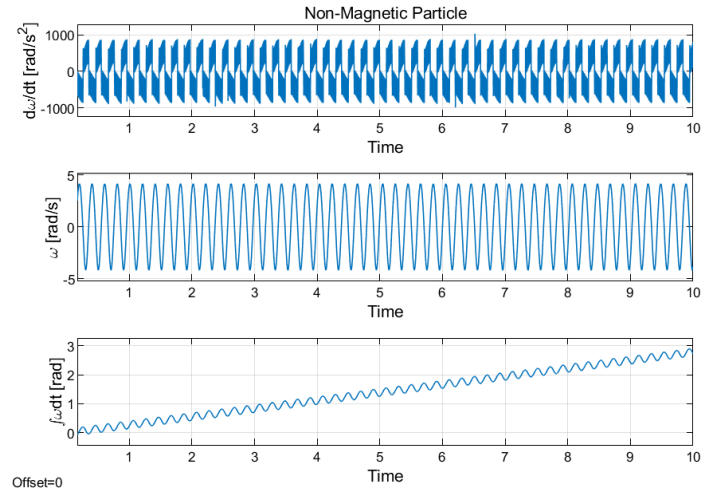


Figure 3: (Top) The angular acceleration,  $d\omega/dt$ , (Middle) the angular velocity,  $\omega$ , and (Bottom) the net rotation,  $\int\omega dt$ , of the non-magnetic particle in the free vortex flow, with respect to simulation time.

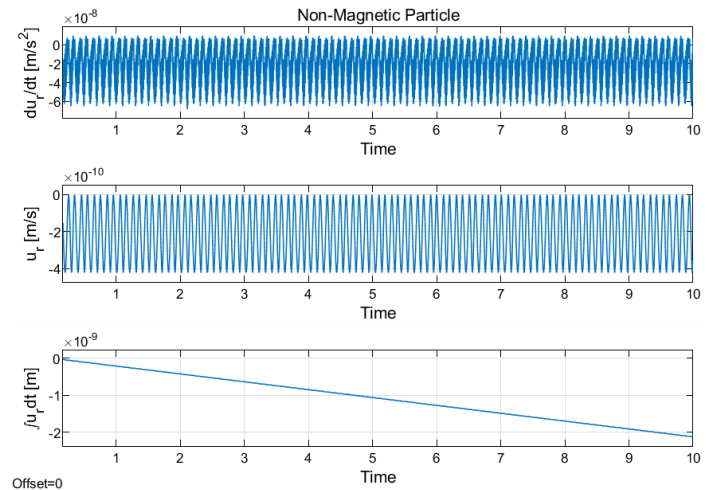


Figure 4: (Top) The radial rigid-body acceleration,  $du_r/dt$ , (Middle) the radial rigid-body velocity,  $u_r$ , and (Bottom) the net radial rigid-body displacement,  $\int u_r dt$ , of the non-magnetic particle at the core of the free vortex, with respect to simulation time.

Figure 4 depicts the rigid-body motion of the non-magnetic particle in the radial direction. It is very important to acknowledge that the order of net displacement in r-direction is

$O(-9)$  as given in Figure 4 (Bottom). This behavior indicates a stable orbit around the vortex core and promising performance in controlled motion for the non-magnetic particle with frequency modulation of applied magnetic field,  $\mathbf{B}$ . The rigid-body acceleration (Top) and velocity (Middle) are much smaller than the diameter of the particle. This also indicates that the pressure distribution on the surface of the non-magnetic particle is symmetric, i.e., the pressure difference due to free vortex flow field and the magnus effect cancel each other out. Therefore, infinitesimal pressure difference along the particle surface is the reason for the aforementioned performance of stable orbit.

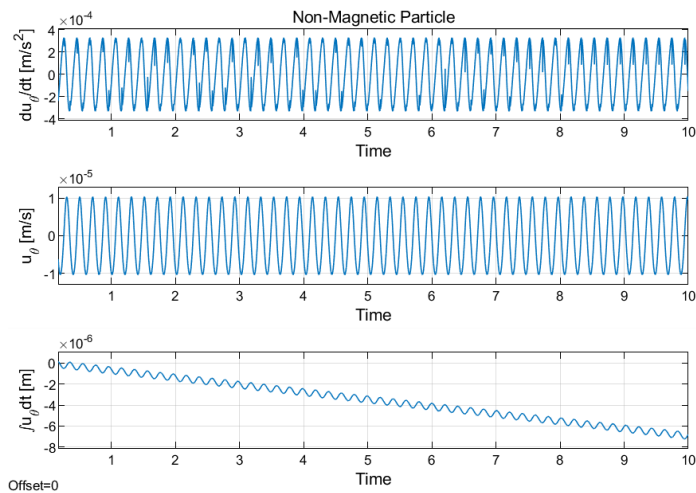


Figure 5: (Top) The azimuthal rigid-body acceleration,  $du_0/dt$ , (Middle) the azimuthal rigid-body velocity,  $u_0$ , and (Bottom) the net azimuthal rigid-body displacement,  $\int u_0 dt$ , of the non-magnetic particle at the core of the free vortex, with respect to simulation time.

Figure 5 demonstrates the azimuthal rigid-body motion of the non-magnetic particle. The non-magnetic particle orbits around the free vortex core as expected with an oscillating velocity due to the step-out phenomenon, again. It has been observed that the particle completes a full orbit in less than 5 minutes (Bottom). The acceleration (Top) and the velocity (Middle) are comparable with the diameter of the particle. It is important to acknowledge that the force balance on the non-magnetic particle predicts steady periodic rigid-body acceleration and velocity with constant amplitude; thus, the model is well defined for the studied motion. Finally, with the help of the results observed via Figure 4 and 5, the Re number, i.e.,  $Re = 2\rho Ua/\mu$  for the non-magnetic microparticle with which the term  $U$  is the magnitude of  $[u_r, u_\theta, 0]^T$ , is found to be on the order of  $O(-6)$  that emphasizes the fact that inertia is dominated by the shear within the flow fields, thus the drag coefficient approach to find the fluid forces exerted on the micro particles is numerically validated.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The robotic model based on Bernoulli's conservation of energy across the streamlines for curvilinear motion along the flow field induced by free vortex seems to predict stable orbit without capillary forces and added mass effects. However, capillary forces will be important for particles floating on the liquid surface with a certain contact angle. Furthermore, with the contact angle, the liquid surface is expected to have a curved profile. Furthermore, along the surface, it is possible to observe interfacial vibrations (Ergin et al., 2017). However, in this study

the particles are assumed to be neutrally buoyant and fully submerged for sake of simplicity. The model can be used for design of experiments, optimization, and control of non-contact micromanipulation in biomedical micro-robotic applications. The model provided here might be validated with the experimental results in the literature after the interfacial effects and the boundary effects are properly incorporated in the equations of motion. Finally, the analysis should be carried out for particles of arbitrary shapes, denoting cells, to obtain more useful insight for real biomedical applications.

#### References

Zhang, Z., Wang, X., Liu, J., Dai, C., & Sun, Y. (2019). Robotic Micromanipulation: Fundamentals and Applications. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 2(1), 181–203. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-053018-023755>

Diller, E., Ye, Z., Giltinan, J., & Sitti, M. (2014). Addressing of Micro-robot Teams and Non-contact Micro-manipulation. *Small-Scale Robotics. From Nano-to-Millimeter-Sized Robotic Systems and Applications*, 28–38. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55134-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55134-5_3)

Zhang, Y., Lin, S., Liu, Z., Zhang, Y., Zhang, J., Yang, J., & Yuan, L. (2020). Laser-induced rotary micromotor with high energy conversion efficiency. *Photonics Research*, 8(4), 534. <https://doi.org/10.1364/prj.381397>

Mohanty, S., Khalil, I. S. M., & Misra, S. (2020). Contactless acoustic micro/nano manipulation: a paradigm for next generation applications in life sciences. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 476(2243), 20200621. <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0621>

Diller, E., Ye, Z., & Sitti, M. (2011, September). Rotating magnetic micro-robots for versatile non-contact fluidic manipulation of micro-objects. *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. <https://doi.org/10.1109/iros.2011.6094968>

Ye, Z., Diller, E., & Sitti, M. (2012). Micro-manipulation using rotational fluid flows induced by remote magnetic micromanipulators. *Journal of Applied Physics*, 112(6), 064912. <https://doi.org/10.1063/1.4754521>

Pieters, R. S., Tung, H.-W., Sargent, D. F., & Nelson, B. J. (2014). Non-contact Manipulation for Automated Protein Crystal Harvesting using a Rolling Microrobot. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 7480–7485. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.00398>

Zhang, S., Scott, E. Y., Singh, J., Chen, Y., Zhang, Y., Elsayed, M., Chamberlain, M. D., Shakiba, N., Adams, K., Yu, S., Morshead, C. M., Zandstra, P. W., & Wheeler, A. R. (2019). The optoelectronic microrobot: A versatile toolbox for micromanipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(30), 14823–14828. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903406116>

Floyd, S., Pawashe, C., & Sitti, M. (2009). Two-Dimensional Contact and Noncontact Micromanipulation in Liquid Using an Untethered Mobile Magnetic Microrobot. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(6), 1332–1342. <https://doi.org/10.1109/tro.2009.2028761>

Fan, X., Sun, M., Lin, Z., Song, J., He, Q., Sun, L., & Xie, H. (2018). Automated Noncontact Micromanipulation Using Magnetic Swimming Microrobots. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 17(4), 666–669. <https://doi.org/10.1109/tnano.2018.2797325>

- Steger, E. B., Selman Sakar, M., Magee, C., Kennedy, M., Cowley, A., & Kumar, V. (2013). Automated biomanipulation of single cells using magnetic microrobots. *The International Journal of Robotics Research*, 32(3), 346–359. <https://doi.org/10.1177/0278364912472381>
- Koens, L., Wang, W., Sitti, M., & Lauga, E. (2019). The near and far of a pair of magnetic capillary disks. *Soft Matter*, 15(7), 1497–1507. <https://doi.org/10.1039/c8sm02215a>
- Li, X., & Fukuda, T. (2020). Magnetically Guided Micromanipulation of Magnetic Microrobots for Accurate Creation of Artistic Patterns in Liquid Environment. *Micromachines*, 11(7), 697. <https://doi.org/10.3390/mi11070697>
- Ye, Z., & Sitti, M. (2014). Dynamic trapping and two-dimensional transport of swimming microorganisms using a rotating magnetic microrobot. *Lab Chip*, 14(13), 2177–2182. <https://doi.org/10.1039/c4lc00004h>
- Higdon, J. J. L., & Muldowney, G. P. (1995). Resistance functions for spherical particles, droplets and bubbles in cylindrical tubes. *Journal of Fluid Mechanics*, 298, 193–210. <https://doi.org/10.1017/s0022112095003272>
- Mastrangeli, M., Valsamis, J.-B., Van Hoof, C., Celis, J.-P., & Lambert, P. (2010). Lateral capillary forces of cylindrical fluid menisci: a comprehensive quasi-static study. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 20(7), 075041. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/20/7/075041>
- Wang, S., & Ardekani, A. M. (2012). Unsteady swimming of small organisms. *Journal of Fluid Mechanics*, 702, 286–297. <https://doi.org/10.1017/jfm.2012.177>
- Dong, F., Huang, Z., Qiu, D., Hao, L., Wu, W., & Jin, Z. (2019). Design and Analysis of a Small-Scale Linear Propulsion System for Maglev Applications (1)—The Overall Design Process. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 29(2), 1–5. <https://doi.org/10.1109/tasc.2019.2895337>
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2005). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (5th ed.). Wiley.
- Cipparrone, G., Hernandez, R. J., Pagliusi, P., & Provenzano, C. (2011). Magnus force effect in optical manipulation. *Physical Review A*, 84(1), 015802. <https://doi.org/10.1103/physreva.84.015802>
- Berg, H. C. (1993). *Random Walks in Biology: New and Expanded Edition* (Revised ed.). Princeton University Press.
- Mahoney, A. W., Nelson, N. D., Peyer, K. E., Nelson, B. J., & Abbott, J. J. (2014). Behavior of rotating magnetic microrobots above the step-out frequency with application to control of multi-microrobot systems. *Applied Physics Letters*, 104(14), 144101. <https://doi.org/10.1063/1.4870768>
- Ergin, F. G., Tabak, A. F., Wang, W., & Sitti, M. (2017, June). Time-resolved measurements of the free surface motion due to spinning micro-rafts using Stereo MicroPIV. [www.DantecDynamics.Com](http://www.DantecDynamics.Com). [https://www.dantecdynamics.com/wp-content/uploads/2019/11/time-resolved\\_measurements\\_of\\_the\\_free\\_surface\\_motion\\_due\\_to\\_spinning\\_micro-rafts\\_using\\_stereo\\_micropiv-1.pdf](https://www.dantecdynamics.com/wp-content/uploads/2019/11/time-resolved_measurements_of_the_free_surface_motion_due_to_spinning_micro-rafts_using_stereo_micropiv-1.pdf)



# Diabetes Prediction Using Machine Learning Classification Algorithms

Shamriz Nahzat<sup>1\*</sup>, Mete Yağanoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Atatürk University, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Erzurum 25240, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0750-6392), [shamriz.nahzat19@ogr.atauni.edu.tr](mailto:shamriz.nahzat19@ogr.atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk University, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Erzurum 25240, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3045-169X), [yaganoglu@atauni.edu.tr](mailto:yaganoglu@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899716)

**ATIF/REFERENCE:** Nahzat, S. & Yağanoğlu, M. (2021). Diabetes Prediction Using Machine Learning Classification Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (24), 53-59.

## Abstract

Artificial intelligence's use in health systems has evolved substantially in recent years. In medical diagnosis, machine learning (ML) has a wide variety of uses. Machine learning techniques are used to forecast or diagnose a variety of life-threatening illnesses, including cancer, diabetes, heart disease, thyroid disease, and so on. Chronic diabetes is one of the most common diseases worldwide and making the diagnosis process simpler and quicker would have a huge effect on the treatment process.

The fundamental goal of this work is to prepare and carry out diabetes prediction using various machine learning techniques and Conduct output analysis of those techniques to find the best classifier with the highest accuracy. This study examines diabetes prediction by taking different diabetes disease-related attributes. We use the Pima Indian Diabetes Dataset and applied the Machine Learning classification methods like K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN), and Decision Tree (DT) for diabetes prediction. The models used in this analysis have various degrees of accuracy. This study shows a model that can correctly forecast diabetes. In comparison to other machine learning methods, the random forest has high accuracy in forecasting diabetes, according to the findings of this study.

**Keywords:** Machine learning (ML), Classification, Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), Decision Tree (DT).

## Makine Öğrenimi Sınıflandırma Algoritmalarını Kullanarak Diyabet Tahmini

### Öz

Yapay zekanın sağlık sistemlerinde kullanımı son yıllarda önemli ölçüde gelişmiştir. Tıbbi teşhiste, makine öğreniminin (MÖ) çok çeşitli kullanımları vardır. Makine öğrenimi teknikleri, kanser, diyabet, kalp hastalığı, tiroid hastalığı v.b. dahil olmak üzere hayatı tehdit eden çeşitli hastalıkları tahmin etmek veya teşhis etmek için kullanılır. Kronik diyabet dünya çapında en yaygın hastalıklardan biridir ve teşhis sürecini daha basit ve daha hızlı hale getirmek tedavi süreci üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, en yüksek doğrulukla en iyi sınıflandırıcıyı bulmak için çeşitli makine öğrenimi tekniklerini kullanarak diyabet tahminini yapmak ve bu tekniklerin çıktısı analizini yapmaktır. Bu çalışma, diyabet hastalığıyla ilgili farklı özellikler alarak diyabet tahminini incelemektedir. Pima Indian Diyabet Veri Kümesini kullanıyoruz ve K-En Yakın Komşu (KNN), Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makinesi (DVM), Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Karar Ağacı (KA) gibi Makine Öğrenimi sınıflandırma yöntemlerini diyabet tahmin etmek için uyguladık. Bu analizde kullanılan modeller çeşitli doğruluk derecelerine sahiptir. Bu çalışma, diyabeti doğru

\* Corresponding Author: [shamriz.nahzat19@ogr.atauni.edu.tr](mailto:shamriz.nahzat19@ogr.atauni.edu.tr)

bir şekilde tahmin edebilen bir model göstermektedir. Bu çalışmanın bulgularına göre, diğer makine öğrenimi yöntemlerine kıyasla rastgele orman (RO), diyabet tahmininde yüksek doğruluğa sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenimi (MÖ), Sınıflandırma, Yapay Sinir Ağı (YSA), Rastgele Orman (RO), Karar Ağacı (KA).

## 1. Introduction

Diabetes (DM) is quite possibly the most well-known disease where patients' body capacity to create and react to insulin is impeded, which may bring about expanded glucose levels in the blood (Lonappan et al., 2007). Different illnesses take arise alongside Diabetes, for example, Coronary Artery Disease (CAD), Coronary Kidney Disease (CKD), Chronic obstructive aspiratory sickness (COPD), Hypertension (HTN) and Hypothyroidism. These illnesses don't provide quite a bit of some insight until they become unsure. Thus, early finding out of these illnesses close by with suitable treatment can help the patient restoring to a superior condition (Kang et al., 2013).

Diabetes can be partitioned into two classes, type 1 diabetes (T1D) and type 2 diabetes (T2D). Patients with type 1 diabetes are regularly more youthful, generally under 30 years of age. The regular clinical indications are expanded thirst and continuous pee, high blood glucose levels (Iancu et al., 2008). This kind of diabetes can't be restored successfully with oral drugs alone and the patients have required insulin treatment. Type 2 diabetes happens all the more generally in moderately aged and old individuals, which is frequently connected with the event of fatness, hypertension, dyslipidemia, arteriosclerosis, and different illnesses (Robertson et al., 2011).

As indicated by World Health Organization (WHO), around 422 million individuals are experiencing diabetes especially from low or inactive pay nations. What's more, this could be expanded to 490 billion up to the time of 2030. In any case, diabetes is widespread in different countries such as China, Canada, India, and so on.

These days diabetes is a significant reason for death on the planet. Early forecast of sickness such as diabetes can be monitored, saving human life.

Today, machine learning techniques are used to predict or diagnose various life-threatening illnesses such as cancer, diabetes, heart disease, thyroid, and so on.

To achieve this, this work investigates forecasting of diabetes by taking different characteristics identified with diabetes sickness. For this reason, we utilize the Pima Indian Diabetes Dataset; we apply different Machine Learning (ML) categorization and outfit Techniques to anticipate diabetes. ML is a procedure that is utilized to instruct computers or machines expressly. Different ML methods give effective outcomes to gather Knowledge by building different grouping and outfit models from gathered dataset.

Various machine learning methods may be capable of forecasting, but finding the right approach is difficult. Therefore, in this study the, K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN) and Decision Tree (DT) algorithms are applied to forecast diabetes and their performance has been examined.

## 2. Related works

This section of the paper is dedicated to some of the research works to predict or detect diabetes using machine learning techniques.

Soni et al. (2020) have utilized various Machine learning techniques like SVM, DT, KNN, Random Forest, Logistic Regression, and Gradient Boosting and achieved 77 percent accuracy by using the RF algorithm.

Sarwar et al. (2018) in here SVM and KNN classification models gives the highest accuracy of diabetes forecast. By using 768 records, it gives 77% accuracy.

Tejas et al. (2018) introduced Diabetes forecasting Using Machine Learning methods and to plans to anticipate diabetes by three classifiers including: SVM, Logistic regression and ANN. This study proposes a successful strategy for prior find out of the diabetes sickness.

Parashar et al. (2014) introduced a classification technique which was the LDA method, and then combined SVM classifier with Feed Forward Neural Networks. The SVM classifier shows 75.65% accuracy. Al Helal, et al. (2019) developed three categorization models which are the KNN, Naïve Bayes, and RF then their final accuracy was according to 66.19%, 72.66%, 73.72%. They were used in the Weka tool.

## 3. Material and Method

The fundamental goal of this work is to prepare and carry out Diabetes Prediction Using Various Machine Learning Techniques and Conduct Output Analysis of those techniques to find the best classifier with the highest accuracy. In the accompanying, we momentarily talk about the stages. Figure 1 shows The flowchart of the proposed model for diabetes prediction.

### 3.1. Dataset Description

The Pima Indian Diabetes Dataset has been utilized in this paper. This dataset is open and accessible from the University of California, Irvine UCI AI respiratory (Dataset, P. I. D.). There are 768 records in this dataset with nine attributes, including the outcome attribute. In the final result, there are 768 reports, 268 cases are "tested positive," which shows the patient has diabetes, and 500 cases are "tested negative," implying that the patient has no diabetes.

### 3.2. Data Preprocessing

The most critical operation is data preprocessing. This operation is important for reliable outcomes and efficient prediction in order to apply ML methods efficiently on the dataset (Soni et al., 2020).

There is no missing value (NaN) value in the Indian Diabetes dataset, but there are some features with a value of zero that are meaningless here.

For this reason, we find the mean and the median of all the Columns that have zero value for the diabetic and non-diabetic patient. Then we replace the value of zero according to the diabetic and non-diabetic patient.

After normalization of Pima Indians Diabetes dataset in the proposed methodology, we used 70 percent of data for validation and training and 30 percent of data for the testing. The model is developed using the Python programming language.

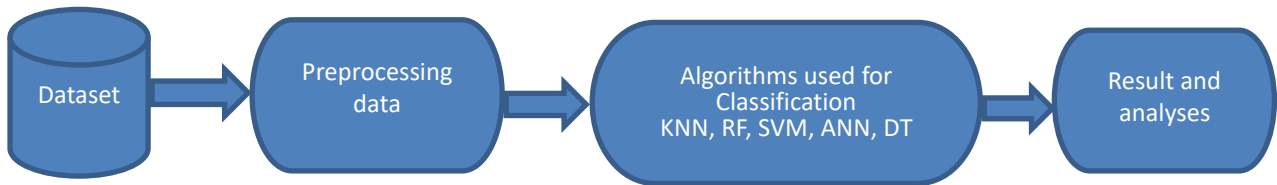


Figure 1. Proposed Model

Table 1. Dataset Description

Number	Attributes	Description
1	Pregnancies	Number of times pregnant
2	Insulin	2-Hour insulin serum ( $\mu\text{U}/\text{ml}$ )
3	BMI	The index of body mass
4	Age	The Age (years)
5	Glucose	Concentration of plasma glucose for 2 hours in an oral glucose tolerance check
6	Blood Pressure	Blood Pressure Diastolic (mm Hg)
7	Diabetes PedigreeFunction	Diabetes pedigree function
8	Skin Thickness	Skinfold triceps thickness (mm)
9	Outcome	Range of value: 0 and 1(0 means no 1 means yes)

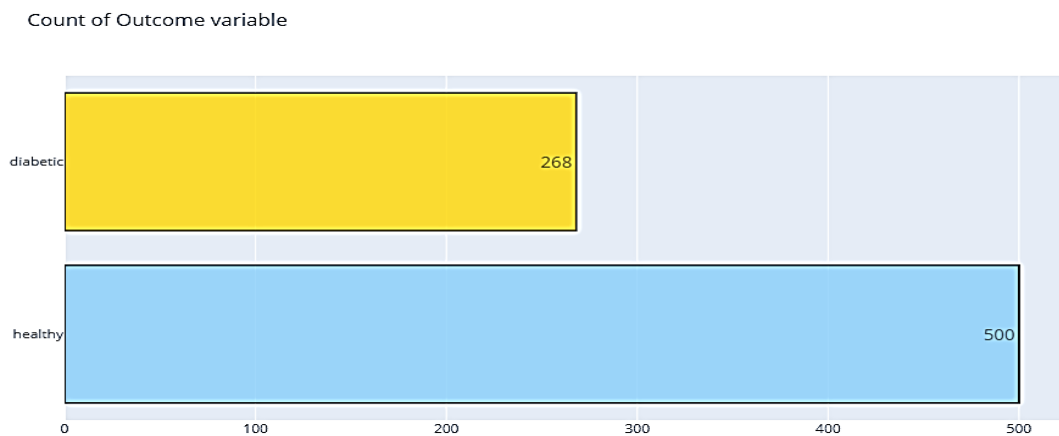


Figure 2. Diabetic and Non-Diabetic Patient

### 3.3. Algorithms used for Classification

At the point when our dataset has been prepared, we use Machine Learning methods to classify the dataset. KNN, RF, SVM, ANN, and DT classification algorithms have been implemented in this paper with features such as Pregnancy, Glucose, Blood Pressure, Skin Thickness, Insulin, BMI, Pedigree and Age, which are exactly available in the dataset, also with two extra features that we have extracted from dataset by Exploratory Data Analysis technique which a diabetic is described as anyone who has a blood pressure of more than 80 and a glucose level of more than 105. Additionally, anyone with a blood pressure of over 80 is diabetic. With the mentioned features the RF classification algorithm shows the highest accuracy which is (88.31%).

#### 3.3.1. K-Nearest Neighbors (KNN)

KNN is an algorithm for supervised machine learning and is a nonparametric and basic technique that classifies objects in the input space based on the nearest samples. The KNN Classification algorithm attempts to solve both the issues of classification and regression. The KNN algorithm belongs to the group of algorithms that have a slow learning manner. Therefore, the data

generalization is delayed until to classification. To specify the class of an element that does not belong to the training set, the KNN classifier searches for k elements in the training set that are nearest to this obscure element (i.e., the shortest distance). KNN is the name given to these k elements. The classes of these k neighbors are verified, and the most common class is assigned to the obscure element's class. (Jardel das et al., 2019).

In this paper, The KNN algorithm is tested with the above-mentioned features of Pima Indians Diabetes dataset. The Confusion matrix for KNN algorithm is shown in Figure 3.

#### 3.3.2. Random Forest (RF)

RF is an easy-to-use ML algorithm that, even without changing its meta parameters, often delivers great results. This algorithm is one of the most commonly used machine learning algorithms for both "Classification" and "Regression" due to its simplicity and usability. This algorithm would randomly create a forest. The built "forest" is actually a "Decision Trees" band. This strategy can undoubtedly deal with huge datasets. Random Forest is created by Leo Breiman. It selects samples randomly from the dataset then builds a decision tree for each sample. A prediction result is measured from each decision tree. Then vote the

prediction result after that the most votes consider the final prediction model (Fawagreh et al., 2014).

The RF algorithm is tested with the above-mentioned features of Pima Indians Diabetes dataset in this study. The Confusion matrix for the Random Forest algorithm is shown in Figure 4.

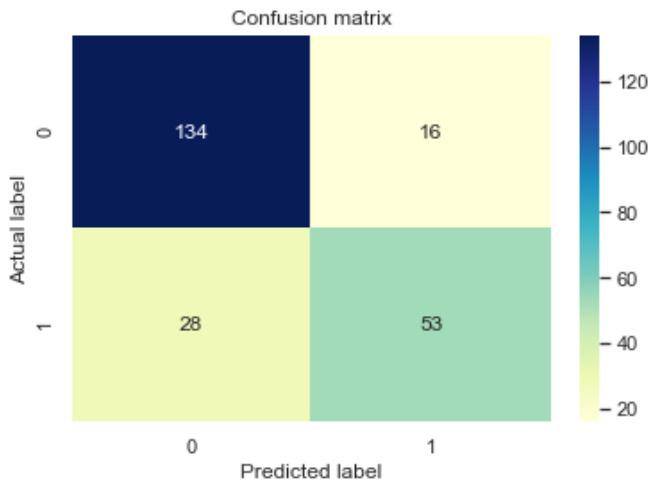


Figure 3. Confusion matrix for KNN algorithm.

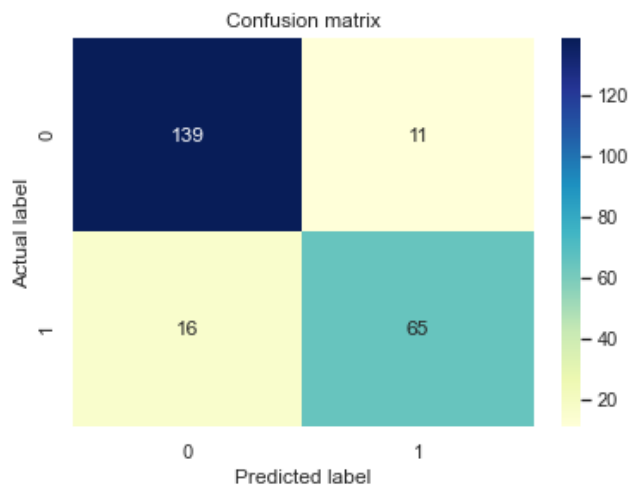


Figure 4. Confusion matrix for Random forests algorithm

### 3.3.3. Support Vector Machine (SVM)

SVM is a supervised machine learning algorithm. In 1963 The SVM was firstly introduced by Vapnik and Chervonenkis.

The SVM tries to locate an ideal hyperplane ready to isolate the examples of any class. This classifier specifies the hyperplane that isolates the spots to put the most noteworthy number of points of a similar class on a similar side while expands the interval of each class to such a hyperplane. The support vectors comprise of the closest points of the hyperplane. The interval from a class to a hyperplane is the littlest interval among them and the spots in that class (Jardel das et al., 2019).

The hyperplane can be utilized for grouping or regression moreover. SVM separates examples in particular groups and can likewise characterize the substances which are not upheld by data. Detachment is finished by through hyperplane plays out the partition to the nearest training spot of any group.

In this paper, the Support Vector Machine algorithm is tested with the above-mentioned features of Pima Indians Diabetes dataset. Figure 5. shows the Confusion matrix for the Support Vector Machine algorithm.

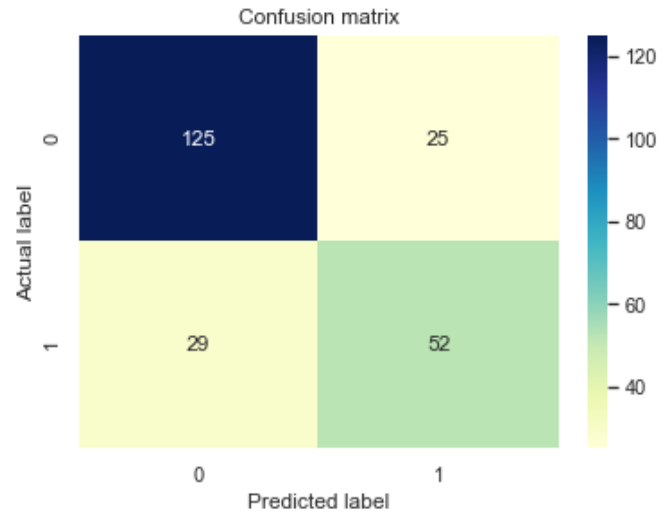


Figure 5. Confusion matrix for SVM algorithm.

### 3.3.4. Artificial Neural Network (ANN)

The ANN is pretty much the same as the brain’s actual neural network. ANN is made up of many interconnected unit operations that cooperate to process data. They often deliver beneficial outputs as a result of it. In general, the artificial neural network (ANN) comprised of network layers and network task, which the network layers namely the input layer, hidden layer and output layer. For the data mining model, the input neurons determine all the input attribute values (Steven W et al., 2003).

Artificial Neural Networks (ANNs) are computational structures modeled on the human brain. A significant number of the new headways have been made in the field of Artificial Intelligence, utilizing Artificial Neural Networks including Voice Recognition, Image Recognition and Robotics.

In this study, the Artificial Neural Networks algorithm is tested with the above-mentioned features of Pima Indians Diabetes dataset. Figure 6 shows the Confusion matrix for the Artificial Neural Networks algorithm.

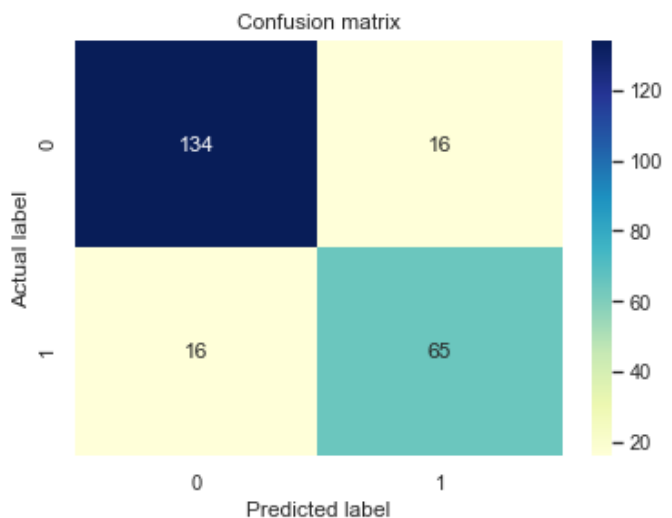


Figure 6. Confusion matrix for ANN algorithm



### 3.3.5. Decision Tree (DT)

DT is a fundamental classification and regression technique. DT model that has a tree structure can be used to define the mechanism of classifying instances based on characteristics (Quinlan et 1986). When the result attribute is categorical, a decision tree is used.

Both nominal and numerical features are provided by the decision tree algorithm. It has the potential to tolerate noise and unstable values. The decision tree uses a top-down approach to categorize the whole qualified dataset by partitioning the nodes from the topmost to the class node. Every node represents the instance’s test attribute, with each node representing one of the several likely values for that feature attribute. From the top node to the attack class node level by level, a decision tree can easily turn the specified set of instances into meaningful patterns.

In this study, the Decision tree algorithm is tested with the above-mentioned features of Pima Indians Diabetes dataset. The Confusion matrix for the DT algorithm is shown in Figure 7.

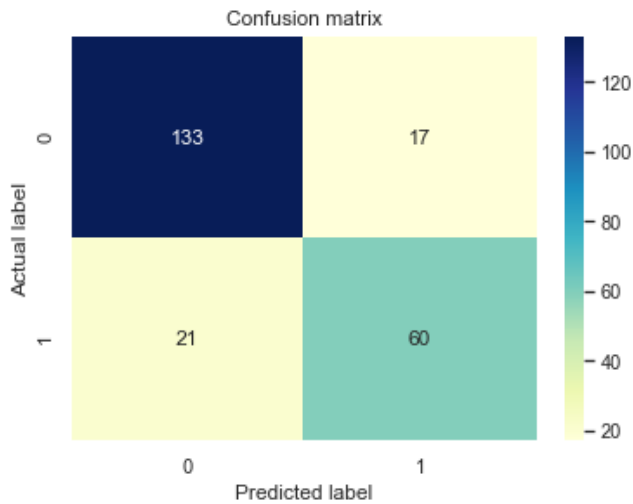


Figure 7. Confusion matrix for Decision tree algorithm.

### 3.4. Evaluation Measure

The quality of the outcomes produced by various machine learning algorithms is evaluated in terms of accuracy, precision, recall, and F1-score value (Sokolova et al., 2006). We measured accuracy, F1-score, recall, and precision measurements for each classification algorithm in our study by utilizing the confusion matrix.

The confusion matrix in machine learning is a table that is used to display the performance of the algorithm. The performance is determined by testing the input dataset which is given by the user. The below table shows the predicted and the actual values (Yağanoğlu and Köse, 2018).

TP- The forecasted value is positive, and it is right

TN- The forecasted value is negative, and it is right

FP - The forecasted value is positive, and it is wrong

FN- The forecasted value is negative, and it is wrong

Table 2. Confusion Matrix Table

		Actual values	
		Positive (1)	Negative (0)
Forecasted values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

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

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$\text{F1-score} = \frac{2 \cdot \text{Recall} \cdot \text{Precision}}{\text{Recall} + \text{Precision}} \quad (4)$$

## 4. Results and Discussions

We used various classification techniques to forecast diabetes in this paper. The proposed approach uses different classification algorithms such as KNN, RF, SVM, ANN and DT with features such as Pregnancy, Glucose, Blood Pressure, Skin Thickness, Insulin, BMI, Pedigree and Age, which are exactly available in the dataset, also with two extra features that we have extracted from dataset by Exploratory Data Analysis technique which a diabetic is described as anyone who has a blood pressure of more than 80 and a glucose level of more than 105. Additionally, anyone with a blood pressure of over 80 is diabetic.

Table 3. shows result of the different classification techniques using all existing features as well as two newly extracted features; we can see that the RF classifier works best, with 88.31% accuracy, 88% precision, 86 % recall, and 87% F1-score. With 86 percent accuracy, 85 percent precision, 85 percent recall, and 85 percent F1-score after the RF algorithm, the ANN classifier generates a considerable result.

Table 3. Comparison of the different Classification Techniques with using all available features and two new extracted features

Classification Technique	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
KNN	81%	80%	77%	78%
<b>RF</b>	<b>88,31%</b>	<b>88%</b>	<b>86%</b>	<b>87%</b>
SVM	77%	74%	74%	74%
<b>ANN</b>	<b>86%</b>	<b>85%</b>	<b>85%</b>	<b>85%</b>
DT	84%	82%	81%	82%

Table 4 compares different Classification Strategies without using two new extracted features; we can see that the random forest (RF) classifier performs best with 87 percent accuracy, 86 percent precision, 85 percent recall, and 85 percent F1-score. The

DT classifier gives a slightly better result after the RF algorithm, with 83 percent accuracy, 82 percent precision, 81 percent recall, and 81 percent F1-score.

Table 4. Comparison of the different Classification Techniques without using two new extracted features.

Classification Technique	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
KNN	82%	80%	79%	80%
<b>RF</b>	<b>87%</b>	<b>86%</b>	<b>85%</b>	<b>85%</b>
SVM	77%	75%	75%	75%
ANN	82%	81%	80%	80%
DT	83%	82%	81%	81%

In Table 5, we can see that the random forest (RF) classifier performs best with 88% accuracy, 88% precision, 86% recall, and 87% F1-score as compared to the other Classification Techniques without using Skin Thickness, Pedigree, and two new extracted features. The DT classifier performs well after the RF algorithm, with 84% accuracy, 82% precision, 81% recall, and 81% F1-score.

Table 5. Comparison of the different Classification Techniques without using Skin Thickness, Pedigree, and two new extracted features.

Classification Technique	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
KNN	83%	81%	80%	81%
<b>RF</b>	<b>88%</b>	<b>88%</b>	<b>86%</b>	<b>87%</b>
SVM	78%	76%	76%	76%
ANN	83%	81%	80%	81%
DT	84%	82%	81%	81%

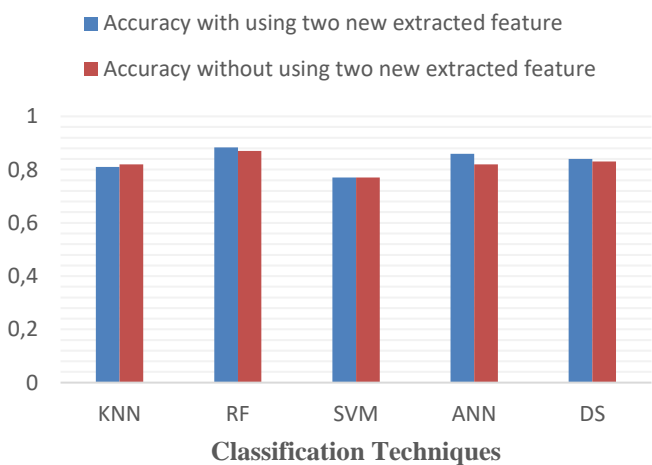


Figure 8. Accuracy Comparison of Classification Techniques using two new extracted features and without using two new extracted features.

According to Figure 8, we can see that using the two new extracted features in classification shows better results than the

using predefined features. It's also worth mentioning that as the number of features increases, so does the algorithm's accuracy.

Overall, we implemented the most advanced Machine Learning methods to make predictions and obtain high accuracy.

After analyzing different classification algorithm, the random forest classifier with the mentioned features achieves better compared to others which are 88.31% accuracy after the random forest classifier the ANN classifier shows better result with 86% accuracy. This work was implemented using python. Several additional Python libraries are imported to solve the algorithm much efficiently. We have imported the necessary libraries like pandas, NumPy, scikit-learn and matplotlib.

## 5. Conclusion

ML which is a subpart of artificial intelligence has the potential to fully change diabetes risk prediction and early identification. Diabetes must be identified early on in order to be handled successfully.

The fundamental goal of this work was to prepare and carry out Diabetes Prediction Using Various Machine Learning Techniques and Conduct Output Analysis of those techniques to find the best classifier with the highest accuracy, that we have achieved successfully.

In this paper, to achieve high-performance accuracy, we extracted two new features from data set and tested various ML classification techniques. RF and ANN algorithms are more effective and produce better results than other ML classification techniques. The classification accuracy of the random forest algorithm was 88.31%.

## References

Lonappan, A., Bindu, G., Thomas, V., Jacob, J., Rajasekaran, C., and Mathew, K. T. (2007). Diagnosis of diabetes mellitus using microwaves. *J. Electromagnet. Wave.* 21, 1393–1401. doi: 10.1163/156939307783239429

Kang, Hyun. (2013). The prevention and handling of the missing data. *Korean journal of anesthesiology.*

Iancu, I., Mota, M., and Iancu, E. (2008). "Method for the analysing of blood glucose dynamics in diabetes mellitus patients," in *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Cluj-Napoca.* doi: 10.1109/AQTR.2008.4588883

Robertson, G., Lehmann, E. D., Sandham, W., and Hamilton, D. (2011). Blood glucose prediction using artificial neural networks trained with the AIDA diabetes simulator: a proof-of-concept pilot study. *J. Electr. Comput. Eng.*2011:681786. doi: 10.1155/2011/681786

Soni. M and Varma. S (2020), Diabetes Prediction using Machine Learning Techniques, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*

Sarwar. M, Kamal. N, Hamid. W and Shah. A (2018), *International Conference on Automation and Computing (ICAC)*

- Tejas N. Joshi, Prof. Pramila M. Chawan, Diabetes Prediction Using Machine Learning Techniques, January 2018, Int. Journal of Engineering Research and Application, Vol. 8, Issue 1, (Part -II), pp.-09-13
- Parashar, A., Burse, K., & Rawat, K. (2014). A Comparative approach for Pima Indians diabetes diagnosis using lda-support vector machine and feed forward neural network. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(11), 378-383.
- Al Helal, M., Chowdhury, A. I., Islam, A., Ahmed, E., Mahmud, M. S., & Hossain, S. (2019, February). An optimization approach to improve classification performance in cancer and diabetes prediction. In *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Dataset, P. I. D. UCI Machine Learning Repository, diambil dari <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets>. Pima+ Indians+ Diabetes. Accessed (October, 2020)
- Fawagreh, K., Gaber, M. M., & Elyan, E. (2014). Random forests: from early developments to recent advancements. *Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal*, 2(1), 602-609.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction on decision tree. *Mach. Learn.*1, 81–106. doi: 10.1007/BF00116251
- Jardel das C. Rodrigues a, Pedro P. Rebouças Filho a, Eugenio Peixoto Jr b, Arun Kumar N c, Victor Hugo C. de Albuquerque b, (2019), Classification of EEG signals to detect alcoholism using machine learning techniques, *Pattern Recognition Letters*
- Sokolova M., Japkowicz N., Szpakowicz S., (2006), Beyond Accuracy, F-score and ROC: a Family of Discriminant Measures for Performance Evaluation, *American Association for Artificial Intelligence* ([www.aaai.org](http://www.aaai.org)).
- Steven W., Narciso C., (2003) *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition).
- Yağanoğlu, M., & Köse, C., (2018), Real-time detection of important sounds with a wearable vibration based device for hearing-impaired people. *Electronics*, 7(4), 50.



# Asansör Kabin Kılavuz Ray Konsol Tasarımlarının Deprem Yükü Altında Analizi ve Karşılaştırılması

Abdül Melik Sancak<sup>1\*</sup>, Adem Candaş<sup>2</sup>, C. Erdem İmrak<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4004-5468), [sancak17@itu.edu.tr](mailto:sancak17@itu.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9951-9122), [candas@itu.edu.tr](mailto:candas@itu.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4428-0158), [imrak@itu.edu.tr](mailto:imrak@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901663)

**ATIF/REFERENCE:** Sancak, A.M., Candaş, A. & İmrak, C.E. (2021). Asansör Kabin Kılavuz Ray Konsol Tasarımlarının Deprem Yükü Altında Analizi ve Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 60-66.

## Öz

Asansör sistemlerinin deprem gibi acil durumlarda kullanılabilir olması için kritik önemdeki aksamaları ani ve aşırı zorlanmalara karşı dayanıklı olmalıdır. Sismik yükler gibi ani zorlanmalar, normal koşullar altında çalışmak için tasarlanmış asansör elemanlarını beklenmedik şekilde etkileyebilir. Kabin ve karşı ağırlığın kuyu içindeki hareketini sınırlayan kılavuz rayların asansör boşluğu boyunca sabitlenmesini sağlayan konsolların bu bağlamda incelenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, asansöre etki eden sismik yükler hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak iki farklı konsol tasarımı sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Geliştirilen destekli konsol tasarımı, yaygın kullanımda olan geleneksel model ile gerilme ve şekil değiştirme açısından karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Asansör, Sismik Yükler, Deprem, Asansör Konsol Elemanı, Asansör Kılavuz Rayı.

## Analysis and Comparison of Elevator Cabin Guide Rail Bracket Designs Under Earthquake Load

### Abstract

Components of an elevator system are required to be strength in case of emergencies such as earthquakes causing instantaneous and unexpected loadings. Sudden stresses, such as seismic loads, can unexpectedly affect elevator members designed to operate under normal conditions. Therefore, it is essential to examine brackets that support rails along the elevator shaft, limiting the movement of cabin and counterweight in the shaft. In this study, seismic loads affecting an elevator were calculated and two different bracket designs were analysed using finite element method. The supported bracket design was compared to classical design in terms of stress and deformation values.

**Keywords:** Elevator, Seismic Loads, Earthquake, Elevator Bracket, Elevator Guide Rail.

\* Sorumlu Yazar: [sancak17@itu.edu.tr](mailto:sancak17@itu.edu.tr)

## 1. Giriş

Deprem gibi doğal afet durumlarında asansör sistemlerinin faal durumda kalması büyük önem arz etmektedir. Özellikle yüksek katlı binalarda, hastane ve okul gibi kamu binalarında asansörlerin deprem sırasında kullanıcı için tehlike oluşturmaması gerekir. Uzun süren mahsur kalma durumları veya sistemin bütüncül hasara uğraması kullanıcı açısından hayati risk oluşturabilir. Bu nedenle, depreme dayanıklı binalar inşa ederken asansör sistemleri de depreme uygun tasarlanmalıdır. Deprem sırasında en kritik olan yapısal elemanlardan biri, karşı ağırlık ve kabin raylarını asansör kuyusunun duvarlarına bağlayan ve rayların düşey doğrultuda bir hat halinde sabitlenmesini sağlayan konsol elemanlarıdır. Konsol elemanları deprem dalgalarının meydana getirdiği zorlanmalar nedeniyle hasar görebilir. Bu tip ani zorlanmalar neticesinde karşı ağırlığın ve kabinin ray üzerindeki doğrusal hareketinin bozulması sonucu asansörler kullanılamaz hale gelebilir (Kayaoğlu vd., 2011).

Türkiye dünyada sismik olarak en aktif bölgelerden biridir (Bozkurt, 2001). Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye de yıllardır farklı zamanlarda şiddetli depremlerle sarsılmaktadır. Son yayınlanan güncel Türkiye Deprem Tehlike Haritası Şekil 1'de görülmektedir (AFAD, 2018). Depremin asansör sisteminde oluşturduğu hasar; etki süresi, şiddet, deprem merkezine uzaklık, asansörün montaj kalitesi ve elemanları gibi etmenlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018).

Tablo 1. Sismik yüklere maruz kalan asansörlerin hasarlanan elemanları.

Deprem	Hasar	Hasar Oranı (%)
2011 Van Depremi (Tahrik kasnaklı asansör)	Karşı ağırlık çerçevesinin raylardan çıkması	52
	Karşı ağırlık çerçeve pabuçlarının kırılması	17
	Ray konsollarının kırılması veya hasar görmesi	14
	Kat kapılarında sorunlar	13
	Güvenlik tertibatının tetikleme halatının gevşek olması	4
2011 Van Depremi (MRL Asansör)	Karşı ağırlık çerçevesinin raylardan çıkması	39
	Halatların konsollara dolanması	16
	Karşı ağırlık çerçeve pabuçlarının kırılması	15
	Kat kapılarının sıkışması ve sorunları	15
	Halatın hasara uğraması veya kasnaktan çıkması	15



Şekil 2. Konsol eğilmesi, hasara uğraması (İmrak, 2012).

Deprem anında ve sonrasında asansörde mahsur kalınmaması için asansörler kullanılmamaktadır. Bununla beraber, özellikle yüksek binalarda acil durumlarda asansörlerin tahliye maksadıyla kullanılması için yapılan çalışmalar vardır (Andrée vd., 2016; Ding vd., 2021). Wang vd. (2017) beş katlı gerçek ölçekte bir bina modelinde deprem modellemesi yapmışlardır ve konsol elemanlarının farklı yer değiştirmeleri sonucunda raylarda plastik deformasyon meydana gelebileceğini belirtmişlerdir. Karşı ağırlık montajında sismik yükler altında paten ile ray arasındaki montajın matematiksel modellemesi üzerine çalışmalar mevcuttur (Wang vd., 2020; 2021). Mazza ve Labernarda (2021) asansör kuyularının izolasyonu ile asansör sistemi üzerine etkileyen sismik yüklerin azaltılabileceğini gösteren sayısal modellemeler yapmışlardır.

Deprem ve diğer acil durumlarda asansörlerin daha güvenli duruma getirilmesi ile ilgili çalışmalar güncel literatürde yer almaktadır. Tablo 1'de, 2011 Van Depremi'nde asansörlerde meydana gelen hasarların asansör elemanlarına göre dağılımları yer almaktadır (İmrak, 2012). Şekil 2'de 2011 yılındaki Van Depremi'nin ardından yapılan tespit çalışmalarında konsollarda meydana gelen plastik deformasyon ve hasar görülmektedir. Asansörler, asansör kuyusu adı verilen bölüm içerisinde çalışmaktadır. Kabin ve karşı ağırlık kılavuz raylara montaj edilerek düşey yönde hareket ederler. Konsol elemanları kılavuz rayları duvara sabitleyerek rayların düşey doğrultusunu korumasını sağlamaktadır. Van Depremi örneğinde de görüldüğü üzere kılavuz rayların sabitlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, asansör konsol elemanının deprem yükleri altında sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Bu kapsamda asansörün kılavuz ray ve konsol bağlantısının 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır. Ardından ASME A17.1 (ASME, 2016) ve TS EN 81-77 (TSE, 2020a) standartlarında yer alan sismik yüklere ilişkin hesaplama yöntemleri kullanılarak modelleme parametreleri açıklanmıştır. Son olarak, hesaplar sonucunda bulunan deprem yükleri ile standart konsol tasarımı ve destekli konsol tasarımının sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizi yapılmış ve modeller karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde kabin kılavuz ray ve konsol elemanlarının tasarım ilkeleri açıklandıktan sonra çalışmada kullanılan parametreler verilmiştir. ASME A17.1 (ASME, 2016) ve TS EN 81-77 (TSE, 2020a) standartlarına göre deprem yükleri hesapları yapılmış ve deprem yükleri karşılaştırılmıştır. Son olarak analizde kullanılan sonlu elemanlar metodunun ilgili değişken ve parametreleri verilmiştir.

### 2.1. Mekanik Elemanlar

Bu bölümde deprem yüklerinden etkilenen asansör mekanik elemanlarından kabin kılavuz rayı ve kılavuz ray konsolu ele alınmıştır.

#### 2.1.1. Kılavuz Ray

Kılavuz raylar kabinin düşey hareketini sağlamak, yatay hareketini sınırlamak ve paraşüt fren tertibatı çalıştığı anda kabini durdurmak için kullanılan asansör elemanlarıdır (İmrak ve Gerdemeli, 2000). Belirli aralıklarla konsollar vasıtasıyla asansör kuyusu duvarına bağlanırlar.

Şekil 3(a)'da bir kılavuz raya ait ölçüler; Şekil 3(b)'de ise standartta yer alan raya etkiyen kuvvetlerin yönleri ve eksen takımı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan T 90/B ray tipinin ölçüleri Tablo 2'de verilmiştir.

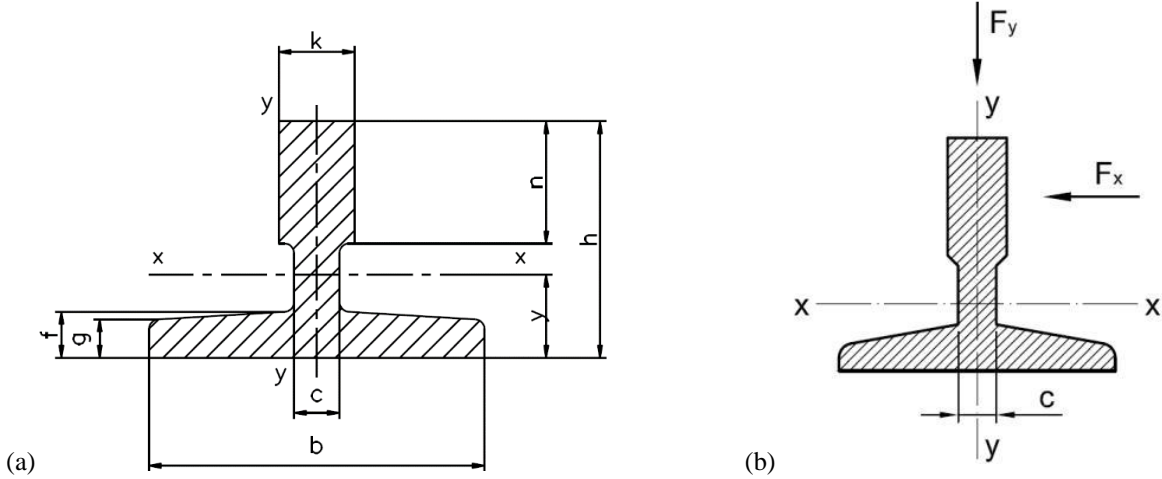
Tablo 2. T90/B Ray tipi ölçüleri (mm).

K. Ray	b	h	k	n	c	g	f	y
T 90/B	90,0	75,0	16,0	42,0	10,0	8,0	10,0	26,12

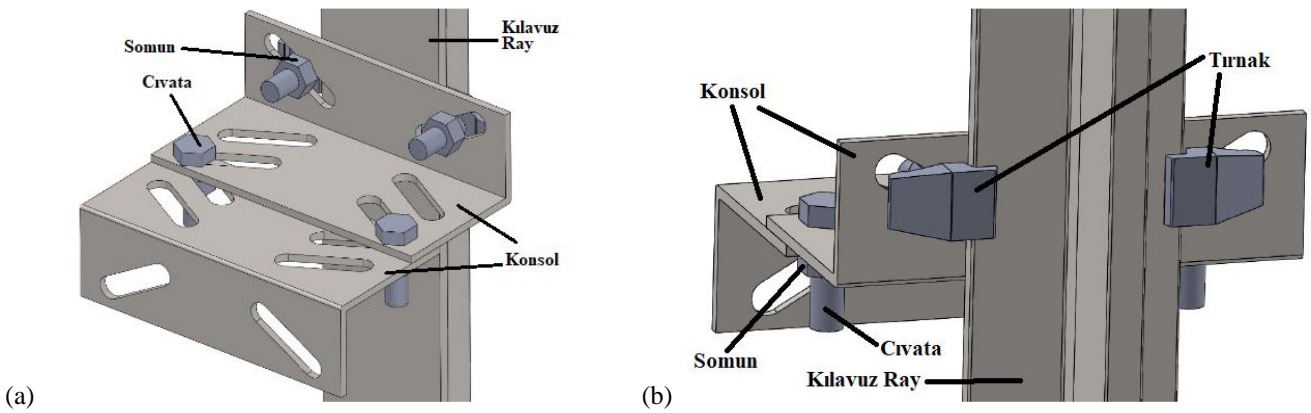
#### 2.1.2. Konsol

Konsollar kılavuz rayları asansör kuyusunun duvarına sabitler. En az S235JR (St-37) kalitesinde çelik malzemeden imal edilirler ve çekme dayanımı en az 360 MPa olmalıdır (TSE, 2012). Ray kavrama tırnağı konsol ile kılavuz rayı birbirine bağlayan ve kılavuz raya uyumlu olarak rayı iki taraftan tutan çelik bir elemandır. Ray kavrama tırnağının malzemesi en az S355JR (St-52) kalitesinde çelik olmalıdır ve en az 510 MPa çekme dayanımına sahip olmalıdır (TSE, 2012).

Şekil 4'te kılavuz ray-konsol bağlantısının ön ve arka görünüşleri yer almaktadır.



Şekil 3. (a) Asansör kılavuz ray profili (İmrak ve Gerdemeli, 2000), (b) Ray eksenleri ve etkiyen kuvvetler (TSE, 2020b).



Şekil 4. Kılavuz ray/konsol bağlantısının (a) ön ve (b) arka görünüşü.

## 2.2. Tasarım Parametreleri

Bu çalışmada, Sancak'ın (2020) yüksek lisans tezinde yapılan çalışmalar referans alınarak; tasarımda ve analizlerde

kullanılacak parametreler Tablo 3'te verilmiştir. Tabloda görülen normal kullanımda oluşan gerilme kuvvetleri Sancak'ın (2020) tez çalışmasında hesaplanmıştır.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan asansör sistemi tasarım parametreleri.

Tanım	Sembol	Değer
Asansör tipi		Yolcu asansörü
Yolcu kapasitesi		10 kişi
Asansör beyan yükü	$Q$	800 kg
Asansör boş kabin ağırlığı	$P$	1100 kg
Bina kat sayısı		8
Asansör kuyusu yüksekliği		25 m
Kılavuz ray sıra adedi	$n$	Simetrik, 2
Bir kılavuz ray sırasında bulunan ray adedi		5
Kabin kılavuz patenleri arası mesafe	$h_p$	2200 mm
	$C_w$	1350 mm
Asansör kabin boyutları	$C_d$	1400 mm
	$C_h$	2200 mm
Normal kullanımda x-ekseninde oluşan kuvvet	$F_x$	566 N
Normal kullanımda y-ekseninde oluşan kuvvet	$F_y$	1119 N
Normal kullanımda düşey yönde oluşan kuvvet	$F_v$	3325 N

### 2.3. TS EN 81-77 Standardına Göre Deprem

#### Yüklerinin Hesabı

TS EN 81-77 (TSE, 2020a) standardına göre ivme ve deprem kuvvetleri hesaplanmıştır.

$$\gamma_a = 1,5, \quad q_a = 2, \quad \frac{z}{h} = 1, \quad a_g = 0,772g, \quad S = 1,2,$$

$$T_a = 0, \quad T_1 = 0,2 s$$

$$\alpha = \frac{a_g}{g_n} = \frac{0,772 \times (9,81)}{9,81} = 0,772$$

$$S_a = \alpha \times S \times \left( \frac{3 \times \left(1 + \frac{z}{h}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right)$$

$$= 0,772 \times 1,2 \times \left( \frac{3 \times (1 + 1)}{1 + (1 - 0)^2} - 0,5 \right)$$

$$= 2,316$$

$$a_d = S_a \times \left(\frac{\gamma_a}{q_a}\right) \times g_n = 2,316 \times \left(\frac{1,5}{2}\right) \times 9,81 = 17 \frac{m}{s^2} > 4$$

Burada;  $a_d$  tasarım ivmesi,  $S_a$  yapısal olmayan elemanların sismik katsayısı,  $\gamma_a$  elemanın önem katsayısı,  $q_a$  elemanın davranış faktörü,  $\alpha$  yer tasarım ivmesinin yer çekimi ivmesine oranı,  $a_g$  yer tasarım ivmesi,  $S$  toprak faktörü,  $T_a$  yapısal olmayan elemanın temel titreşim periyodu,  $T_1$  binanın temel titreşim periyodu,  $h$  bina boyu,  $z$  yapısal olmayan elemanın binada bulunduğu yüksekliktir.  $\gamma_a$ ,  $q_a$ ,  $a_g$ ,  $S$  değerleri TS EN 1998-1'den (TSE, 2005) seçilmiştir. Tasarım ivmesi 4'ten büyük hesaplandığı için TS EN 81-77'ye göre Asansör Sismik Kategorisi 3 (Önemli düzeltici eylemler gerekli) olarak tespit edilmiştir. TS EN 81-77'ye göre deprem kuvveti hesaplanmıştır:

$$F_{SE} = a_d \times (P + 0,4 \times Q) = 24200 N$$

Deprem yükünün kütle merkezinden etki ettiği varsayılır. Kütle merkezinin kabin zeminine olan uzaklığının ( $Z_{SE}$ ) kabin yüksekliğine ( $C_h$ ) oranı ile kütle merkezi oranı ( $X_{SE}$ ) hesaplanır:

$$X_{SE} = \frac{Z_{SE}}{C_h} = \frac{640}{2200} = 0,291$$

Deprem kuvvetinin hesapları yapılırken en büyük kuvvet bulunması için  $X_{SE}$  veya  $(1-X_{SE})$ 'den büyük olanı aşağıdaki denklemlerde kullanılır. Eksenlere göre deprem yükü hesaplanır.

x eksenine etkiyen deprem yükü için ( $a_x=a_d$ ,  $a_y=0$ ):

$$F_{SE_x} = \frac{a_x \times (P + 0,4 \times Q) \times (X_{SE} || 1 - X_{SE})}{n}$$

$$= \frac{F_{SE} \times (1 - X_{SE})}{2} = 8579 N$$

y eksenine etkiyen deprem yükü için ( $a_x=0$ ,  $a_y=a_d$ ):

$$F_{SE_y} = \frac{a_y \times (P + 0,4 \times Q) \times (X_{SE} || 1 - X_{SE})}{n/2}$$

$$= \frac{F_{SE} \times (1 - X_{SE})}{2/2} = 17158 N$$

### 2.4. ASME A17.1 Standardına Göre Deprem Yüklerinin Hesabı

Deprem anında asansöre etki eden yatay kuvvetler ASME A17.1 (ASME, 2016) standardına göre hesaplanır:

$$F_p = \frac{0,4 \times a_p \times S_{DS} \times g_n \times W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \times \left(1 + 2 \times \left(\frac{z}{h}\right)\right)$$

Deprem nedeniyle asansöre etki eden düşey yönlü kuvvet aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$F_v = \pm 0,2 \times S_{DS} \times W_p \times g$$

$F_p$  kılavuz raya etkiyen depremden kaynaklı yatay kuvvet,  $a_p$  bileşen büyütme faktörü,  $S_{DS}$  kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı,  $S_S$  kısa periyot harita spektral ivme katsayısı,  $F_a$  kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı,  $I_p$  bileşen önem faktörü,  $R_p$  bileşen yanıt değişim faktörü,  $W_p$  boş kabin ağırlığı ile %40 beyan yükünün toplam değeri,  $z$  incelenen bileşenin binada bulunduğu yüksekliği ve  $h$  yapı yüksekliğidir. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri ( $S_{DS}$ ):

$$S_{DS} = F_a \times S_S$$

AFAD kurumunun internet sitesinden seçilecek bölge için alınan veriler kullanılarak  $F_a$  ve  $S_s$  değerleri tespit edilmiştir (AFAD, 2020). Belirtilen denklemlerle bulunan yatay deprem kuvvetinin kılavuz rayın x-x eksenine ve y-y eksenine hangi oranlarda dağılacığını, kabine bağlanan düşeyde alt ve üst sınırları belli olan sınırlamalar ( $L$ ) ve iki konsol arasındaki mesafe ( $l$ ) belirler. Burada IBC (2017) standardına atıf yapılan hesaplamalar kullanılmıştır:

Eğer  $L \geq l$ ;

$$F_{x-x} = \frac{2 \times F_p}{3} \quad F_{y-y} = \frac{F_p}{3}$$

Eğer  $L < l$ ;

$$F_{x-x} = F_p \times \left(1 - \frac{L}{3 \times l}\right) \quad F_{y-y} = \left(\frac{F_p}{2}\right) \times \left(1 - \frac{L}{3 \times l}\right)$$

$F_{y-y}$  değeri y-y eksenine normal kuvvettir ve hesaplamalarda  $F_x$  değerine eklenmektedir.  $F_{x-x}$  değeri x-x eksenine normal kuvvettir ve hesaplamalarda  $F_y$  değerine eklenmektedir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan (AFAD, 2020) Türkiye haritası üzerinde Bingöl ili yakınlarında yüksek riskli bir bölge için zemin sınıfı ZC, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 olarak seçilerek,  $F_a = 1,2$  ve  $S_s = 2,031$  değerleri alınmıştır.

Seçilen ve elde edilen değerler kullanılarak mevcut tasarım için konsola etkiyen yatay ( $F_p$ ) ve düşey ( $F_v$ ) kuvvet hesaplanırsa:

$$a_p = 1, \quad R_p = 2,5, \quad I_p = 1,5, \quad \frac{z}{h} = 1,$$

$$W_p = 1100 + 320 = 1420 \text{ kg}$$

$$S_{DS} = 1,2 \times 2,031 = 2,4372$$

$$F_p = \frac{0,4 \times 1 \times 2,4372 \times 9,81 \times 1420}{\left(\frac{2,5}{1,5}\right)} \times (1 + 2 \times (1)) = 24450 \text{ N}$$

$$F_v = 0,2 \times 2,4372 \times 1420 \times 9,81 = 6792 \text{ N}$$

bulunur. Konsollar arası düşey mesafe,  $l = 2500$  mm ve patenler arası düşey mesafe,  $L = 2200$  mm olduğundan  $L < l$  olmaktadır. Böylece, deprem kuvvetleri şu şekilde bulunur:

$$F_x = F_{y-y} = \left(\frac{24450}{2}\right) \times \left(1 - \frac{2200}{3 \times 2500}\right) = 8640 \text{ N}$$

$$F_y = F_{x-x} = 24450 \times \left(1 - \frac{2200}{3 \times 2500}\right) = 17279 \text{ N}$$

## 2.5. Normal Çalışma Yükleri ve Deprem Yüklerinin Bileşkesi

Bileşke kuvvetleri hesaplanırken TS EN 81-77'ye göre daha büyük kuvvetler bulunan ASME A17.1 standardında elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Buna göre:

$$F_x = 566 + 8640 = 9206 \text{ N}$$

$$F_y = 1119 + 17279 = 18398 \text{ N}$$

$$F_v = 3325 + 6792 = 10117 \text{ N}$$

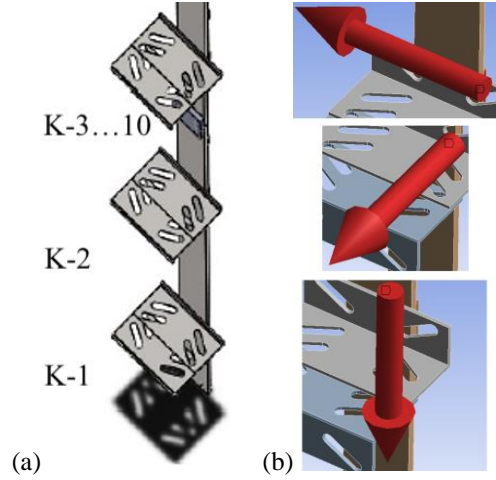
olarak bulunur. Kılavuz ray ile konsollar arasına uygulanan yağ nedeniyle kılavuz ray ile konsol arasındaki sürtünme kuvveti katsayısı 0,16 olarak kabul edilmektedir.

Böylece konsola etkiyen düşey kuvvet:

$$F_{v_{konsol}} = F_y \times \mu = 18398 \times 0,16 = 2944 \text{ N}$$

## 2.6. Sonlu Elemanlar Analizi

Hesaplamaların ardından tasarım parametreleri belirlenen montajın üç boyutlu tasarımları yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizi için ANSYS 19.2 programı kullanılmıştır. Şekil 5(a)'da görüleceği üzere konsol elemanları asansör kuyusu zemininden başlayarak kodlanmıştır. 25 metre yüksekliğinde bir bina için 2,5 m konsol aralığı ile 10 konsol çifti sırayla (K-1, K-2, ... K-10) isimlendirilmiştir. Kılavuz raya etkiyen kuvvetler Şekil 5(b)'de görüleceği üzere sırasıyla;  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  olarak sisteme uygulanmıştır. Duvar tarafındaki konsollar sabitlenmiş destek olarak kabul edilmiştir. Kılavuz raylar rijit kabul edilmiştir. Her simülasyonda ortalama 960.000 ağ elemanı (mesh) bulunmaktadır. Simülasyon çalışmasında kullanılan eleman tipleri SOLID186, SOLID187, MASS21, TARGE170, SURF154 ve CONTA174'tür. Yuvarlak kenarların daha iyi analiz edilmesi için ANSYS programında bulunan "adaptive mesh" kullanılmıştır. Standart konsol tasarımı ve destekli konsol tasarımı olarak iki farklı model için simülasyonlar yapılmıştır.



Şekil 5. Kılavuz ray konsol bağlantısı sınır koşulları.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

En kritik konumda bulunan kılavuz ray konsol montajının orta bölümünde yer alan K-5 ve K-6 konsolları ele alınmıştır. Konsollar için standart ve destekli olmak üzere iki farklı tasarım geliştirilmiş ve tasarımlar karşılaştırılmıştır.

### 3.1. Standart Konsol Tasarımı

K-5 konsolunun hizasından etkiyen kuvvetler neticesinde en yüksek gerilme değerinin kılavuz ray ile duvara bağlı konsol elemanı arasındaki konsolda, konsolun montajı için kullanılan yuva deliğinde 148 MPa değeriyle oluştuğu görülmüştür (Şekil 6(a)). En büyük deformasyon değeri 0,242 mm olarak bulunmuştur. K-6 konsolunda elde edilen en yüksek gerilme değeri noktası K-5 ile yaklaşık aynı bölgede 149 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 6(b)). En büyük deformasyon K-5 konsoluyula aynı olarak 0,242 mm değerindedir.

### 3.2. Destekli Konsol Tasarımı Sonuçları

K-5 konsolunun incelenmesinde en yüksek gerilme değerinin duvara bağlı konsolda, konsolun montajı için kullanılan yuva deliğinde 109 MPa değerinde meydana geldiği



görülmüştür (Şekil 7(a)). En yüksek deformasyon değeri 0,091 mm olarak bulunmuştur. K-6 konsolundaki en yüksek gerilme değeri noktası K-5 ile aynı nokta olup, 109 MPa'dır (Şekil 7(b)). Konsolda meydana gelen en büyük deformasyon 0,091 mm'dir.

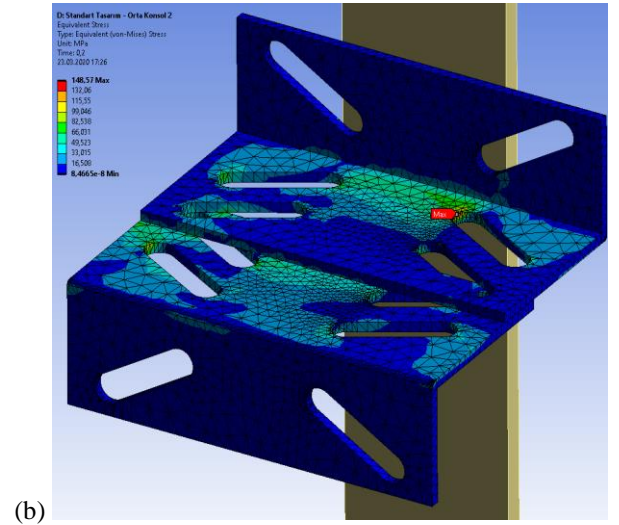
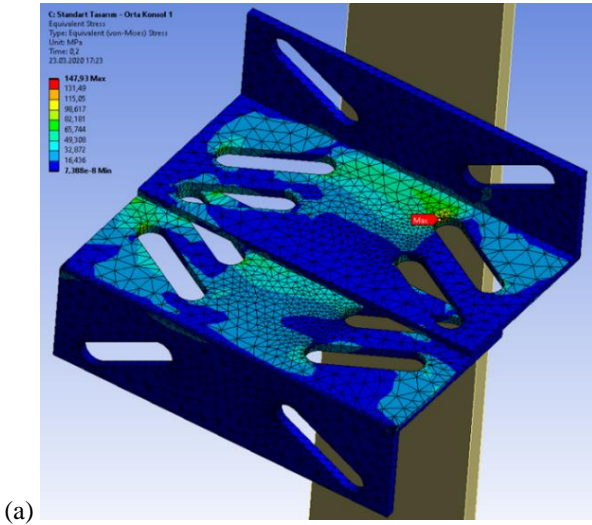
### 3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hem standart hem de destekli konsol tasarımlarının analizleri tutarlı sonuçlar vermektedir. Konsolların çekme mukavemeti 360 MPa ve akma mukavemeti, konsol kalınlığı 16 mm altında olduğu için 235 MPa'dır. Sonuç olarak elde edilen gerilme ve deformasyon değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Standart ve destekli konsollar üzerinde meydana gelen gerilmeler karşılaştırılmıştır. Standart konsol tasarımı için yapılan uygulamalarda destekli tasarıma göre daha yüksek

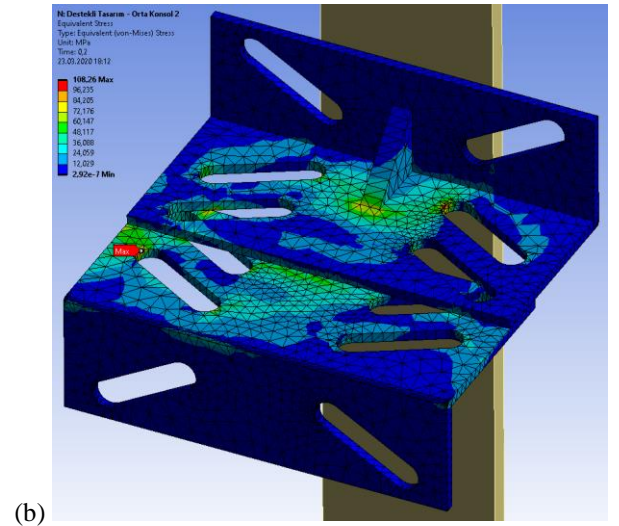
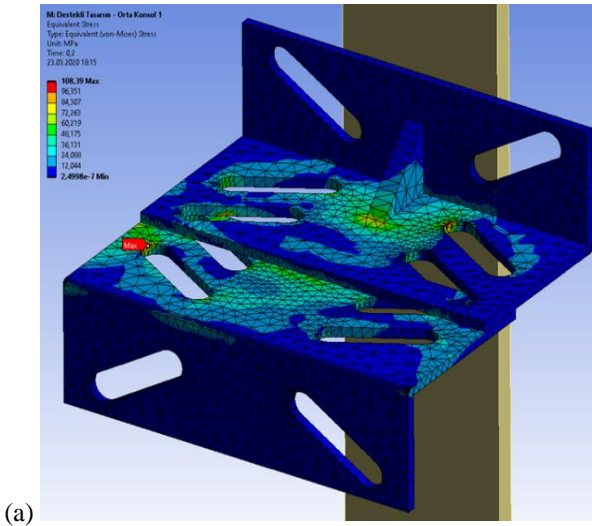
gerilme değerleri bulunmuştur. Seçimi yapılan parametreler için incelenen tasarımların simülasyon sonuçlarında ortaya çıkan gerilme değerlerinin, akma mukavemeti 235 MPa değerinin altında olduğundan, bu çalışma için seçilen tasarım parametreleri ile konsollarda kalıcı bir deformasyon görülmemiştir.

Tablo 4. Standart ve destekli konsol tasarımları gerilme ve deformasyon sonuçları.

Tasarım / Konsol No	En Büyük Gerilme, (MPa)		En Büyük Deformasyon, (mm)	
	K-5	K-6	K-5	K-6
Standart konsol tasarımı	148	149	0,242	0,242
Destekli konsol tasarımı	109	109	0,091	0,091



Şekil 6. Standart konsol tasarımlarında meydana gelen gerilmeler: (a) K-5 ve (b) K-6 konsolu.



Şekil 7. Destekli konsol tasarımlarında meydana gelen gerilmeler: (a) K-5 ve (b) K-6 konsolu.

## 4. Sonuç

Gerçekte deprem sırasında oluşan kuvvetlerin yönü ve büyüklüğü stokastik olarak değişmekte olduğundan tespiti oldukça zordur. Bu kuvvetlerin anlık değişimleri nedeniyle bilgisayar modellerinden elde edilen sonuçlardan daha yüksek gerilmeler meydana gelebilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan

gerilmeler akma mukavemetini geçebilir. Benzer çalışmalar yapılırken beklenmeyen etkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

İlgili standartlarda yer alan hesaplama yöntemleri ile elde edilen deprem kuvvetleri sonucunda, standart konsol tasarımında oluşan gerilmelerin, destekli konsol tasarımına göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, destek unsurunun konsol

üzerine etkiyen kuvvetlerin sebep olduğu gerilmeleri azaltması ve gerilmelerin tek bir noktaya etki etmesini önlemesidir. Deformasyon değerleri incelendiğinde de aynı durum görülmektedir.

Çalışma sonucunda konsol tasarımlarının konsol üzerinde meydana gelen gerilmeler üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle, özellikle deprem yükleri nedeniyle oluşan belirsizliklerin sebep olacağı etkiler göz önüne alınırsa, farklı tipteki konsol tasarımları üzerine çalışmalar yapılması faydalı olacaktır. Bir diğer önemli çıkarım, özellikle sismik yüklerin etkili olduğu, deprem riski yüksek bölgelerdeki asansör tesislerinde standart konsol tasarımına göre analizler sonucunda daha düşük gerilme değerleri elde edilen konsol bağlantı eleman tasarımlarının kullanılmasının daha güvenliği olacaktır.

## Kaynakça

- AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Erişim: 3 Ekim 2019, url: <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>
- AFAD. (2020). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. Erişim: 30 Şubat 2020, url: <http://tdth.afad.gov.tr/>
- Andrée, K., Nilsson, D., & Eriksson, J. (2016). Evacuation experiments in a virtual reality high-rise building: Exit choice and waiting time for evacuation elevators. *Fire and Materials*, 40(4), 554–567. <https://doi.org/10.1002/fam.2310>
- ASME. (2016). Handbook on Safety Code for Elevators and Escalators (Standard No. A17.1/CSA B44).
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1–3), 3–30. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(01\)01066-X](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X)
- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 561. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125168>
- IBC. (2017). International Building Code 2018.
- İmrak, C. E., Gerdemeli, İ. (2000). Asansörler ve Yürüyen Merdivenler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- İmrak, C. E. (2012). A Survey for the Effect of 2011 Van Earthquakes on Elevators. Erişim: [https://www.aysad.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/Van\\_Survey\\_Appendixes.pdf](https://www.aysad.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/Van_Survey_Appendixes.pdf)
- Kayaoğlu, E., Salman, Ö., & Candaş, A. (2011). Study on stress and deformation of an elevator safety gear brake block using experimental and FEA methods. *Advanced Materials Research*, 308–310, 1513–1518. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.308-310.1513>
- Mazza, F., & Labernarda, R. (2021). Internal Pounding between Structural Parts of Seismically Isolated Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1866122>
- Sancak, A. M. (2020). Asansörlerde kabin kılavuz ray konsollarının sismik bölgeler için tasarımı, modellenmesi ve analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TSE (2005). Eurocode 8: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı – Bölüm 1: Genel Kurallar, Sismik Etkiler ve Binalar için Kurallar (TS EN 1998-1: 2005) (Eurocode 8).
- TSE (2012). Asansör Rayı Bağlama Sistemi (Standart No. TSE K 179).

- TSE. (2020a). Asansörler - Yapım ve montaj için güvenlik kuralları - Yolcu ve yük asansörleri için özel uygulamalar - Bölüm 77: Sismik durumlara tabi asansörler (Standart No. TS EN 81-77:2020).
- TSE. (2020b). Asansörlerin Yapımı ve Kurulumu için Güvenlik Kuralları – İnceleme ve Deneyler – Bölüm 50: Asansör Bileşenlerinin Tasarım Kuralları, Hesaplamaları, İncelemeleri ve Deneyleri (TS EN 81-50: 2020).
- Wang, X., Hutchinson, T. C., Astroza, R., Conte, J. P., Restrepo, J. I., Hoehler, M. S., & Ribeiro, W. (2017). Shake table testing of an elevator system in a full-scale five-story building. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 46(3), 391–407. <https://doi.org/10.1002/eqe.2793>
- Wang, X., Günay, S., & Lu, W. (2020). Seismic analysis of the rail-counterweight system in elevators considering the stiffness of rail brackets. *Advances in Structural Engineering*. <https://doi.org/10.1177/1369433220974777>
- Wang, X., Günay, S., & Lu, W. (2021). Mechanical model and seismic study of the roller guide-rail assembly in the counterweight system of elevators. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 50(2), 518–537. <https://doi.org/10.1002/eqe.334>



# Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması

Mehmet Selman Gokmen<sup>1\*</sup>, Ibrahim Dogan<sup>2</sup>, Hasan Aydoğan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir MYO, Mot. Ar. ve Ulaş. Tek. Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5943-7504), [msgokmen@erbakan.edu.tr](mailto:msgokmen@erbakan.edu.tr)

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1448-8911), [ibrahimdogan0594@gmail.com](mailto:ibrahimdogan0594@gmail.com)

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1404-6352), [haydogan@selcuk.edu.tr](mailto:haydogan@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898563)

**ATIF/REFERENCE:** Gokmen, M. S., Dogan, I. & Aydoğan, H. (2021). Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 67-74

## Öz

Bu çalışmada, 1-Propanolün benzin ile karıştırılması ile elde edilen yakıt karışımlarının egzoz emisyon değerlerine etkisi yanıt yüzey metodolojisi ile deneysel olarak incelenmiştir. Yanıt Yüzey Metodolojisi (YYM) için giriş faktörleri 1-Propanol oranı ile Motor devri ve yanıt değerleri ise karbonmonoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), Azot Oksit (NO) ve Oksijen (O<sub>2</sub>) emisyonları olarak belirlenmiştir. Oluşturulan YYM tasarımında 3 Seviye Faktöriyel Tasarım (3SFT) tekniği kullanılarak deneyler planlanmıştır. Deneysel sonuçlarında motor devri 1500, 2500 ve 3500 d/dk ayrıca 1-propanol oranı ise %5, %10 ve %15 (% hacim) olarak belirlenerek 3 farklı karışım ve %100 Benzin için toplam 12 farklı ölçüm gerçekleştirilmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları için optimum değerleri sırasıyla %98.58, %98.88, %99.03, %99.33 ve %98.51 doğrulukta % 0.292, %7.07, 45.55 ppm, %7.49 ve 1298.42 ppm olarak tahmin edilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak önemli olması, YYM kullanılarak benzin karışımlarının emisyon değerleri üzerindeki etkilerinin daha az test sayısı ile verimli bir şekilde incelenebildiğini göstermektedir. Çalışma sonuçlarına göre 1-Propanol karışımları tüm devirlerde CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emisyonlarını azaltmıştır fakat CO emisyonu için en düşük değerler %100 benzin ile yapılan testlerde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 1-Propanol, Benzin, Egzoz Emisyon, Deneysel Tasarım, Yanıt Yüzey Metodolojisi, Optimizasyon.

## Investigation of the Effect of 1-Propanol / Gasoline Fuel Blends on Exhaust Emissions Using Response Surface Methodology

### Abstract

In this study, the effect of 1-Propanol / Gasoline fuel mixtures on exhaust emission values has been experimentally investigated using response surface methodology. The input factors for Response Surface Methodology (YYM) are 1-Propanol ratio and Engine speed and response values are determined as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), hydrocarbon (HC), Nitrogen Oxide (NO) and Oxygen (O<sub>2</sub>) emissions. In the created YYM design, experiments were planned by using 3 Level Factorial Design (3SFT) technique. Engine speed was determined as 1500, 2500 and 3500 (rpm), and 1-propanol ratio was determined as 5%, 10% and 15% (volume %). A total of 12 different measurements were performed for 3 different mixtures and 100% Gasoline and the results were evaluated statistically. Optimum values for CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> and NO emissions were estimated as 0.292%, 7.07%, 45.55 ppm, 7.49% and 1298.42 ppm, respectively. The accuracy rates of the estimates were calculated as 98.58%, 98.88%, 99.03%, 99.33% and 98.51% for emission values, respectively. The statistical significance of the results shows that the effects of gasoline mixtures on emission values can be examined efficiently with less number of tests using YYM. According to the results of the study, 1-Propanol mixtures reduced CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emissions in all cycles, but the lowest values for CO emission were obtained in tests with 100% gasoline.

**Keywords:** 1-Propanol, Gasoline, Exhaust Emission, Design of Experiment, Response Surface Methodology, Optimization.

\* Sorumlu Yazar: [msgokmen@erbakan.edu.tr](mailto:msgokmen@erbakan.edu.tr)

## 1. Giriş

Benzin, ham petrolün rafineride işlenmesi ile elde edilen yapısında aromatik ve parafin bulunduran bir yakıttır (Acaroğlu et al., 2018). Yapısında bulunan parafinler yanıcı özelliklerinden dolayı benzinin ateşleme performansını artırırken vuruntu direncini ise düşürdüğü için benzen ve izoparafinler vuruntu kontrolü sağlamak için rafineride ilave edilmektedir (Jarmon & Anderson, 2005). Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı iklimsel koşullardan çok etkilenen bir yakıt olmasına rağmen rafineriler kabul edilebilir motor performansı sağlayan, standart ve düşük maliyetli benzin üretimi yapmaktadır. Bu nedenle gelişmiş ülkeler iklim ve tüketim koşullarını göz önüne alarak kendi iç rafinerilerinde standart benzinin özelliklerini kendi ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmektedir (Reif, 2015). Yakıtların sağlanması gereken temel özellikler standartlar ile belirlenmiştir fakat iklimsel ve bölgesel koşullar göz önüne alındığı zaman genellikle farklı katkı maddeleri kullanılarak bir takım özelliklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt katkılarının ilavesi ile standart yakıtın sağladığı motor performansının artırılması, zararlı emisyonların azaltılması gibi temel parametrelerin yanı sıra korozif etkilerin önlenmesi, yağlayıcı özelliklerin iyileştirilmesi, yakıt stabilizesinin yükseltilmesi gibi özelliklerinde geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Srivastava & Hancsók, 2014).

Benzin yakıtının oksijen içeriği daha iyi bir yanma ve daha düşük emisyon değerleri sağlaması amacı ile 1-Propanol kullanılarak artırılabilir (Qian et al., 2018). 1-Propanol yapısında üç adet karbon bulundurur ve  $CH_3H_7OH$  formülü ile tanımlanmaktadır (Gawale & Naga Srinivasulu, 2020). Yapısında bulunan OH grupları benzinin oksijen içeriğini artırmaktadır (Mourad & Mahmoud, 2018). Aynı zamanda oktan sayısının yüksek olması ile benzinin vuruntu direncini artırmaktadır. Endüstride çözücü ve buzlanma önleyici olarak yaygın olarak kullanılmakta olan 1-Propanol yakıt sisteminin temizlenmesine katkı sağlamaktadır (Liu et al., 2016). OH grubu metanol ve etanolden farklı olarak zincir sonunda doğrudan karbon'a bağlanmıştır ve yüksek moleküller arası etkileşime sahip olduğu için kaynama noktası benzin, etanol ve metanolden daha yüksektir (Papa, 2000). Ayrıca (Li et al., 2019) tarafından yapılan çalışmada ise 1-Propanolün doğrusal kimyasal zincir yapısından dolayı laminer alev hızının yüksek olduğu belirtilmiştir. Yüksek laminer alev hızı yanmayı iyileştirdiği için emisyonların indirgenmesine katkı sağlamaktadır.

1920 li yıllarda Sir Ronald A. Fisher' in istatistiksel deney tasarımını geliştirmesi ardından faktöriyel tasarım kavramı ve varyans analizinin gelişimine yaptığı katkılar ile birlikte 1951 yılında Box ve Wilson (Draper, 1992) tarafından Yanıt Yüzey Metodolojisi geliştirilmiştir. Bu metodoloji ile birlikte test parametrelerinin ve prosesinin optimizasyonu sağlanmıştır (Montgomery, 2006). YYM son yıllarda içten yanmalı motor testlerinde deneylerin tasarımı, maliyetlerin düşürülmesi ve optimizasyon amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Abdalla et al., 2019; Bote et al., 2020; Yusri et al., 2017).

Son yıllarda çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri nedeni ile diesel araçlarının kullanılmasına dünya genelinde sınırlandırmalar getirilmektedir. Yaşanan gelişmeler araştırmacıların ilgisini çekmiş ve benzin yakıtının özelliklerini iyileştirilmesi için çalışmalar hız kazanmıştır. Literatürde 1-Propanol'ün benzin katkı maddesi olarak kullanımı ile ilgili çok az sayıda çalışma olmasına rağmen optimizasyon çalışmasına

rastlanmamıştır. Bu çalışmada motor devri ve % 1-Propanol oranına bağlı olarak egzoz emisyon değerleri (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO) YYM ile optimize edilerek emisyonlar için ideal koşullar belirlenmiştir. Ayrıca YYM sayesinde test sayıları azaltılarak, her bir parametrenin tahmin fonksiyonları matematiksel olarak elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yakıt Karışımları ve Test Düzenegi

Yakıt karışımları Sigma Aldrich tarafından tedarik edilen %99.9 saflıkta 1-Propanolün hacimce %5 (P5), %10 (P10) ve %15 (P15) oranında benzin ile karıştırılması ile elde edilmiştir. Ayrıca kıyas yakıtı olarak OPET'ten tedarik edilen 95 Oktan Benzin kullanılmıştır. Yakıt özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

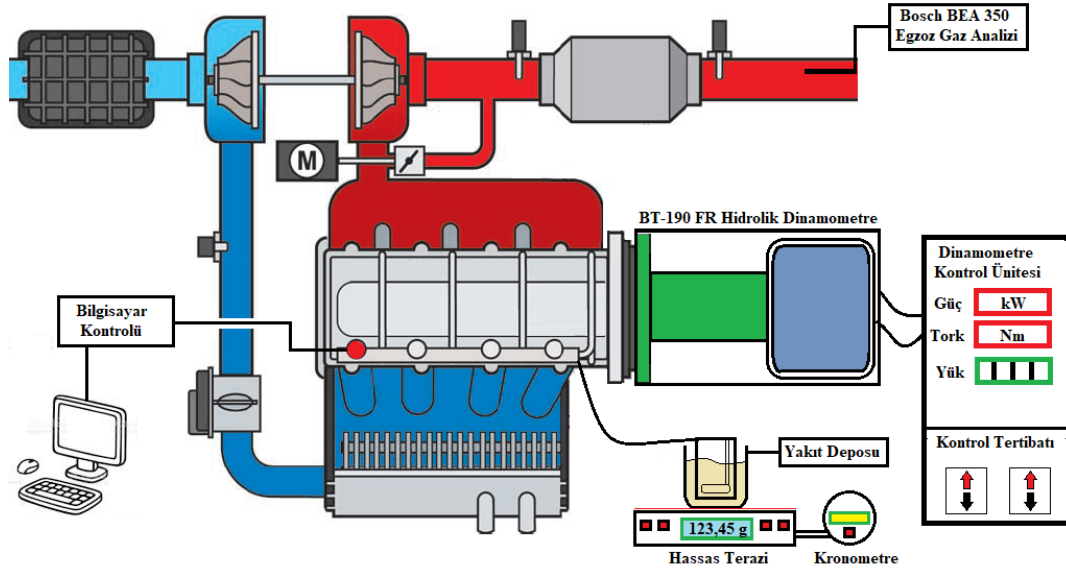
Tablo 1. Yakıt Özellikleri

Özellik	Benzin	1-Propanol
Yoğunluk (g/ml)	0,775	0,804
Parlama Noktası (°C)	<-40	22
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (°C)	>250	372
Kaynama Noktası	>32	>97
Oktan Sayısı	95	98
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	43430	30630

Testler 1.2 TSI direkt enjeksiyonlu 4 zamanlı ve 4 silindir bir benzinli motor ile 1500, 2500 ve 3500 d/dk 'da 100 kW maksimum güç ve 750 Nm maksimum tork değerleri sağlayabilen BT-190 FR hidrolik dinamometre kullanılarak kısmi yük altında gerçekleştirilmiştir. Test motorunun özellikleri tablo 2'de, test düzenegi ise şekil 1'de verilmiştir. Emisyon değerleri Bosch BEA 350 model egzoz emisyon cihazı ile ölçülmüştür.

Tablo 2. Test Motoru Özellikleri

Özellik	Nitelik
Model	1.2 TSI, 4 zamanlı, Direk Enj.
Motor Hacmi	1197 cm <sup>3</sup>
Silindir Sayısı	4
Sıkıştırma Oranı	10:1
Silindir Çapı	71 mm
Strok	75.6 mm
Motor Gücü	77 kW (5000 d/dk)
Motor Torku	175 Nm (1550 – 4100 d/dk)
Turbo Basıncı	160 kPa (3500 d/dk)
Emisyon Standartı	Euro 5
Motor Kontrol Sistemi	Continental Simos 10



Şekil 1. Motor Test Düzeneği

## 2.2. Yanıt Yüze Metodolojisi

YYM, test sayılarının azaltılması ve sonuçların optimizasyonu için giriş faktörlerinin yanıt değerleri üzerindeki etkisini istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanarak incelenmesini sağlayan bir deney tasarımı tekniğidir. Bu teknik ile giriş faktörlerinin yanıt değerleri üzerindeki etkileri matematiksel bir tahmin fonksiyonu ile ifade edilebilmektedir. Yanıt değeri, faktörlerin doğrusal bir fonksiyonu ile istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde modellenmişse, tahmin fonksiyonu birinci dereceden bir model olarak tanımlanmaktadır. Tahmin fonksiyonu,  $\beta$  sabit katsayıyı,  $k$  giriş faktörü sayısını,  $\epsilon$  standart hatayı ve  $X$  giriş değerini temsil etmek üzere denklem 1'de verildiği ifade edilmektedir (Anderson-Cook et al., 2009). Doğrusal olarak açıklanması mümkün olmayan fonksiyonlar ise  $i$  doğrusal,  $j$  polinomal katsayıyı temsil etmek üzere denklem 2'de verildiği gibi ifade edilmektedir (Montgomery, 2006).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_k X_k + \epsilon \quad (1)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon \quad (2)$$

$R^2$  değeri determinasyon katsayısı olarak 0 ile 1 arasında tanımlanan bir istatistiksel parametredir ve 1'e ne kadar yakınsa yanıt değerleri giriş faktörleri ile o kadar iyi açıklanabilmektedir.  $y_i$  yanıt değerinin gerçek değeri,  $\hat{y}_i$  tahmini değeri olmak üzere  $R^2$  değeri denklem 3 te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Bradley, 2007). Düzeltilmiş  $R^2$  değeri,  $R^2$  değerini etkileyen fakat istatistiksel olarak anlamsız olan gürültü verilerinin etkisini ortadan kaldırmak için kullanılır.  $n$  hesaplamaya dahil edilen toplam veri sayısını ve  $p$  ise bağımsız değişken sayısı olmak üzere denklem 4'te verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Ostertagová, 2012). Ortalama Mutlak Hata (OMH), gerçek değer ile hesaplama sonucunda bulunan yaklaşık değer arasındaki farkı ifade eden mutlak hata değerinin, bütün test koşulları dahil edilerek ortalamasının alınması ile elde edilmektedir ve  $\alpha$ , hata sayısını ve  $|x_i - x|$  ise mutlak hatayı temsil etmek üzere denklem 5 te verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Carley et al., 2004).

$$R^2 = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \right) \% \quad (3)$$

$$R_d^2 = 100 \left( 1 - \left( \frac{n-1}{n-p-1} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \right) \% \quad (4)$$

$$OMH = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{\alpha} |x_i - x| \quad (5)$$

YYM kullanılarak yapılan deney tasarımlarında farklı teknikler kullanılarak optimizasyon yapılabilmektedir (Gökmen & Bilban, 2020). 3SFT tekniği ile  $k$  ya bağlı olarak  $3^k$  adet test kombinasyonu oluşturulmuştur ve bu teknik giriş faktörlerinin en düşük, orta ve en yüksek seviyelerinde değerlendirme imkanı sağladığı için tercih edilmiştir. Bu çalışmanın giriş faktörleri ve seviyeleri tablo 3'te gösterilmiştir aynı zamanda CO (% hacim), CO<sub>2</sub> (% hacim), HC (ppm), NO (ppm) ve O<sub>2</sub> (% hacim) emisyonları ise yanıt değerleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Giriş Faktörleri ve Seviyeleri

Giriş Faktörleri	Seviyeler		
1-Propanol (% hacim)	5	10	15
Motor Devri (d/dk)	1500	2500	3500

Yanıt değerlerinin optimum noktalarının bulunabilmesi için tanımlanan arzu edilirlilik (desirability, d) fonksiyonu, tahmin edilen yanıt değerinden faydalanarak bir integrasyon işlemine tabi tutulması sonucunda 0 ile 1 aralığında bir değer alması işlemidir. Optimize edilecek yanıt değerinin maksimize, minimize yada sabit bir değerde tutulması gerekliliği ölçüm sonuçları ile yapılan kıyaslamaların doğruluğu açısından çok önemlidir ve bu nedenle araştırmacılar tarafından YYM modeli oluşturulurken "yanıt hedefi" tanımlanmaktadır (Wagner, J. R., Mount, E. M., & Giles, 2014). Bu çalışmanın hedefi egzoz emisyon değerlerinin azaltılması olduğu için tüm yanıt değerlerinin arzu edilirlilik fonksiyonu denklem (11) ' de verilen minimizasyon formülü hesaplanmıştır.  $\hat{y}$  tahmin edilen yanıt değeri, **min** kabul edilebilir

en düşük ölçüm değer, **max** tanımlanan yanıt hedefine göre en uygun ölçüm değeridir. **ft** ise fonksiyon eğrisellik üstelidir. Yanıt hedefinin minimizasyon olduğu yaklaşımlarda arzu edilirlilik fonksiyonu değerinin 0 a en yakın olması gerekmektedir (Saravanan et al., 2017).

$$d(y) = \int_0^1 \left( \frac{\hat{y} - \max}{\min - \max} \right)^{ft}, \quad \begin{matrix} \hat{y} < \min \\ \min \leq \hat{y} \leq \max \\ \hat{y} > \max \end{matrix} \quad (11)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Exgöz emisyon testleri gibi yanıt değerlerinin kendi aralarında içsel ilişkiye (interkorelasyon) sahip olduğu durumlarda giriş parametrelerinin herbir yanıt değeri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için kullanılan varyans analizi (ANOVA), yanıt değişkenlerinin tekrarsız kombinasyonlarının regresyonu sonucunda giriş parametreleri ile ilişkilendirilmesini sağlamaktadır. ANOVA analizi, R<sup>2</sup>, Rd<sup>2</sup>, F testi değeri (F-Değeri), olasılık değeri (P-Değeri) gibi faktörlerin yanı sıra faktörlerin üstel değerleri (A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, A\*B) gibi istatistiksel faktörleri içermektedir. P-Değeri 0.05'ten küçük olduğu durumlarda sonuç istatistiksel olarak önemlidir. Ayrıca F-Değerinin büyük olması ise istatistiksel olarak anlamlılığı artırmaktadır. Yanıt değerlerinin giriş değerleri ile açıklanabilirliğinin bir ölçüsü olan R<sup>2</sup> değerleri tüm emisyonlar için %98 üzerindedir, ayrıca 2 ve daha fazla giriş parametresinin olduğu durumlarda kıyaslama için daha önemli olan Rd<sup>2</sup> ise CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO için sırasıyla %96.30, %98.73, %99.54, %99.91 ve %99.72 dir. Tablo 4'te yanıt parametreleri için ANOVA sonuçları verilmiştir.

YYM, geleneksel istatistiksel yaklaşımlardan farklı olarak bir test prosedürünün matematiksel fonksiyonunu elde etmek için kullanılmaktadır. Elde edilen fonksiyon bilinen ölçüm sonuçları ile kıyaslanarak tahmin performansı gözlemlenebilirken test prosedüründe yer almayan giriş değerleri için tahmin imkanı sağlamaktadır. Bu çalışmada CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO için giriş parametrelerine bağlı olarak elde edilen 2. dereceden fonksiyonlar motor devri d/dk (MD) ve 1-Propanol oranı % hacim (AO) olmak üzere sırasıyla (6), (7), (8), (9) ve (10) numaralı denklemlerde verilmiştir. Tablo 5, yakıt karışımlarının test sonuçlarındaki emisyon ölçüm ve tahmin değerlerini karşılaştırmalı olarak vermektedir. % Hata değeri, tahmin değerinin ölçüm değeri ile yüzdelik farkını göstermektedir. Eğer tahmin değeri ölçüm değerinden küçük ise “-“ indisi büyük ise “+” indisi ile belirtilmiştir. Benzin kıyas yakıtı olduğu için tahmin sonuçları tabloda yer almamaktadır.

$$CO = -0,232153 + 0,000625833 * MD + 0,0270917 * AO - (1,40833E - 7 * MD^2) - (3,65 * 10^{-6} * MD * AO) - (0,000473333 * AO^2) \quad (6)$$

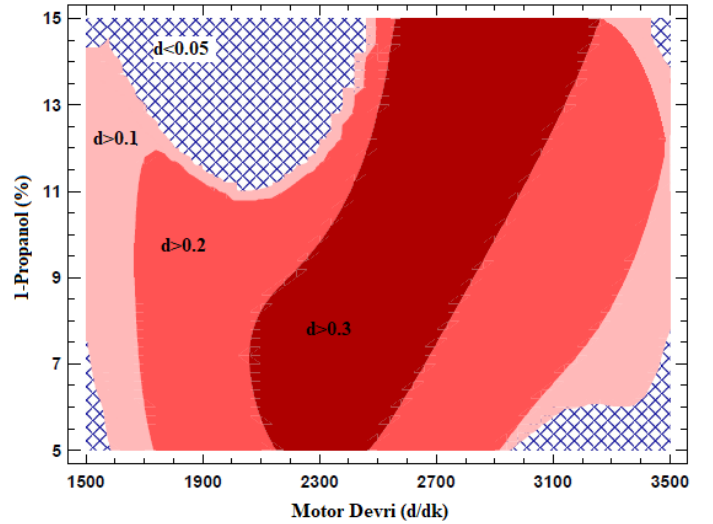
$$CO_2 = 2,57083 + 0,00516667 * MD - 0,138167 * AO - (5,9E - 7 * MD^2) + 0,000027 * MD * AO - 0,002 * AO^2 \quad (7)$$

$$HC = 76,9306 + 0,0096667 * MD - 1,2 * AO - 4,83 * 10^{-6} * MD^2 + 0,0002 * MD * AO + 0,006667 * 1 - AO^2 \quad (8)$$

$$O_2 = 22,4172 - 0,01205 * MD - 0,2015 * AO + 1,67 * 10^{-6} * MD^2 + 49 * 10^{-6} * MD * AO + 0,0016667 * AO^2 \quad (9)$$

$$NO = -990,958 + 1,9505 * MD - 1,325 * AO - 0,0002145 * MD^2 - 0,00315 * MD * AO - 0,28 * AO^2 \quad (10)$$

Test çalışmaları artan 1-Propanol miktarı ile orantılı bir şekilde CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonlarında azalma CO emisyonlarında ise artma olduğunu göstermektedir. 1500 d/dk da yapılan testlerde, P15 karışımının CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları sırasıyla %20.28, %16.86, %25.34 ve %7.31 oranlarında azalırken CO emisyonu %34,42 oranında artmıştır. 2500 d/dk da yapılan testlerde ise P15 yakıtında O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HC ve NO emisyonları sırasıyla %27.03, %18.76, %12,85 ve %11,91 oranlarında azalırken CO emisyonu %10,46 oranında artmıştır. 3500 d/dk da yapılan testlerde ise CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları sırasıyla %5.03, %16.36, %36.78 ve %8.31 azalırken CO emisyonu %31,88 artmıştır. Şekil 3'te grafikleri verilen YYM fonksiyonları kullanılarak yapılan hesaplamalar tüm ölçüm sonuçlarını %90 üzerinde doğru tahmin etmiştir. En yüksek hata P5 ve P15 karışımlarının 3500 d/dk daki O<sub>2</sub> emisyonu değerinde sırasıyla %8.24, %6,16 olarak hesaplanmıştır ve bunlar haricindeki tüm tahmin hataları %5 ten düşüktür.



Şekil 2. Model Arzu Edilirlik Fonksiyonu Grafiği

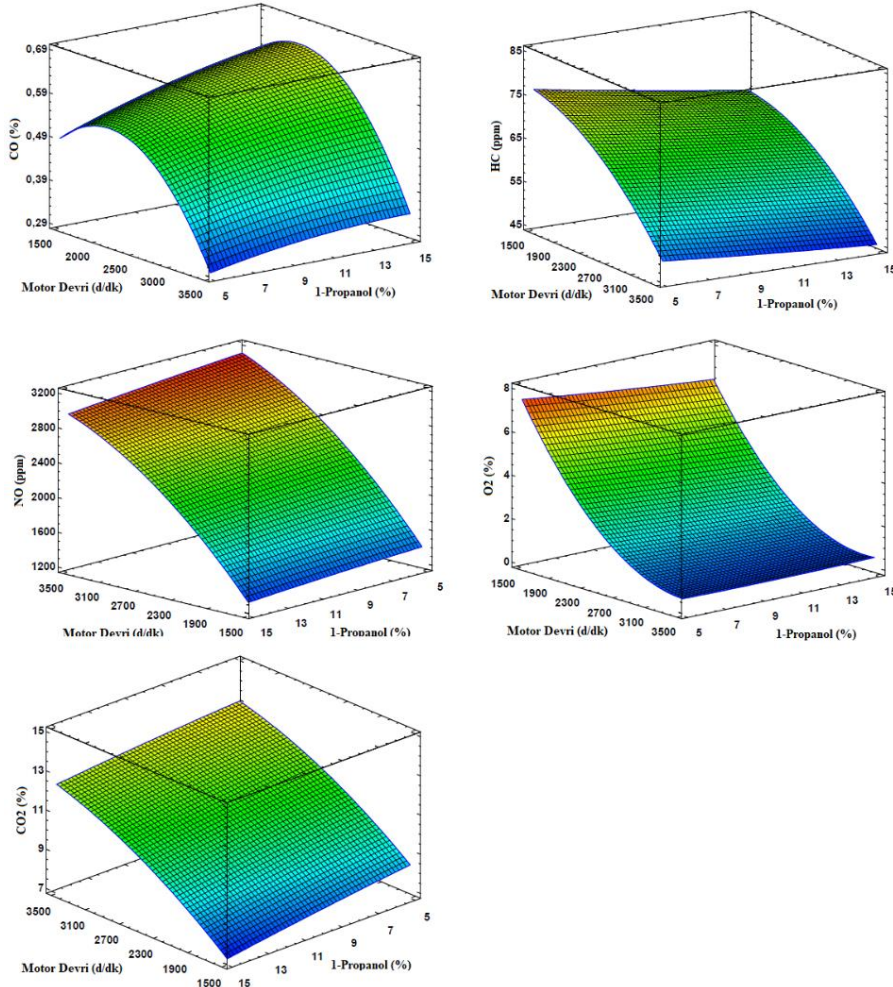
Motor devri ve 1-Propanol oranına bağlı olarak YYM modelinin arzu edilirlilik fonksiyonu grafiği şekil 3 te verilmiştir. Ayrıca her yanıt değeri için minimum ve optimum değerler arzu edilirlilik fonksiyonuna bağlı olarak hesaplanmıştır. Model arzu edilirlilik fonksiyonu grafiğinde taralı alanlar (d<0.05) en iyi optimum nokta tahminlerinin yapıldığı bölgeleri göstermektedir. Taralı alan haricinde kalan bölgeler için arzu edilirlilik fonksiyonunun değerleri artış göstermektedir bu nedenle o bölgelerdeki tahminler istatistiksel olarak güvenilir değildir. Optimum noktaların

doğrulukları, giriş parametrelerine göre yapılan gerçek ölçümler ile aynı nokta için yapılan tahminlerin yüzdesel olarak yakınlığının yüzdelik olarak ifade edilmesi ile kontrol edilir ve YYM modelinin doğru çalıştığının bir ölçüsüdür. Bu çalışmada CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları için optimum değerler, minimum ölçüm değerleri baz alınarak yapılan hesaplamaya göre %98.58, %98.88, %99.03, %99.33 ve %98.51 doğrulukta % 0.292, %7.07, 45.55 ppm, %7.49 ve 1298.42 ppm olarak tahmin

edilmiştir. Bütün yanıt değerleri için optimum değer tahminleri %95 üzerinde doğruluktur.

Tablo 4. ANOVA Tablosu (A: Motor Devri (d/dk) B:1-Propanol (%))

Parametre	CO		CO <sub>2</sub>		HC		O <sub>2</sub>		NO	
	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri
A	0,0015	128,89	0,0002	586,53	0,0000	1582,03	0,0000	8437,43	0,0000	2868,96
B	0,0246	17,66	0,0125	29,04	0,0029	81,28	0,0074	42,25	0,0184	21,92
A <sup>2</sup>	0,0040	64,62	0,0451	11,01	0,0030	78,84	0,0001	750,38	0,0043	61,40
A*B	0,2371	2,17	0,3617	1,15	0,0805	6,75	0,0107	32,43	0,4754	0,66
B <sup>2</sup>	0,5478	0,46	0,7969	0,08	0,7795	0,09	0,5426	0,47	0,8147	0,07
R <sup>2</sup>	0,9861		0,9952		0,9982		0,9996		0,9989	
Rd <sup>2</sup>	0,9630		0,9873		0,9954		0,9991		0,9972	
OMH	0,0120		0,1200		0,3950		0,0420		18,0700	



Şekil 3. Tüm Emisyon Değerleri İçin Yanıt Yüzey Grafikleri

Tablo 5. Test Sonuçları ve YYM Tahminleri

Motor Hızı (d/dk)	Yakıt	CO (% Hacim)			CO <sub>2</sub> (% Hacim)			HC (ppm)			O <sub>2</sub> (% Hacim)			NO (ppm)		
		Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata
1500	<i>Benzin</i>	0,459			8,97			83			8,72			1422		
	<i>P5</i>	0,497	0,486	-2,22	8,29	8,455	+1,99	76	76,222	+0,29	7,54	7,494	-0,61	1396	1414,92	+1,36
	<i>P10</i>	0,538	0,559	+3,82	7,91	7,817	-1,18	72	72,222	+0,31	6,97	6,979	+0,13	1363	1363,67	+0,05
	<i>P15</i>	0,617	0,607	-1,54	7,15	7,078	-1,00	69	68,556	-0,64	6,51	6,547	+0,57	1318	1298,42	-1,49
2500	<i>Benzin</i>	0,554			12,42			70			2,70			2619		
	<i>P5</i>	0,515	0,530	+2,96	11,67	11,397	-2,34	68	67,556	-0,65	2,26	2,356	+4,23	2532	2491,67	-1,59
	<i>P10</i>	0,612	0,615	+0,53	10,82	10,893	+0,68	65	64,556	-0,68	2,11	2,086	-1,16	2421	2424,67	+0,15
	<i>P15</i>	0,603	0,585	-3,06	10,09	10,290	+1,98	61	61,889	+1,46	1,97	1,899	-3,61	2307	2343,67	+1,59
3500	<i>Benzin</i>	0,261			13,11			55			0,87			3247		
	<i>P5</i>	0,297	0,293	-1,41	13,05	13,158	+0,83	49	49,222	+0,45	0,60	0,551	-8,24	3118	3139,42	+0,69
	<i>P10</i>	0,322	0,329	+2,14	12,77	12,790	+0,16	47	47,222	+0,47	0,51	0,526	+3,05	3061	3056,67	-0,14
	<i>P15</i>	0,344	0,341	-0,78	12,45	12,322	-1,03	46	45,556	-0,97	0,55	0,584	+6,16	2977	2959,92	-0,57



## 4. Sonuç

Bu çalışmada, 1197 (cc), turboşarj donanımlarına sahip, direk enjeksiyonlu benzinli bir motorda farklı oranlarda (%5, %10, %15) 1-Propanol katkılı yakıtların farklı motor devirlerinde (1500, 2500, 3500 d/dk) ve kısmi yük koşullarında emisyon değerlerine olan etkisi deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Deney tasarımları için YYM/3SFT teknikleri kullanılmıştır. Motor devri (d/dk) ile 1-Propanol (%) oranları giriş parametreleri emisyon değerleri ise çıkış parametreleri olarak belirlenmiştir. Giriş parametrelerinin her 3 seviyesi için toplam 9 adet test yapılmış ve bu testler %100 benzin ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde 1-Propanol katkılı yakıt karışımlarında CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emisyonlarının tüm motor devirlerinde azaldığı görülmüştür fakat CO emisyonları artış göstermiştir. Benzin değerlerine kıyasla en yüksek artış 1500 d/dk motor hızında P15 karışımında %34. 42gölürken en düşük artış ise aynı yakıt karışımı için 2500 d/dk motor hızında %10.46 olarak gerçekleşmiştir. 1-Propanol'un benzine kıyasla daha düşük alt ısı değere sahip olması nedeni ile yanma performansına olumsuz etki etmektedir, ayrıca kimyasal yapısında bulunan 3 adet metil grubu nedeni ile yakıtın karbon sayısını artırarak birim hava başına yakıtın daha fazla karbon içermesine neden olmaktadır ve bu nedenle CO emisyonları artmaktadır. CO emisyonları 2500 d/dk motor devrine kadar artış göstermesine rağmen 2500 d/dk ve üzerindeki devirlerde azalma eğilimine girmiştir. Bütün emisyon değerleri için giriş parametrelerine bağlı olarak matematiksel fonksiyonlar elde edilmiş ve bu modeller yanıt yüzey grafikleri ile açıklanmıştır. YYM tahmin fonksiyonları gerçek ölçüm sonuçları ile doğrulanmıştır ve bütün yanıt değeri fonksiyonları istatistiksel olarak önemlidir. Optimum yanıt değeri fonksiyonları arzu edirlilik (desirabilty) fonksiyonları kullanılarak doğrulanmış ve bütün modelin en iyi tahmin aralıkları giriş parametrelerine bağlı olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde model arzu edirlilik fonksiyonu grafiği ve optimum değerler göz önüne alınarak 1-Propanol karışımlarının düşük motor devirleri için yüksek oranlarda ya da yüksek motor devirlerinde düşük oranlarda kullanım için uygun olduğu görülmektedir. Yanıt yüzey grafikleri göz önüne alınarak yüksek 1-Propanol oranı ve yüksek motor devrindeki kullanımların sadece HC emisyonu üzerinde doğrudan etkisi olduğu görülmektedir. O<sub>2</sub> emisyonları motor devri ile doğru orantılı bir şekilde azalmıştır. NO ve CO<sub>2</sub> emisyonları için en düşük değerler 1500 d/dk ve P15 yakıtında elde edilmiştir. Ayrıca, alternatif yakıt testlerinde farklı parametrelerin egzoz emisyon değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi için YYM kullanılması, daha az test gerekliliği nedeni ile çalışmanın daha düşük maliyet ile gerçekleşmesini sağlamaktadır.

## Kaynakça

- Abdalla, A. N., Tao, H., Bagaber, S. A., Ali, O. M., Kamil, M., Ma, X., & Awad, O. I. (2019). Prediction of emissions and performance of a gasoline engine running with fusel oil-gasoline blends using response surface methodology. *Fuel*, 253(April), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.085>
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., & Özçelik, A. E. (2018). *Yakıtlar ve Yanma*. Nobel Akademi Yayıncılık.
- Anderson-Cook, C. M., Borror, C. M., & Montgomery, D. C. (2009). Rejoinder for “Response surface design evaluation and comparison.” *Journal of Statistical Planning and Inference*, 139(2), 671–674. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2008.04.009>
- Bote, M. A., Naik, V. R., & Jagdeeshgouda, K. B. (2020). Optimization of spark ignition engine adopting Taguchi access and response surface methodology. *Fuel*, 280(May), 118530. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118530>
- Bradley, N. (2007). *The Response Surface Methodology* [Indiana University of South Bend]. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-44324-8\\_1998](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44324-8_1998)
- Carley, K. M., Kamneva, N. Y., & Reminga, J. (2004). *Response surface methodology, CASOS Technical Report*. <https://doi.org/10.1002/wics.73>
- Draper, N. R. (1992). *Introduction to Box and Wilson (1951) On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. 1951*, 267–269. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_22)
- Gawale, G. R., & Naga Srinivasulu, G. (2020). Experimental investigation of propanol dual fuel HCCI engine performance: Optimization of propanol mass flow rate, impact of butanol blends (B10/B20/B30) as fuel substitute for diesel. *Fuel*, 279(March), 118535. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118535>
- Gökmen, M. S., & Bilban, M. (2020). Optimization of Internal Combustion Engine Tests with Response Surface Methodology: A Review. *Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy Management*, 1(2), 34–41.
- Jarmon, G., & Anderson, P. (2005). *Special Gasoline Blends* (No. 05–421; GAO, Issue June).
- Li, W., Zhang, Y., Mei, B., Li, Y., Cao, C., Zou, J., Yang, J., & Cheng, Z. (2019). Experimental and kinetic modeling study of n-propanol and i-propanol combustion: Flow reactor pyrolysis and laminar flame propagation. *Combustion and Flame*, 207, 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.05.040>
- Liu, X., Wang, H., Zheng, Z., Liu, J., Reitz, R. D., & Yao, M. (2016). Development of a combined reduced primary reference fuel-alcohols (methanol/ethanol/propanols/butanols/n-pentanol) mechanism for engine applications. *Energy*, 114, 542–558. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.001>
- Montgomery, D. C. (2006). Design and Analysis of Experiments. In *Technometrics* (Vol. 48, Issue 1). <https://doi.org/10.1198/tech.2006.s372>
- Mourad, M., & Mahmoud, K. R. M. (2018). Performance investigation of passenger vehicle fueled by propanol/gasoline blend according to a city driving cycle. *Energy*, 149, 741–749. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.099>
- Ostertagová, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48(December 2012), 500–506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.545>
- Papa, A. J. (2000). Propanols. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. [https://doi.org/10.1002/14356007.a22\\_173](https://doi.org/10.1002/14356007.a22_173)

- Qian, Y., Guo, J., Zhang, Y., Tao, W., & Lu, X. (2018). Combustion and emission behavior of N-propanol as partially alternative fuel in a direct injection spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 144, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.044>
- Reif, K. (2015). Gasoline Engine Management Systems and Components. In *Springer Vieweg*. Springer Vieweg.
- Saravanan, S., Rajesh Kumar, B., Varadharajan, A., Rana, D., Sethuramasamyraja, B., & Lakshmi Narayana rao, G. (2017). Optimization of DI diesel engine parameters fueled with iso-butanol/diesel blends – Response surface methodology approach. *Fuel*, 203, 658–670. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.083>
- Srivastava, S. P., & Hancsók, J. (2014). Fuels and Fuel-Additives. In *John Wiley & Sons*. John Wiley & Sons.
- Wagner, J. R., Mount, E. M., & Giles, H. F. (2014). Design of Factorial Experiments. *Extrusion*, 291–308. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3481-2.00025-9>
- Yusri, I. M., Mamat, R., Azmi, W. H., Omar, A. I., Obed, M. A., & Shaiful, A. I. M. (2017). Application of response surface methodology in optimization of performance and exhaust emissions of secondary butyl alcohol-gasoline blends in SI engine. *Energy Conversion and Management*, 133(2017), 178–195. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.001>



## Asansör Sistemlerinde Gürültü Ölçümü

Adem Candaş<sup>1\*</sup>, Abdül Melik Sancak<sup>2</sup>, C. Erdem İmrak<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9951-9122), [candas@itu.edu.tr](mailto:candas@itu.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4004-5468), [sancak17@itu.edu.tr](mailto:sancak17@itu.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4428-0158), [imrak@itu.edu.tr](mailto:imrak@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901187)

**ATIF/REFERENCE:** Candaş, A., Sancak, A.M. & İmrak, C.E. (2021). Asansör Sistemlerinde Gürültü Ölçümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 75-80.

### Öz

Asansörler çalışma prensipleri gereği rijit ana yapı sistemlerine doğrudan bağlanan raylar üzerinde hareket etmektedir. Bu nedenle asansör kabininin kalkış ve duruşlarında fren sisteminin etkisiyle bazı anlık darbe kaynaklı gürültüler oluşmaktadır. Bununla beraber kalkış ve duruş arasında da düşey doğrultuda mesnetlenmiş kılavuz rayların üzerindeki hareketli parçalar nedeniyle yapısal titreşim ve gürültüler oluşmaktadır. Mekanik aksamların yanı sıra asansörün enerji ve kontrol panolarında kullanılan röle, kontaktör gibi ekipmanlar da anlık gürültü kaynağı olabilirler. Bu çalışmada konut binasında hizmet veren bir asansörün gürültü ölçüm metodolojisi ele alınmış ve kapsamlı bir araştırma ile gürültü kaynaklarının belirlenmesi ve gürültünün azaltılması için alınması gereken tedbirler açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Asansör, Kılavuz Ray, Gürültü, Gürültü Mevzuatı.

## Noise Measurement in Elevators

### Abstract

Elevators are designed as a lifting equipment moving through rigid guide rails that assembled the elevator shaft directly. For this reason, intermittent sounds occurred during both regular operation and start and stop of cars can generate annoying noise. Structural vibrations and noises occur due to moving parts on guide rails. In this study, the noise measurement methodology in an elevator serving in a residential building was explained and measures were taken to determine the noise level and sources. The precautions and suggestions were discussed to reduce the noise level in an elevator system.

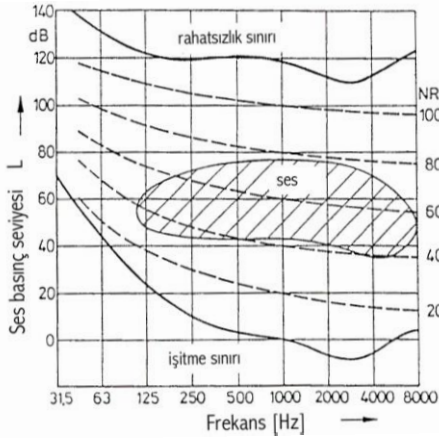
**Keywords:** Elevator, Guide Rail, Noise, Noise Regulations.

\* Sorumlu Yazar: Adem Candaş, [candas@itu.edu.tr](mailto:candas@itu.edu.tr)

## 1. Giriş

Asansör sistemlerinden kaynaklanan gürültü ve titreşim nedeniyle binalarda önemli konfor sorunları meydana gelmektedir. Bu problemler özellikle, makinanın kalkış ve duruşlarında oluşan titreşim ve gürültü nedeniyle makina dairesine yakın alanlarda artış gösterse de asansörün raylar üzerindeki normal hareketi nedeniyle asansöre yakın konumlanan tüm mahaller belli bir ölçüde gürültüye maruz kalmaktadır. Bu nedenle gürültü, motor seçiminde mutlaka dikkate alınmalıdır. Çatı katına yerleştirilen motor, asansör sistemiyle ilgili öne çıkan bir şikâyet kaynağıdır. Uygun motor tasarımı ve alınacak yalıtım tedbirleri ile gürültü azaltılabilir (Jeong vd., 2017). Ancak öncelikle asansör kaynaklı gürültünün tespiti ve doğru metotlarla ölçülmesi gerekir. Bu çalışma kapsamında, gürültü ile ilgili ulusal ve uluslararası güncel mevzuat incelenmiş, asansör gürültü ölçüm metotları tanıtılmış ve bir örnek ölçüm çalışmasının sonuçları üzerinde durulmuştur.

Gürültü ile ilgili genel kavramlardan ses, mekanik titreşim veya dalgalar; ton, sesin sinüzoidal genlik eğrisi; gürültü, rahatsız edici ses / değişik frekanslı çok fazla tondaki ses; ses yoğunluğu, 1000 Hz tonda tonların veya seslerin kabul edilebilir düzeyleri ve ses basınç seviyesi, sesin ölçümü için seviye olarak tanımlanır. İnsan kulağının duyabildiği seslerin frekansları 20-20.000 Hz arasındadır. Gürültünün ses yoğunluğu, sesin basınç değeri ve frekansına bağlıdır. İnsan kulağının işittiği seslerin frekans ve basınç değerleri Şekil 1'de verilmiştir.

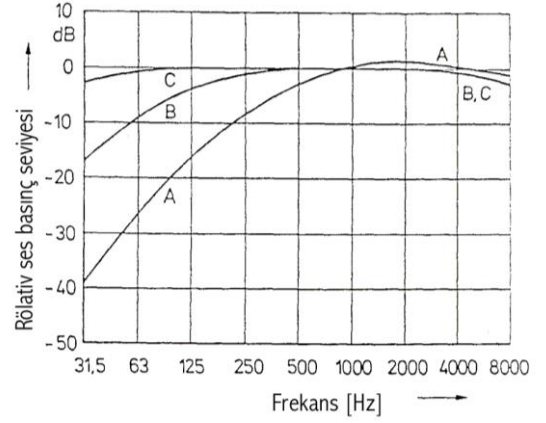


Şekil 1. İnsan kulağının hassasiyeti (Janovsky, 1986).

İnsan kulağının algılayabildiği ses basıncı için  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  (1000 Hz) en düşük,  $20 \text{ N/m}^2$  en yüksek olarak kabul edilebilir seviyelerdir. Ses basınç seviyesi dB ile gösterilir ve logaritmik olarak hesaplanır:

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Burada,  $L$ , ses basınç seviyesini (dB);  $P$ , ölçülen ses basıncını ( $\text{N/m}^2$ ),  $P_0$ , referans ses basıncını ( $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ) ifade eder. Yüksek frekanslı tonda belli bir ses basıncında, aynı basınçtaki düşük frekanslı tondan daha yüksek ses elde edilir. Ses ölçmede, genellikle Şekil 2'de görülen A eğrisi kullanılır. Düşük frekanslı tonlarda (1000 Hz) ve yüksek frekanslı tonlarda (6000 Hz) sınır değerler arasındaki sesleri insan kulağı algılayabilir. Ölçü aletlerinde de Şekil 2'de verilen karakteristikte filtreler kullanılır. En çok kullanılan filtre tipi A tipidir. Landaluz ve vd. (2003) bir asansör kabini için aktif gürültü önleme sistemi geliştirmişlerdir.



Şekil 2. Ses seviyesi ölçmede kullanılan eğriler (Janovsky, 1986).

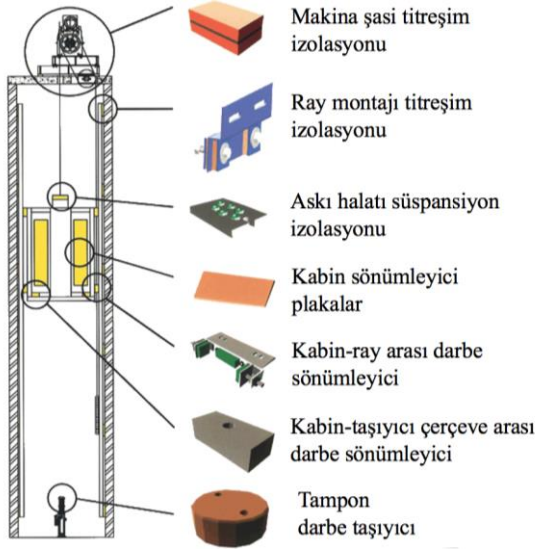
Elektrik makinalarında gürültü kaynakları mekanik, aerodinamik ve elektromanyetik olarak üç ana başlığa incelenebilir. Mekanik kaynak olarak asansör motorlarının yatakları ve hareketli rotor kısmı gürültü yaratır. Rulmanlı yataklar çalışırken titreşim yarattığından gürültüleri daha fazladır. Kaymalı yataklarda gürültü seviyesi nispeten düşüktür. Tahrik sisteminde kullanılan elektrik motorlarının ısınma nedeniyle soğutulması gerekir. Cebri soğutmada kullanılan fan sistemi ise aerodinamik kaynaklı bir gürültü kaynağıdır. Özellikle yüksek hızlarda soğutma gereksinimleri rahatsız edici düzeyde gürültüye neden olabilir. Sargılar, stator ve rotor bağlantıları, manyetik doyma ve rotor kaçıklığı elektrik motorlarında elektromanyetik gürültünün sebepleridir (İmrak ve Gerdemeli, 2000). Asansörlerdeki diğer gürültü nedenleri:

- Asansörlerin  $x$  ve  $y$  ekseninde sarsıntılı çalışması,
- Kabin içinde havalandırma fanının gürültülü çalışması,
- Asansör kuyu duvar yapısının süreksizliği ve inşa açısından uygun olmaması olarak sıralanabilir.

Asansörlerde oluşan gürültüler kabin içinde (hava gürültüsü, titreşim) ve bina içinde (hava gürültüsü, yapı kaynaklı gürültü) olarak sınıflandırılabilir. Yüksek hızlı asansör sistemlerinde rüzgardan kaynaklanan kabin içi gürültü dikkate alınmalıdır (Cibse, 2015). Asansör kabinlerindeki gürültü asansör boşluğundan gelen gürültü (makina gürültüsü, fanlardan kaynaklı gürültü, fren açma gürültüsü, kontaktörlerin gürültüsü), yapıdan kaynaklı gürültü (kabinin çarpılması, yataklar ve patenlerin sürtmesi) ve piston etkisi (asansör hızı, kuyu oranı) olarak üç grupta incelenebilir. Asansör kabininin  $x$  ve  $y$  eksenindeki titreşimi kılavuz ray sistemindeki düzgünsüzlükten;  $z$  eksenindeki titreşimi yataklama, makinanın tork dalgalanması, tahrik yöntemi, hızlanmadan kalan titreşimler ve düzensiz kayma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır (İmrak ve Gerdemeli, 2000). Gürültünün azaltılması için alınabilecek önlemler,

- Kabin ve karşı ağırlığın halat titreşimini önlemek için düzgün bir şekilde tespit edilmesi,
- Makina-motor ile taşıyıcı şasi arasına vibrasyon emici lastik takozlar kullanılması,
- Kasnağın dinamik hareketiyle titreşen çelik tel halatların ve makina dairesindeki gürültünün yalıtılması için makina dairesi tabanında önlem alınması,
- Makina dairesinin son kat yerine çatı katında tasarlanması,
- Asansör kuyularının özellikle yatak odaları gibi akşam vakitlerinde kullanılan odalardan uzakta tasarlanması olarak sıralanabilir (Strakosch ve Caporale, 2010).

Makina dairesel asansörlere yönelik titreşim ve gürültü engelleyici çözümler Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir. Motor altı titreşim alıcı takozlar haricindeki ekipmanlar makina dairesiz sistemler için de uygundur.



Şekil 3. Asansör makinalarında akustik ve titreşim yalıtımına ilişkin prensip detaylar.

## 2. Metodoloji

Bu bölümde çalışmada kullanılacak ölçüm metodolojisi ilgili standartlar incelenerek açıklanmıştır.

### 2.1. Gürültü ile Mevzuat ve Standartlar

Ulusal mevzuatta konut ve diğer binalarda izin verilen gürültü seviyeleri ve limit değerleri belirlenmiştir. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Eki'nde konut alanlarında izin verilen iç ortam gürültü seviyelerinin sınır değerleri verilmiştir (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi, 2010). Buna göre limitler yatak odalarında kapalı pencere durumunda 35 dBA ve açık pencere durumunda ise 45 dBA; oturma odalarında kapalı pencere durumunda 45 dBA; açık pencere durumunda 55 dBA'dır. Yönetmeliğin Madde 25(c) bendinde, konut ve ofis olarak kullanılan binalarda, elektrik motoru, pompa, fan gibi makina ve teçhizatın sebep olacağı titreşimler Ek-VII'de yer alan Tablo-8'de verilen sınır değerleri aşamaz, denilmektedir. Tablo 8'e göre, konutlarda titreşim frekansı 1-8 Hz arasında olmalı ve izin verilen en yüksek titreşim hızı (rms değer-mm/s) 1,5 mm/s'den 0,3 mm/s'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır. Maddenin devamında, bu değerlerin üzerinde titreşim oluşturan makina ve teçhizat için başta titreşim yalıtımı olmak üzere gerekli teknik tedbirler alınarak, binada ölçülen titreşimlerin sınır değerlerin altına indirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'te binalarda izin verilen sınır gürültü değerleri için Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne atıf yapılmaktadır. (Binaların Gürültüye Karşı Korunması, 2017). Yönetmelikte asansör sistemleri servis ekipmanı olarak tanımlanmıştır. Madde 9(2) Binalarda, asansör gibi kesikli ses üreten servis ekipmanlarından kaynaklanan iç gürültülerin değerlendirilmesinde  $L_{AF,max,nT}$  gösterge değerlerinin ekipmanın türüne göre 63-8000 Hz arasında oktav bantlarında kullanılacağı belirtilmektedir. Ölçümlerin en az 3 farklı noktada ve TS EN ISO 10052 (TSE, 2005) ve TS EN ISO 16032'ye e-ISSN: 2148-2683

(TSE, 2004) göre yapılması gerektiği belirtilmiştir. Asansör sistemleri için geçerli olan kesikli çalışan servis ekipmanlarından kaynaklı iç gürültü sınır değerleri Ek-5 Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 1. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'e göre asansörle için iç gürültü sınır değerleri.

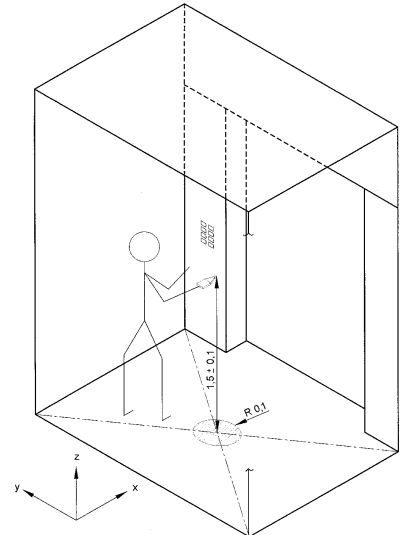
Alıcı ve Gürültü Kaynağı	Servis ekipmanı gürültü düzeyi, $L_{AF,max,nT}$					
	Akustik Performans Sınıfı					
	A	B	C	D	E	F
Kesikli gürültüye sahip servis ekipmanları	26	30	34	38	42	46

Aynı yönetmelikte Madde 18(1)'de Mekanik sistem kurulumu tamamlanıp işletmeye alınması aşamasında, idarece istenmesi durumunda, TS EN ISO 10052 ve TS EN ISO 16032 standartlarına göre ölçümler yapılacağı, ölçüm sonuçlarının sınır değerlerden yüksek çıkması durumunda Ek-8'e göre önlem alınacağı belirtilmektedir. TS EN ISO 10052 ve 16032'de asansör sistemlerinde yapılacak ölçümler için asansörün bir veya iki kişi ile yüklenmesi gerektiği, yük ve kişi sayısının ölçüm boyunca kaydedilmesi gerektiği, işletme döngüsünün en düşük seviyeden başlatılacağı, her ara katta durulacağı, kapının açılıp kapatılacağı, en yüksek seviyeye ulaşıldığında, en düşük seviyeye tekrar gidilip, kapıların tekrar açılıp ve kapatılacağı bilgileri yer almaktadır. Ancak söz konusu standartlar asansör sistemleri için detaylı bir ölçüm metodolojisi sunmamaktadır. Asansörlerden kaynaklı gürültü ve vibrasyon sorunlarına ilişkin ölçümlere dair ayrıntılı bir standart ulusal mevzuatta yer almadığı için binalar ve diğer yaşam mahallerindeki gürültü ve akustik sorunları için kullanılacak uluslararası güncel standartlar aşağıdaki gibidir:

- ISO 18738-1: 2012 Measurement of ride quality – Part 1: Lifts (elevators) (ISO, 2012),
- DIN 4109-1:2018-01 Sound insulation in buildings- Part 1: Minimum requirements (DIN, 2018).

### 2.2. Çalışmada Kullanılan Yöntem

Sayılan mevzuat ve standartlar dikkate alındığında, ISO 18738-1: 2012 Measurement of ride quality-Part 1: Lifts (elevators) standardında asansör sistemlerine dair ölçüm yeri ve metoduna dair ayrıntılı bilgiler verildiği görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Ölçüm aletinin kabin içi konumu (ISO, 2012).

Makina dairesiz asansörlerde, ölçüm metodu olarak çalışmanın yapıldığı tarihte geçerli olan VDI 2566 Blatt 1/Part 1: Acoustical design for lifts with a machine room standardı esas alınmıştır (VDI, 2566a). Buna göre (i) Asansör hareket halindeyken ve (ii) asansör çalışmadığı haldeyken,

- Kabin içinde zeminden 1,5 metre yükseklikte,
- Sahanlıkta kat kapısından 1 metre uzaklıkta,
- Makina dairesi içinde,
- Asansör boşluğunda,
- Asansör kuyusunun komşusu oda içinde,
- Giriş katı olan lobide ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Makina dairesiz asansörlerde ölçüm metodu ise VDI 2566 Blatt 2/Part 2: Acoustical design for lift systems without machine room standardı (VDI, 2566b) esas alınarak kabinde 1 kişi bulunuyorken en alt duraktan en üst durağa kadar (yukarı ve aşağı) asansör hareket halindeyken en az üçer kayıt alınarak,

- Kabin içinde zeminden 1,5 metre,
- Sahanlıkta kat kapısından 1 metre uzaklıkta,
- Kumanda panosu katında kat kapısından 1 m uzaklıkta,
- Yatak odası ortasında,
- Yangın kaçış yolunda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

DIN 4109 Sound insulation in buildings; requirements and verifications standardında konutlar için gürültü seviyeleri belirlenmiştir (DIN, 2018). Bina hizmetlerinden ve ticari işletmelerden gelen gürültüye karşı korunması gereken odalarda izin verilen ses seviyeleri için değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bina hizmetlerinden ve ticari işletmelerden gelen gürültüye karşı korumaya ihtiyaç duyulan odalarda izin verilen ses basıncı seviyeleri için değerler.

Gürültü kaynağı	Oda tipi ve karakteristik ses basıncı seviyesi dB(A)	
	Oturma ve yatak odası	Derslik ve çalışma alanı
Su tesisatı	≤35	≤35
Diğer teknik tesisatlar	≤30	≤35
İş günü saat 6-22 arasında	≤35	≤35
İş günü 22-6 arasında	≤25	≤35

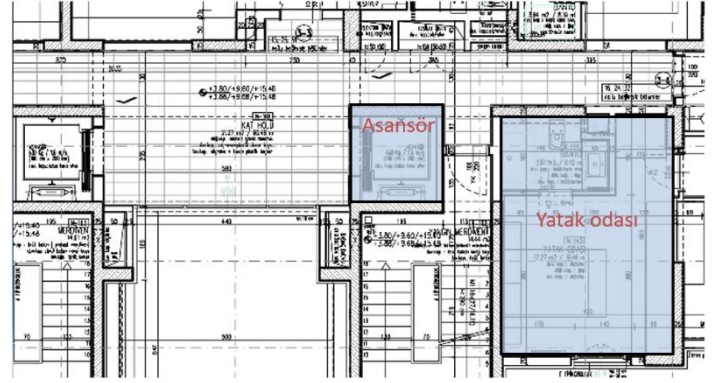
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

10 duraklı, 8 kişilik (630 kg) kapasiteli, makina dairesiz tip (MRL) insan asansörün gürültü ve titreşim incelemesi örnek çalışma olarak verilmiştir. İnceleme konusu asansöre ait teknik veriler aşağıdaki Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Ölçüm yapılan asansörün tasarım değerleri.

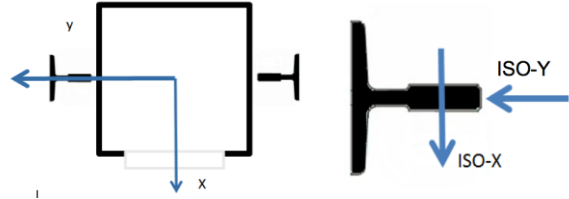
Özellik	Değer
Tipi	Makina dairesiz (MRL)
Durak sayısı	10
Kapasite	8 kişilik (630 kg)
Kabin hızı	1,5 m/s
Kabin ebadı	1,4×1,12 m
Tahrik yöntemi	İndirekt halatlı (1:2)
Halat	7×6,5 mm
Makina-motor	8,5 kW
Emniyet tertibatı	Çift yöne kaymalı fren
Ray tipi	T-90

Şekil 5’te test ve ölçümlerin yapıldığı binanın ilgili katındaki kesit planı yer almaktadır. Yatak odası ve asansör kuyusunun arasında merdiven boşluğu holü bulunmaktadır.



Şekil 5. Ölçümlerin yapıldığı kata ait kesit planı.

Yapılan ölçümlerde asansör için en alt durak katından (-2. kat) en üst durak katına (7. kat) kadar yukarı yönde ve aşağı yönde seyir yapılarak kayıtlar alınmış ve sonuçlar grafiklere dönüştürülmüştür. Grafiklerdeki x eksenini kabin kapısına doğru olan yönde yer değiştirmeleri; y eksenini kılavuz ray eksenine doğru olan yer değiştirmeleri ve z eksenini seyir mesafesi boyunca oluşan yer değiştirmeleri ve salınımları göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçüm standardı şematik gösterimi.

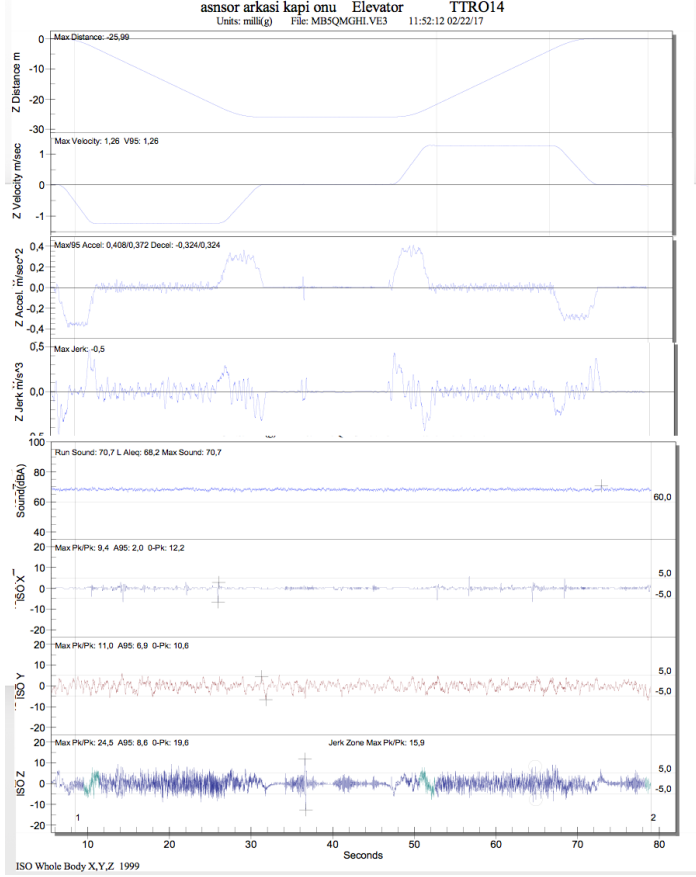
Şekil 7’de titreşim ve ivmelenme ölçüm sonuçları yer almaktadır. Burada;

Z-distance: Seyir yolu,  
 ISO-X: ISO 18738’e göre filtrelenmiş x-eksenindeki salınımları,  
 ISO-Y: ISO 18738’e göre filtrelenmiş y-eksenindeki salınımları,  
 ISO-Z: ISO 18738’e göre filtrelenmiş z-eksenindeki salınımları,  
 Z-velocity: Seyir mesafesi boyunca asansörün hızı (m/s),  
 Z-acceleration: Seyir mesafesi boyunca ivmeyi (m/s<sup>2</sup>),  
 Z-jerk: Seyir mesafesi boyunca ivmelenme değişimi (m/s<sup>3</sup>) değerlerini ifade etmektedir.

Beyan hızı 1,5 m/s olan asansörün yapılan ölçümde ortalama 1,26 m/s hızına sahip olduğu görülmüştür. İvmelenme değerlerinde 0,408 m/s<sup>2</sup> ve ters ivmelenmede 0,324 m/s<sup>2</sup> değerleri okunmuştur. Konfor bakımından üst sınır olan 1,3-1,6 m/s<sup>2</sup> ivme değerinin altında; konfor alanında kaldığı görülmüştür. İvme değişimi (sıçrama) 0,5 m/s<sup>3</sup> değerindedir. Bu değer konfor bakımından üst sınır olan 2,0 m/s<sup>3</sup> değerinin altında kaldığı görülmüştür.

Kabinin pozisyonuna göre x ekseninde salınımlar olduğu ve bunların pik-pik arasında 12,2 mg ve en büyük 9,4 mg değerine ulaştığı; bu durumun konforu olumsuz etkileyebileceği görülmüştür. Özellikle son durak katlarında bu yöndeki salınımların arttığı ve seyahat kalitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Kabinin pozisyonuna göre y ekseninde salınımlar olduğu ve bunların pik-pik arasında ortalama 10,6 mg ve en büyük 11,0 mg değerine ulaştığı; bunun konforu olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

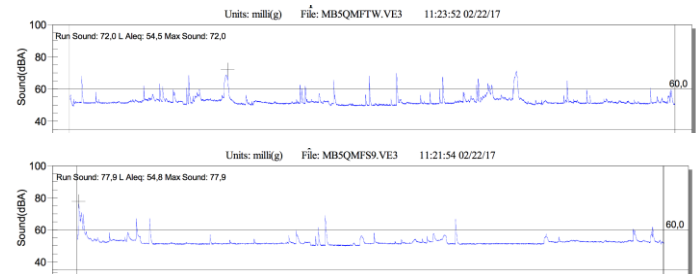
Binanın genelinde, bu yöndeki salınımların bulunduğu ve seyahat kalitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Kabinin pozisyonuna göre z ekseninde salınımlar olduğu ve bunların pik-pik arasında ortalama 24,5 mg ve en fazla 19,6 mg değerine ulaştığı; bunun konforu olumsuz etkileyebileceği görülmüştür. Binanın genelinde katlarda bu yöndeki salınımların bulunduğu ve seyahat kalitesini düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 7. İvmelenme ve titreşim ölçüm grafikleri.

Asansör kabini içinde yapılan gürültü ölçümlerinde ortalama alınmış en büyük 70,7 dBA değeri okunmuştur.

Binanın 5. katındaki asansör kapısı dışında kapı aç/kapa çalışmadan asansörün pas geçtiği durumda en büyük 72,0 dBA ve katta kapı aç/kapa operasyonunda en çok 77,9 dBA değeri ölçülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Gürültü ölçümü grafikleri.

Kumanda panosunun olduğu 7. katta, ortalama alınmış en büyük 81,5 dBA okunmuştur. Asansör kuyusuna komşu olan yangın holünde asansörden kaynaklı ortalama alınmış en büyük 62,7 dBA değeri okunmuştur. Binanın 5. katındaki çalışma konusu konutun yatak odasında, pencereler kapalı konumdayken asansörden kaynaklı ortalama alınmış en büyük 62,2 dBA değeri, pencere açık konumdayken asansörden

kaynaklı ortalama alınmış en büyük 65,4 dBA değeri kaydedilmiştir. Asansör ve daire içi yatak odası gürültü yönünden muayene edilmiş, elde edilen ortalama alınmış en büyük gürültü ölçüm değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ölçüm sonuçları.

Ölçümler ve limit değerler (dBA)	Kabin içi 0,5 m	Son kat kapı dışı 1 m	Kapı dışında 1 m		Yangın holü	Daire içi yatak odası	
			Kapı aç/kapa	Kabin pas geçme		Kapalı pencere	Açık pencere
Ölçüm	70,7	81,5	77,9	72,0	62,7	62,2	65,4
DIN 4109	-	-	-	-	-	30	30
VDI 2566-2	50	65	65	50	30	30	30
ÇGDYY*	-	-	-	-	-	35	45

Özellikle Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki\* titreşim ve gürültü seviyesi sınırları dikkate alındığında ölçüm yapılan daire içindeki yatak odasında değerlerin limit değerlerin (35 dBA ve 45 dBA) üzerinde olduğu saptanmıştır. Daire içi yatak odasında kapalı pencere durumunda izin verilen sınır 35 dBA iken ölçülen değer 62,2 dBA; açık pencere durumunda izin verilen sınır 45 dBA iken ölçülen değer 45 dBA olmuştur.

Şekil 9'da asansör kuyusunda tespit edilen yapısal kusurlar görülmektedir.



Şekil 9. Yapısal kusurlar.

Söz konusu gürültü kaynaklarının binanın yapısal tasarımından ve asansör kuyusunun inşaat kusurundan kaynaklı olduğu ve bir kısım gürültünün ise asansörün mekanik sisteminin montaj hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

## 4. Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda teste tabi konuttaki asansör kaynaklı gürültünün ilgili mevzuatlarda yer alan sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Asansör makina üreticileri, ürün seçimi aşamasında en az gürültü ve titreşim üreten makinaları tercih etmelidirler. Özellikle montaj sonrasında ortaya çıkan gürültü kaynaklı sorunların giderilmesi büyük maliyetler gerektirir. Rayların, askıların ve diğer ana yapıyla ilişkide olan bağlantıların elastomer titreşim alıcılar vasıtasıyla montajının yapılması sağlanabilir.

## Kaynakça

- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. (2010). R.G. T.04.06.2010 S.27601.
- Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. (2017). R.G. T.31.05.2017 S.30082.
- Cibse. (2015). Transportation Systems in Buildings- CIBSE Guide D- 2015 (5th Edition). In: CIBSE.
- DIN. (2018). Sound insulation in buildings- Part 1: Minimum requirements. (Standart No. DIN 4109-1:2018-01).

- Jeong, A., Kim, K-W., Shin, H-K., Yang, K-S. (2017). Criteria and Characteristics of Elevator Noise in Apartments. *Applied Mechanics and Materials*, 873, 231-236. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.873.231
- Jonovsky, L. (1986). *Elevator Mechanical Design Principles and Concepts*: Chichester: Ellis Harwood Ltd
- Landaluze, J., Portilla, I., Pagalday, J. M., Martínez, A., Reyero, R. (2003). Application of active noise control to an elevator cabin. *Control Engineering Practice*, 11(12), 1423–1431. https://doi.org/10.1016/S0967-0661(03)00077-7
- ISO. (2012). *Measurement of ride quality Part 1: Lifts (elevators)*. (Standart No. ISO 18738-1:2012).
- İmrak, C.E., Gerdemeli, G. (2000) *Asansörler ve Yürüyen Merdivenler*, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Strakosch, G. R., Caporale, R. S. (2010). *Vertical Transportation Handbook*, 4th ed. John Wiley & Sons Inc.
- TSE. (2004). Akustik- Yapılarda hizmet donanımlarından kaynaklanan ses basınç seviyelerinin ölçülmesi- Mühendislik yöntemi. (Standart No. TS EN ISO 16032:2004)
- TSE. (2005). Akustik- Hava ile yayılan ses ve darbe sesi yalıtımının ve donanım sesinin sahada ölçülmesi- Araştırma (survey) yöntemi. (Standart No. TS EN ISO 10052:2005)
- VDI. (2011). *Acoustical design for lifts with a machine room*. (Standart No. VDI 2566 Blatt 1)
- VDI. (2011). *Acoustical design for lifts without machine room*. (Standart No. VDI 2566 Blatt 2)
- VDI. (2012). *Sound insulation between rooms in buildings- Dwellings- Assessment and proposals for enhanced sound insulation between rooms*. (Standart No. VDI 4100)





# Bir İnsansız Hava Aracının İtki ve Manevra Hareketlerinde Gövde İçi Basıncılı Hava Kullanımı

Tamer Saraçyakupoğlu<sup>1\*</sup>, Heyzem Doğukan Delibaş<sup>2</sup>, Ahmet Devlet Özçelik<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Istanbul Gelisim University, Department of Aeronautical Engineering, 34315, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5338-726X), dr.tamer@tamersaracyakupoglu.com.tr

<sup>2</sup>Istanbul Gelisim University, Department of Aircraft Maintenance and Repair, 34315, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4423-7769), hddelibas@gelisim.edu.tr

<sup>3</sup>Istanbul Gelisim University, Department of Aircraft Maintenance and Repair, 34315, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4696-2232), adozecek@gelisim.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898449)

**ATIF/REFERENCE:** Saraçyakupoğlu, T., Delibaş, H.D., Özçelik, A.D. (2021). Bir İnsansız Hava Aracının İtki ve Manevra Hareketlerinde Gövde İçi Basıncılı Hava Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 81-86.

## Öz

Bu çalışmada bir İnsansız Hava Aracı (UAV) üzerinde itki sistemi olarak basınçlandırılmış havanın kullanımı sayısal determinasyon yöntemi ile ortaya konmaktadır. Söz konusu İHA, Eklemeli Üretim (EÜ) yöntemi ile üretilecektir. Tasarlanan İHA üzerinde yunuslama, yatış ve sapma hareketleri her bir kumanda yüzeyi üzerinde yerleştirilen lüle (nozzle) vasıtasıyla sağlanacaktır. Ultem 1010 malzeme kullanılarak gerçekleştirilecek olan proje kapsamında İHA'nın istenen kumandaları vermesi için üzerine elektronik donanım (Aviyonik) yerleştirilecektir. Bir fırlatıcı sistem ile ilk hareketinin sağlandığı İHA irtifa, istikamet ve sürat bilgilerini gerçek zamanlı olarak yer istasyonuna akyataracaktır. Uçuşu etkileyen en kritik unsurlardan olan rüzgâr bilgisi vektörel olarak İHA tarafından algılanacaktır. İHA, rüzgâr şiddet ve istikamet bilgilerine göre doğrulama yaparak yol noktalarına (waypoint) ilerleyecektir. Yol noktaları İHA yerdeyken bir veri seti olarak girilebileceği gibi, uçuş esnasında da yeniden programlama yapılabilecektir. Herhangi bir arıza ya da bağlantı kopması durumunda İHA kalkış yaptığı istasyona geri dönecektir. Çalışmanın sonunda, mevcut imkânlarla söz konusu İHA'nın üretilebilirliği ortaya konarak sessizlik, enerji tasarrufu gibi konularda fayda sağladığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, Basıncılı hava, Eklemeli üretim, Üç eksenli hareket

## The Use Of Pressurized Air Inside the Fuselage Of An Unmanned Aerial Vehicle for Thrust and Maneuver Movements

### Abstract

In this study, the use of pressurized air as a propulsion system on an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is demonstrated by the numerical determination method. The mentioned UAV will be produced by Additive Manufacturing technology. The pitch, roll, and yaw movements on the designed UAV will be provided through a nozzle placed on each control surface. Within the scope of the project to be carried out using Ultem 1010 material, the avionics will be implemented on the UAV to perform the entered data. A launcher system will propel the UAV for initial movement and the flight altitude, heading and speed information of the UAV will be transferred to the ground station in real-time. Wind information, which is one of the most critical factors affecting flight, will be detected by the UAV vectorially. The UAV will proceed to the waypoints by verifying the wind amplitude and direction information. Waypoints can be entered as a data set while the UAV is on the ground, as well as reprogramming during flight. In case of any malfunction or disconnection, the UAV will return to the station where it took off. At the end of the study, with current capabilities, it was determined that the manufacturability for mentioned UAV was possible providing benefits such as silence and energy saving.

**Keywords:** UAV, Pressurized air, Additive manufacturing, three axis movement

\* Sorumlu Yazar: dr.tamer@tamersaracyakupoglu.com.tr

## 1. Giriş

İHA lar günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Genel tanımlama itibariyle otopilot yardımıyla ya da uzaktan kumanda sistemi kullanılarak kumanda verilen ve içinde uçağı çalıştıran ya da operasyon personelin bulunmadığı hava araçlarıdır demek mümkündür. Askeri kullanımının yanı sıra, arama-kurtarma, tarım, film yapımı, lojistik, hobi, arkeoloji ve madencilik gibi alanlarda kullanımları söz konusudur (Ateş ve Gündüz, 2020). Son dönemde İHA'ları yapısal ve aerodinamik tasarım optimizasyonlarında "çevre dostu" olma özelliğinin özellikle arandığı üretimlerin giderek daha da artan bir önem kazandığı gözlemlenmektedir (Hermanutz, ve Hornung, 2020).

Takat sistemi olarak, elektrik motorlu, fosil yakıt kaynağı ya da her ikisinin birden kullanıldığı hibrit yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca, yerden kablo ile bağlı olan ve kablo ile bağlı olmayan İHA türleri de mevcuttur (Küçükçelebi ve Yıldız, 2020). Aşağıdaki havada kalış (flight time) süreleri açısından sıralama yer almaktadır:

- Mikro/Mini 1-2 saat,
- Taktiksel, 2-48 saat,
- Stratejik 24-48 saat
- Özel Görevli 3->48 saat (Yiğit, Yazar ve Karakoç, 2018)

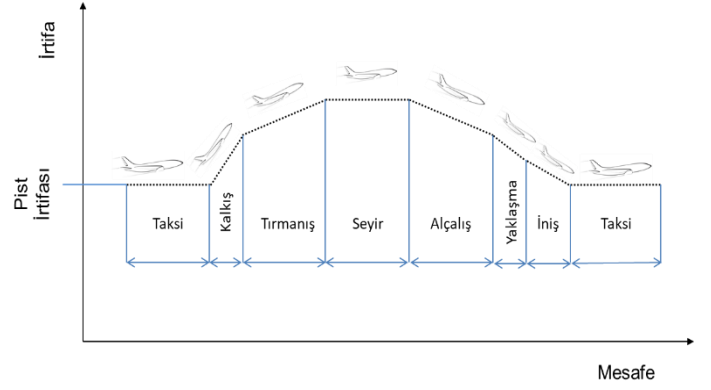
Görüldüğü üzere 48 saat ve üzerinde yer alan zamanlarda İHA'ların görev yapabildiği gözlemlenmektedir. Bu husus, İHA'ların insanlı hava araçlarına yönelik en önemli üstünlüklerinden birisi olarak kabul edilmektedir (Ulloa, Nunez, Lin ve Rey, 2018). Bu kadar uzun süre havada kalmak yakıt kaynağını optimize edilerek kullanılması zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir.

Yapılan literatür taramasında, elektrikli sistemle tahrik edilen bir sabit kanat İHA'da toplam kalkış ağırlığının yarısından fazlasının itki sistemi ve itki sistemine güç sağlayan PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) sistemine harcadığı görülmektedir (Özbek, Yalin, Ekici ve Karakoç, 2020). Bir başka çalışmada ise İHA'nın enerji yönetim sistemi ele alınmış ve hibrit yöntem uygulanmasını mevcut teknoloji seviye açısından zorlukları ortaya konmuştur (Wang, Zhao, Li, Wang, Huang, You, ve Becker, 2020). EÜ ile İHA üretimi konusunda kullanılan malzemelere yönelik yapılan çalışmalarda ABS ve Ultem gibi malzemelerin kıyaslanması yapılmıştır. Bu çalışmada ise, itki sistemi olarak gövde içerisinde basınçlandırılmış hava kullanımı söz konusudur. Ultem 1010 malzeme kullanarak EÜ yöntemi ile %20 infill baskı kullanılarak üretim metoduna göre çalışma yapılmıştır. Literatür çalışmaları Ultemin, ABS, PLA gibi mukayese edilen diğer malzemelere kıyasla en yüksek mekanik değerlere sahip olduğunu ortaya konmuştur (Goh, Agarwala, Goh, Dikshit, Sing ve Yeong, 2017).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Görev Profili, Faydalı Yüke Bağlı Kütle-Denge Hesabı

Görev profili ve faydalı yük hava aracının ağırlığının hesaplanmasında temel alınan değerlerdir. Görev profili ise Şekil 1'de yer alan uçuş safahatlarının süreçleri ile ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Uçuş Safhaları (Saraçyakupoğlu, 2020)

Bu projeye konu olan İHA'nın üretimi için deniz seviyesinden kalkış, 3000 feet irtifaya tırmanış, 3000 feet'te 100 km seyrüsefer uçuş, deniz seviyesine alçalış ve ardından da iniş süreçleri temel alınmıştır. Burada  $W_0$ , azami kalkış ağırlığı (Maximum Taker-Off Weight) için eşitlik;

$$W_0 = \frac{W_{\text{Payload}}}{\left(1 - \frac{W_f - W_e}{W_0}\right)} \quad (1)$$

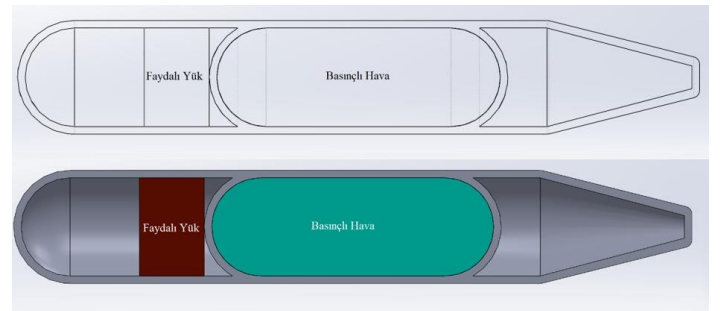
olarak verilmektedir söz konusu eşitlikte;

$W_{\text{Payload}}$  faydalı yük ağırlığı,  $W_f$  yakıt ağırlığı ve  $W_e$  ise boş ağırlıktır. İteratif olarak AKA'nın belirlenmesine yönelik çalışma Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. AKA'nın İteratif Olarak Belirlenmesi

$W_0$ (kg)	$W_{\text{payload}}$ (kg)	$W_e/W_0$	$W_0$	Fark	$W_0$ (kg)
7,25	1,8	0,781	20,182	3,682	7,4745
8,16	1,8	0,778	19,874	1,874	8,154
8,61	1,8	0,775	19,599	0,099	8,8335
9,5	1,8	0,772	19,353	1,647	9,513
9,97	1,8	0,769	19,129	3,371	10,1925

Söz konusu tabloda basınçlandırılmış hava kullanılması sebebiyle  $W_f$  değeri, 0 olarak kabul edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere sıkıştırılmış hava gövde içerisinde özel olarak tasarlanmış haznede yer almaktadır.



Şekil 2. Basınçlandırılmış Hava Haznesinin Gövde İçerisinde Gösterimi

Faydalı yük belirleme ve optimizasyon kapsamında ise yine bir iteratif çalışma gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla 1 kg, 1,5 kg ve 2 kg için AKA belirleme çalışmaları iteratif olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.Faydalı Yükün İteratif Olarak Belirlenmesi

W <sub>0</sub> (kg)	W <sub>payload</sub> (kg)	W <sub>e</sub> /W <sub>0</sub>	W <sub>0</sub>	Fark	W <sub>0</sub> (kg)
<b>Faydalı Yük = 1 kg</b>					
4,0823	2,205	0,806	11,339	2,339	4,077
4,5359	2,205	0,801	11,097	1,097	4,53
4,9895	2,205	0,797	10,889	-0,111	4,983
5,4431	2,205	0,794	10,706	-1,294	5,436
5,8967	2,205	0,791	10,543	-2,457	5,889
<b>Faydalı Yük = 1,5 kg</b>					
5,8967	3,3075	0,791	15,815	2,815	5,889
6,3503	3,3075	0,788	15,597	1,597	6,342
6,8039	3,3075	0,785	15,4	0,4	6,795
7,2575	3,3075	0,783	15,221	-0,779	7,248
7,7111	3,3075	0,78	15,056	-1,944	7,701
<b>Faydalı Yük = 2 kg</b>					
7,484274	4,41	0,781	20,182	3,682	7,4745
8,164663	4,41	0,778	19,874	1,874	8,154
8,845051	4,41	0,775	19,599	0,099	8,8335
9,52544	4,41	0,772	19,353	-1,647	9,513
10,20583	4,41	0,769	19,129	-3,371	10,1925

Tasarım lift katsayısı hesaplanması için standart atmosferik koşullar (ISA +15 °C) şartlar göz önünde bulundurulmuştur. Burada C<sub>L</sub>, Reynolds değeri baz alınarak ve kalınlıklık oranı ile 4 farklı kanat profile belirlenmiştir. Bu kanat profilleri D and C<sub>M</sub> değerlerine göre birbirleri ile mukaye edilmişlerdir. Azami sürat, askı sürati-perdövites sürati (Stall Speed) ve en iyi menzil kıyaslamalarına göre en ideal kanat profili belirlenmiştir. Burada C<sub>L</sub> kaldırma (lift) katsayısı, C<sub>D</sub>, sürüklenme (drag) katsayısı ve C<sub>M</sub> ise moment katsayısını ifade etmektedir.

3000 feet irtifada;

$$\rho_{\infty} = 1.112 \text{ kg/m}^3 \quad (2)$$

$$g = 9.79 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

$$\mu_{\infty} = 1.758 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2 \quad (4)$$

Olarak ifade edilmektedir. Burada ρ<sub>∞</sub>,yoğunluk, g yerçekimi ivmesi ve μ<sub>∞</sub> ise akışmazlık (viskozite) değerleridir.

Kabul edilen değerler ise aşağıda sunulmaktadır.

$$V_{\max} = 33.3 \text{ m/s} = 120 \text{ km/h} \quad (5)$$

$$W = 8.834 \text{ kg} \quad (6)$$

$$b = 3 \text{ m} \quad (7)$$

Burada V<sub>max</sub> is azami sürat, W ağırlık ve b ise ortalama kanat açıklığıdır.

Bu değerler doğrultusunda kanat kord (veter) hattı uzunluğu ise;

$$c = \frac{b}{AR} \quad (8)$$

elde edilmektedir. Planform (Aspect Ratio) değeri ise;

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad (9)$$

olarak elde edilmektedir. Burada S kanat alanıdır

Sonuç olarak

$$S = 0.6 \text{ m}^2 \quad (10)$$

ve

$$c = 0.2 \text{ m} \quad (11)$$

olarak elde edilir.

Kaldırma kuvvetinin ağırlığa eşit olduğundan yola çıkarak

$$C_L = \frac{L}{\left(\frac{1}{2} \times \rho_{\infty} \times V_{\infty}^2 \times S\right)} \quad L = W \quad (12)$$

Elde edilir. Kaldırma katsayısı C<sub>L</sub>,

$$C_L = 0.22 \quad (13)$$

Olarak hesaplanır.

## 2.2. Reynolds Değeri Hesaplaması

Reynolds değerinin hesaplanması için, perdövites sürati, ortalama veter ve deniz seviyesi şartları göz önünde bulundurulmuştur. ISA +15 °C şartlarında;

$$\rho_{\infty} = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (14)$$

$$\mu_{\infty} = 1.789 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2 \quad (15)$$

Olarak belirlenmiştir. Bu durumda Re değeri;

$$Re = \frac{(\rho_{\infty} \times V_{\infty} \times c)}{\mu_{\infty}} \quad (16)$$

Formülünden hesaplanabilir. Burada V<sub>∞</sub> serbest akış süratidir.

$$Re = 2.36 \times 10^5 \quad (17)$$

3000 feet irtifada, azami sürat ve ortalama veter şarları göz önüne alındığında;

$$Re = 4.21 \times 10^5$$

Elde edilmektedir. (18)

Kanat profili seçimi için kalınlık (cidar) oranı hesaplaması oldukça önemlidir. Bu hesaplama için Mach sayısı üzerinden işlem yapılması gerekmektedir. Seyrüsefer şartlarında azami sürat için Mach sayısı;

$$M = \frac{V_{\infty}}{a} \quad (19)$$

Olarak verilmektedir. Burada M, Mach sayısı ve a ise ses hızıdır.

$$V_{max} = 33.3 \text{ m/s} = 120 \text{ km/h}$$

Azami sürat değeri olarak verilmiştir. Bu durumda

$$a = 336.4 \text{ m/s (@3000 feet)} \quad (20)$$

$$M = 0.1 \quad (21)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Mach sayısının belirlenmesine yönelik cidar oranının kullanımı (Raymer, 1989) tarafından parametrik olarak verilmektedir. Söz konusu tabloların kullanımı ile cidar kalınlığı;

$$t/c = 0.12 \quad (22)$$

olarak bulunmaktadır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Kanat Profili Oluşturma

Kanat tasarımı hava aracı tasarımının en kritik safhası olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, elde edilen veriler ışığında, kanat profili belirlemeye yönelik kıyaslama çalışması Tablo 3'te sunulmaktadır. NACA23012, NACA0012, NACA4412 ve NACA 2412 değerlerine yönelik elde edilen veriler kıyaslanmıştır.

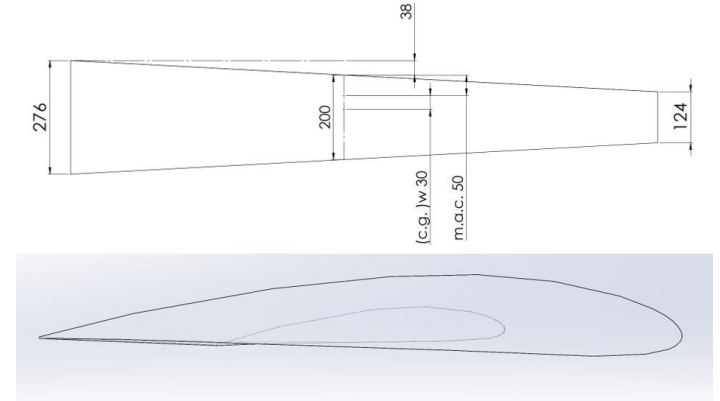
Tablo3. NACA Kanat Profilinin Belirlenmesi

Kanat Profili	$C_{Lmax}$	$C_{D,0}$	$C_{M,0}$	$\frac{C_L^{1/2}}{C_D}$	$\alpha_{CLmax}$
NACA 23012	1,0843	0,00587	-0,0067	177,3931	9
NACA 0012	0,6195	0,0054	0	145,7562	5
NACA 4412	1,2002	0,00678	-0,1032	161,5835	7
NACA 2412	0,803	0,00568	-0,0525	157,7646	5

En iyi menzil şartlarının hesaplanması ile en uygun kanat profilinin belirlenmesi sağlanacaktır. Bu kapsamda;

$$\frac{D}{V} = \frac{(C_{D,0} \frac{1}{2} \rho V^2 S)}{V} = 2\rho S V C_D = \frac{1}{2} \rho S \sqrt{\frac{W}{\frac{1}{2} \rho S}} \frac{C_D}{C_{Lmax}^{1/2}} \quad (23)$$

Verilen bir irtifa değeri ve ağırlıkta  $\frac{C_D}{C_{Lmax}^{1/2}}$  minimum olduğunda menzil en uzun ve böylece  $\frac{C_{Lmax}^{1/2}}{C_D}$  değeri de maksimum olmaktadır. Bu kapsamda NACA 4412 kanat profilinin diğer profillere kıyasla en yüksek değeri sağladığı görülmektedir. Söz konusu verilere dayanarak tasarlanan kanat Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. NACA 4412 Kanat Profili

#### 3.2. Ağırlık Merkezi Hesaplaması

Bir hava aracının ağırlık merkezi (c.g) uçuş kararlılığı açısından oldukça önemlidir. Boeing 737 Max kazalarında da olduğu üzere uçuşta kararsızlık nedeniyle birçok ciddi hava aracı kazası meydana gelmiştir (Saraçyakupoğlu, 2020). Bu çalışmada bahse konu, İHA'nın ağırlık merkezinin hesaplanması için basınçlandırılmış hava tankı da hesaba katılmaktadır. Sonuçta 23 numaralı eşitlik ortaya çıkmaktadır.

$$\bar{x} =$$

$$\frac{X_{gövde} \cdot W_{gövde} + X_{faydalı yük} \cdot W_{faydalı yük} + X_{basınçlandırılmış hava tankı} \cdot W_{basınçlandırılmış hava tankı}}{W_{gövde} + W_{faydalı yük} + W_{basınçlandırılmış hava tankı}} \quad (23)$$

Burada  $\bar{x}$  kütle merkezi,  $X_{gövde}$  burundan olan mesafe,  $W_{gövde}$  gövdenin ağırlığı,  $X_{faydalı yük}$  faydalı yükün burundan olan mesafesi,  $W_{faydalı yük}$  faydalı yükün ağırlığı,  $X_{basınçlandırılmış hava tankı}$  basınçlandırılmış hava tankının burundan olan mesafesi, and  $W_{basınçlandırılmış hava tankı}$  ise basınçlandırılmış hava tankının ağırlığıdır.

Sonuçta;

$$\bar{x} = 333 \text{ mm} \quad (24)$$

(kanat dahil edilmeden) hesaplanmaktadır.

Kanatın İHA üzerindeki yerleşiminde

$$\bar{x} = 333 = m. a. c. wing = 333 \text{ mm} \quad (25)$$

kullanılmıştır. Burada m.a.c. ortalama aerodinamik merkez (Mean Aerodynamic Center) olarak belirlenmiştir.

### 3.3. Yatay ve Dikey Kuyruk Tasarımı

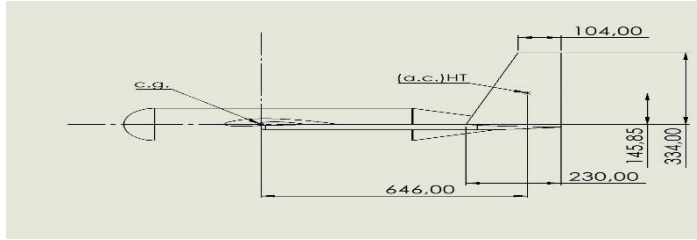
Uçağın kuyruk kısmı, yatay ve dikey kararlılığı en fazla etkileyen bölme olarak değerlendirilmektedir. Bu bölgenin tasarımı hava aracının tasarımı içinde en önemli kısımlardan birisi olarak değerlendirilmektedir. Yatay ve dikey kuyruk profillerinin belirlenmesinde kanat profilinin belirlenmesi ile aynı yöntem kullanılmıştır. NACA profil hesaplamaları yöntemi kullanılarak yapılan mukayese çalışması Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. NACA Profil Yöntemi İle Yatay ve Dikey Kuyruk Hesaplaması

	$C_{l_{max}}$	$C_{d_{\alpha=0}}$	$(C_l/C_d)_{max}$	$\alpha_{stall}$
NACA0006	0,77	0,004	78,726	7
NACA0009	1,284	0,005	99,625	12
NACA0012	1,562	0,005	107,754	16
NACA0015	1,653	0,006	107,769	18
NACA0018	1,64	0,006	108,472	18
NACA0021	1,589	0,007	103,992	19
NACA0024	1,526	0,007	95,12	19

XFLR5 kuyruk profili belirleme yazılımı ile yapılan çalışma sonrasında NACA 009 profilinin çift kuyruk profili açısından en uygun profil olduğu belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda tasarlanan kuyruk kısmı Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. İHA Gövdesi Üzerinde Kanat ve Empenaj Yerleşimi

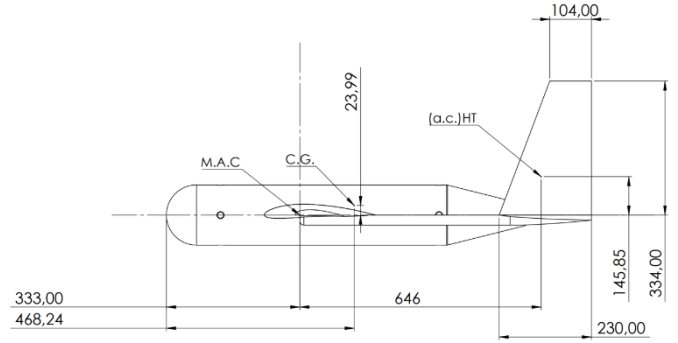
### 3.4. Gövde Tasarımı

İHA'nın üzerindeki her bir komponent bölge olarak ele alınmış halde bilgisayar tabanlı yapılan ağırlık ve mesafe hesapları Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Weight, Longitudinal and Vertical C.G. Location of Each Component

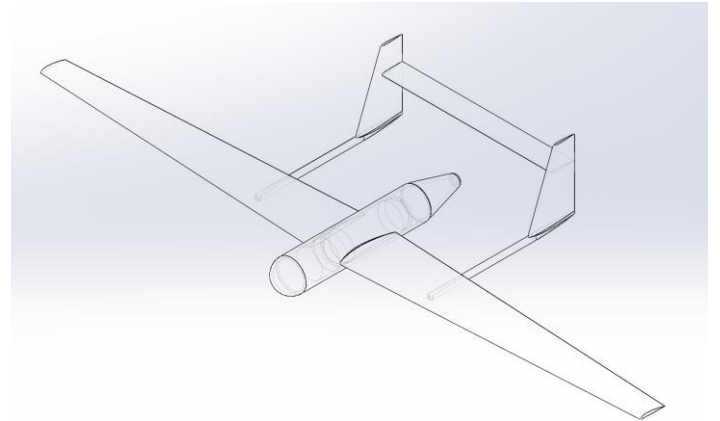
İHA Bölgesi	Ağırlık (gr)	Ağırlık Merkezi Yatay Mesafesi (mm)	Ağırlık Merkezi Dikey Mesafesi (mm)
Gövde	2313	428,33	0
Kanat	2375	364,7	6,8
Kuyruk Bölgesi (Yatay ve Dikey Kuyruk Yekpare Hesaplanmıştır)	1429	886,03	113,17
Basınçlandırılmış Hava Tankı	200	450	0
Faydalı Yükleme	2000	210	0
Ortalama	8317	467,812	23,994

Yapılan çalışma sonrasında Tablo 5'e uygun olarak İHA üzerindeki lokasyonlama çalışmasının sonucu Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 5. İHA Üzerindeki Gövde, Kanat, Kuyruk Bölgelerinin Yerleşimi

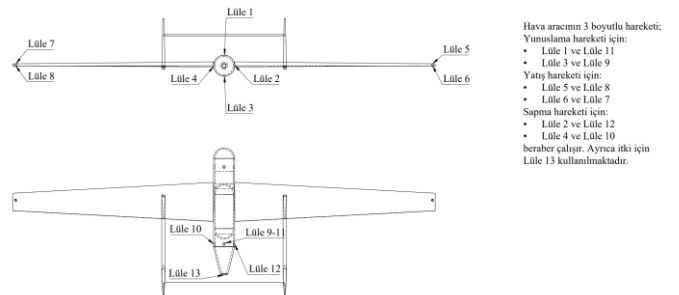
İHA'nın gövde tasarım kriterlerinde yunuslama, yatış ve sapma hareketlerini sağlaması için her bir kumanda sistemine yönelik lüle (nozzle) yerleştirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu İHA'nın katı model tasarımı ise Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. İHA'nın Katı Model Tasarımı

### 3.5. Lüle (Nozzle) Yerleşimi

Lüleler yunuslama, yatış ve sapma hareketlerini en uygun şekilde verecek yerlere konuşlandırılmışlardır. Bu kapsamda İHA üzerine Şekil 7'de görüldüğü üzere bir konumlandırma gerçekleştirilmiştir. Lülelerin çalışma prensibi eşdenklik ilkesinde ele alınmış ve bu sayede çift taraflı etki (dual-impact) sağlanmıştır.



Şekil 7. Lülelerin İHA üzerinde yerleşimi

## 4. Sonuç

Bir İHA'da itki ve manevra hareketlerinde gövde içi basınçlı hava kullanımına yönelik bilgisayar destekli yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler aşağıda sunulmaktadır.

- Optimize edilmiş verilere dayanarak bir İHA tasarımı gerçekleştirildiği ve tasarımın pratiğe aktarılmasının mevcut teknik bilgi paketi ile mümkün olduğu değerlendirilmektedir.
- Basınçlandırılmış hava ile sağlanan tahrik mekanizmalarının hem asli hem de destek üniteler olarak kullanılmasının daha az fosil yakıt kullanımı sağlamanın mümkün olduğu gözlemlenmiştir.
- Bir hipotez olarak, hava araçlarında ailerion, kuyruk dümeni, irtifa dümeni gibi kumanda yüzeylerinin yerine basınçlı hava sistemiyle çalışan lülelerin kullanılmasının kolaylık sağlayacağı ortaya konmuştur.

## Kaynakça

- Ateş, H., Düzgün, M. (2020). İnsansız Hava Araçları. Temel Bilgiler ve Kullanım Alanları. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Hermanutz, A., Hornung, M. (2020). Aeroelastic Wing Planform Design Optimization of a Flutter UAV Demonstrator. *Aerospace* 7, no. 4: 45. <https://doi.org/10.3390/aerospace7040045>
- Küçükçelebi, A , Yıldız, E . (2020). Kablolu İHA Sistemleri ve Uygulamaları . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES) , 154-159 . DOI: 10.31590/ejosat.802734
- Yiğit, E., Yazar, I., & Karakoç, T.H. (2018). İnsansız Hava Aracı (İHA)'nın Kapsamlı Sınıflandırılması ve Gelecek Perspektifi. *Sürüdülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3 (1): 13-19
- Ulloa, C., Nunez, J.M., Lin, C, Rey, G. (2018). AHP-based design method of a lightweight, portable and flexible air-based PV-T module for UAV shelter hangars. *Renew Energy*,123:767e80.
- Özbek, E., Yalin, G., Ekici, S., Karakoç, T. H., (2020). Evaluation of design methodology, limitations, and iterations of a hydrogen fuelled hybrid fuel cell mini UAV, *Energy*, Volume 213, 118757, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118757>
- Wang, B., Zhao, D., Li, W., Wang, Z., Huang, Y., You, Y., & Becker, S. (2020). Current technologies and challenges of applying fuel cell hybrid propulsion systems in unmanned aerial vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 116, 100620. doi:10.1016/j.paerosci.2020.100620
- Goh, G. D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential. *Aerospace Science and Technology*, 63, 140–151. doi:10.1016/j.ast.2016.12.019
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). Emniyet İrtifasından Bilgiler: Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Raymer, D. P., & American Institute of Aeronautics and Astronautics. (1989). *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. Washington, D.C: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Saraçyakupoğlu, T . (2020). Havacılıkta Organizasyonel Kazalar: B-737 Max Uçak Kazalarının Mühendislik Perspektifinden İncelenmesi . *Mühendis ve Makina* , 61, 701, 241-261.DOI: 10.46399/muhendismakina.741842



# A Turkish Broadcast News Speech Database for Investigation the Effect of Deep Neural Network and Long Short Term Memory Hyperparameters on Speech Recognition Based Systems

Serhat Ok<sup>1\*</sup>, Zekeriya Tüfekçi<sup>2</sup>,

<sup>1\*</sup> ZİRAAT TEKNOLOJİ A.Ş., İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9764-2952)

<sup>2</sup> Computer Engineering Department, Cukurova University, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0001-7835-2741)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900422)

**ATIF/REFERENCE:** Ok, S., & Tüfekçi, Z. (2021). A Turkish Broadcast News Speech Database for Investigation the Effect of Deep Neural Network and Long Short Term Memory Hyperparameters on Speech Recognition Based Systems. *European Journal of Science and Technology*, (24), 87-92.

## Abstract

Speech recognition is the transformation of spoken words and sentences into text. There have been many studies on speech recognition in many countries recently. However, studies on speech recognition applications in our country are very few, one of the reasons is the lack of voice dataset. In this study, a Turkish speech database has been developed for Turkish speech recognition based systems. Sound recordings were obtained from news broadcasted by Turkish news tv channels at different times. The created data set was shared on the web in a way that everyone can access in order to set a precedent for other studies. Additionally, the effects of number of layers and number of cells hyperparameters of Long Short Term Memory (LSTM) and Deep Neural Network (DNN) models were investigated on the Turkish Broadcast News Speech Database.

**Keywords:** Speech Recognition, Deep Neural Networks, Long Short Term Memory, Turkish Speech Database.

## Derin Sinir Ağları ve Uzun Kısa Süreli Bellek Hiperparametrelerinin Konuşma Tanıma Tabanlı Sistemler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi için Türkçe Yayın Haberleri Konuşma Veri Tabanı

### Öz

Konuşma tanıma, söylenen kelime ve cümlelerin metne dönüştürülmesidir. Son zamanlarda birçok ülkede konuşma tanıma ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır, fakat ülkemizde konuşma tanıma uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar çok azdır, bunun nedenlerinden biri ses veri seti eksikliğidir. Bu çalışmada, Türkçe konuşma tanıma tabanlı sistemler için bir Türkçe konuşma veri tabanı geliştirilmiştir. Ses kayıtları Türkçe haber tv kanallarının farklı zamanlarda yayınladıkları haberlerden elde edilmiştir. Oluşturulan veri seti diğer çalışmalara da emsal teşkil etmesi açısından herkesin erişebileceği şekilde web ortamında paylaşılmıştır. Ek olarak, katman sayısı ve hücre sayısı hiper parametrelerinin Uzun Kısa Süreli Hafıza (LSTM) ve Derin Sinir Ağı (DNN) modelleri üzerindeki etkisi oluşturduğumuz Türkçe Yayın Haberleri Konuşma veri seti üzerinde incelendi ve karşılaştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Konuşma Tanıma, Derin Sinir Ağları, Uzun Kısa Süreli Bellek, Türkçe Konuşma Veri Tabanı.

\* Corresponding Author: [serxadok47@gmail.com](mailto:serxadok47@gmail.com)

## 1. Introduction

Speech is the fundamental communication tool between people. This communication flow not only has a transmission of sound, but also it is a common form of activity in the socialization process of people. There are many ways of communication exist in our lives to communicate with people, such as body language, sign language, textual language and speech. The most common types are; text-mail messaging services, telephones and face-to-face speech communications.

Speech recognition is the process in which a speech signal is converted to a sequence group of words by implementing algorithms in a computer program (Santosh K. Gaikwad, 2010). Speech Recognition-based systems and models have been used for seventy years (1950) as an effective research area in academic and commercial activities and increasing in popularity. It has various application areas such as speech recognition, voice interface systems, speaker identification, speech-to-text processing, and text-to-speech conversion. As time passed, the need for better control of complex machines emerged, and speech recognition systems began to play an important role in human-machine communication. (Patlar, F., 2009).

Speech recognition systems have three main steps (Yu and Deng, 2016). In first step, feature extraction process is performed on raw audio signals. Noise removal, signal conversion to feature domain are performed in feature extraction. The second step consists of acoustic and language models. Acoustic model structure gets extracted features as inputs and generates a model score for variable-length feature space, and language model estimates language model score for the words in training corpus. In third step, hypothesis search combines acoustic model score and language model score to generate final score and text transcription of the audio signal. The basic speech recognition steps are presented in Figure 1.

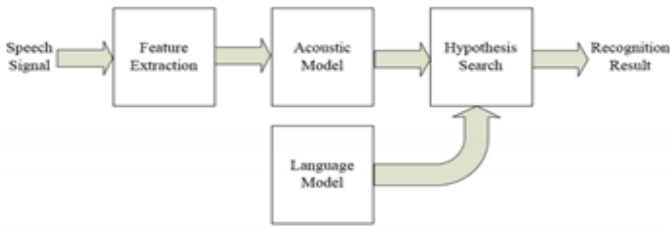


Figure 1. Basic Block Diagram of a Speech Recognition System

Nowadays, many studies have been done on speech recognition based systems. When we investigate the distribution of various applications on speech recognition studies according to languages, there are extensive studies and datasets in other languages, especially in; English, Japanese, Chinese and Arabic languages. (<http://kaldi.asr.org/doc/examples.html>). One of the most important reason for studies in these languages is that; they have large datasets, and most of them are improvable and accessible continuously. However, the number of speech database created for Turkish is extremely low. Speech databases are very important for researchers who tries to develop a Turkish speech recognition systems. Their number and diversity should be increased.

In the academic literature and other areas, many studies are presented for speech recognition based systems using deep learning architectures. The most used architectures are RNNs and its sub model Long-Short Term Memory (LSTM) but other architectures, such as Deep Neural Network (DNN), Deep Belief Networks (DBNs), and Deep Auto Encoder (DAE), are also used. (Tüfekci, Z., Dokuz, Y., 2020).

DNN is a neural network with multiple layers between the input and destination (output) layers. (Bengio, 2009). For a neural network system to be considered as a DNN, it is sufficient for the number of layers to be more than two. This value is the number of layers the model needs to complete the process. It can solve and analysis the linear and complicated non-linear relationships. The model moves through the between input and output layers calculating the probability of each output like a Feed Forward Neural Network (FFNN) structure.

RNN is one of the deep learning architectures which is efficient in processing sequential data inputs, like time series, or speech signals (Graves et al., 2013). RNNs process one input at a time and generate results at every time step. However, training RNNs is problematic because of the exploding or vanishing gradient problem at back-propagation process. To overcome this limitation, Long Short Term Memory (LSTMs) structure is proposed. (Hochreiter and Schmidhuber, 1997).

LSTM is a special kind of RNN architecture which is capable of forgetting previous inputs that is not useful for current output (Graves et al., 2013b). For defining usefulness of previous inputs, LSTMs unit is composed of a cell, an input gate, an output gate and a forget gate. The cell remembers values over arbitrary time intervals and the three gates regulate the flow of information into and out of the cell. These gates carry several information between time steps and with the help of these gates exploding or vanishing gradient problem can be solved. LSTMs are also successfully applied in speech recognition based systems studies.

When the academic literature studies are analyzed, all of the deep learning systems have different architectures, frameworks, and configurations and optimization algorithms. Besides, all of these studies select hyperparameters for deep learning architecture based on their computation power. Therefore, real effect of deep learning architectures on speech recognition based systems performance is not easily observed from the literature.

Deep Learning Based Models have several hyperparameters that affect the performance of systems regardless of the area of application. These hyperparameters are values that change models's structure, and can help achieve better performance with the same dataset. In particular, batch size, number of layers, number of units (cells), and number of epochs are evaluated on accuracy of speech recognition system. The number of layers and the number of units are utilized as hyperparameters in this study.

We hope that this work will provide a further basis for further study in Turkish Speech Recognition and contribute to the accumulation of knowledge on this subject.



## 2. Material and Method

### 2.1. Data Creation Process and Speech Corpus

Çukurova University-Turkish Broadcast News Speech Database was created in Adana, Turkey by using the Turkish TV Broadcasts news channels published at different times. This dataset is a portion of structure of Turkish broadcast news dataset gathered and voice-text transcribed with the purpose of facilitating research in Turkish speech recognition based systems and their relevant applications such as; speech signal, speech recognition and speech retrieval. The dataset contains approximately 2 hours of Turkish Tv broadcasts news; a total of 1039 speech sentence files and corresponding text version of each speech file; a total of 1039 text sentence files, 8491 words (4101 different words), mono phoneme and three phoneme structures for all sentences.

Due to the lack of a Turkish speech dataset, this dataset was primarily created to be used in Turkish Speech Recognition Systems. Created dataset is shared on the web.

### 2.2. Deep Neural Network (DNN)

Deep Neural Network (DNN) is a neural network with multiple layers between the input and destination (output) layers. (Bengio, 2009). For a neural network system to be considered as a DNN, it is enough for the number of layers to be more than two.

The main purpose of DNN is to find an appropriate mathematical forming for relationships between input and output pairs. It moves through the between input and output layers calculating the probability of each output to solve a task. Also, it can solve the complicated non-linear relationships. The basic a DNN model's structure is presented in Figure 2.

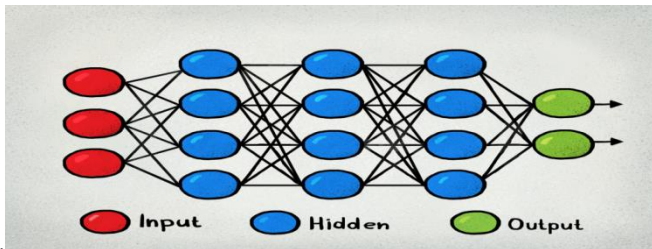


Figure 2. Example of a DNN structure

### 2.3. Recurrent Neural Network (RNN)

Recurrent Neural Network (RNN) is a type of deep learning architectures which is capable of handling large sequential inputs (Graves et al., 2013). The main purpose of RNN is to extract outputs of current time step based on current input and previous inputs. This approximation has advantages for several tasks which needs information about previous inputs, such as speech recognition based systems, digital image processing on photo-video and natural language processing. The weights of input, hidden layers, and output do not change along the network.

RNN is the class of Artificial Neural Networks in which connections between nodes form a directed loop. This allows it to exhibit dynamic temporal behavior. Unlike DNN, RNN is able to use their input memory to process optional rows of inputs.

This feature makes RNNs more usable method for speech recognition based systems. RNNs are not successful at learning dependencies in long sequences. Thus, LSTMs were developed (Zuo, Shuai, Wang, Liu, Wang, & Wang, 2016).

### 2.4. Long-Short Term Memory (LSTM)

LSTMs are clearly designed to avoid the problem of long-term dependence, thus can learn about long-term dependence. They are widely used today because they work very well in a wide variety of problems. An LSTM network contains LSTM units and can remember long or short time periods. The key to this capability is that it does not use any activation functionality in its repeated components. Thus, the stored value is not changed recursively and the slope is not lost when trained by back propagation over time.

LSTM introduced a cell state  $c(t)$  and four gates whose names are input gate  $i(t)$ , output gate  $o(t)$ , forget gate  $f(t)$  and input modulation gate  $g(t)$ . To calculate a value between 0 and 1 these LSTM gates perform logistic function. Replication is applied with this value to partially allow or deny information to enter and exit from memory. As a sample, an "input" port controls how much a new value flows on memory struct. A "forget" gate checks the extent to which value stay in memory. An "output" gate checks how much that value in memory is used to calculate the output activation of the block.

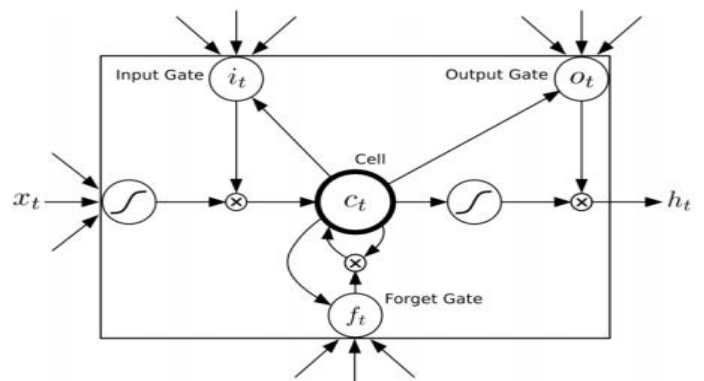


Figure 3. LSTM structure with gates

Figure 3. presents a basic LSTMs network with gates.  $x$ ,  $c$ ,  $h$  and  $o$  are input, cell, hidden state and output vectors.  $i$ ,  $f$  and  $o$  present input, forget and output gates. Equations (1) to (5) show how to calculate each vector. The weight matrices present the weights of denoted two parts connections, i.e.  $W_{xi}$  denotes the weight of input to input gate connection.

$$i_t = \sigma(W_{xi}x_t + W_{hi}h_{t-1} + W_{ci}c_{t-1} + b_i) \quad (1)$$

$$f_t = \sigma(W_{xf}x_t + W_{hf}h_{t-1} + W_{cf}c_{t-1} + b_f) \quad (2)$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \sigma(W_{xc}x_t + W_{hc}h_{t-1} + b_c) \quad (3)$$

$$o_t = \sigma(W_{xo}x_t + W_{ho}h_{t-1} + W_{co}c_t + b_o) \quad (4)$$

$$h_t = o_t \sigma(c_t) \quad (5)$$

### 2.5. DNN and LSTM Hyperparameters

LSTM and DNN models have several hyperparameters that affect the performance of deep learning systems regardless of the area of application. These hyperparameters are values that change these models structure, and can help achieve better

performance with the same dataset. The number of layers and the number of units were used as hyperparameters in this study

- **Number of Layers:** This hyperparameter controls the number of layers of which deep learning systems will be built. When the number of layers are increased, the deep learning could better handle variations in the feature space but also complexity of the structure increases. (Tüfekci, Z., Dokuz, Y., 2020). Increasing the number of layers generally increases success while at the same time increasing the computation time proportionally. Therefore, the number of layers are special hyperparameters that need to be considered when building the model. (Hızlısoy, S., 2020). In this study, the number of layers were chosen from 1 to 6 on LSTM and DNN models.

- **Number of Units:** This hyperparameter controls the number of cells that will be constructed on models. When the number of cells are increased, the more backward dependencies could be handled by the deep learning system, but also it increases complexity. (Tüfekci, Z., Dokuz, Y., 2020). Increasing the number of cells generally increases success at the same time increasing the computation time proportionally. Therefore, the number of units are special hyperparameters that need to be considered when building the model. (Hızlısoy, S., 2020). In this study, the number of units were chosen from 50 to 300 on LSTM and DNN models.

### 3. Results and Discussion

In this section, experimental evaluation of LSTM and DNN hyperparameters on Cukurova University – Turkish Broadcast News Speech corpus is presented. The hyperparameters of number of layers, number of units and batch size are used for evaluation. Each hyperparameter is evaluated while other hyperparameters remain constant.

When examining the effect of the number of layers on LSTM and DNN models; number of units and batch size are set to 200, 32, respectively and number of layers were selected from 1 to 6 for both models.

When examining the effect of the number of units on LSTM and DNN models; number of layers for LSTM and DNN were set as 5 and 4, respectively, according to the their most successful rates in our setup. Number of units were selected as 50, 100, 150, 200, 250 and 300, and Label Error Rate (LER) and Test Cost were calculated for both models. Also, out of 1039 sentences created in this study, 839 were used for training, 200 were used for testing.

#### 3.1. Effect of Number of Layers on LSTM

Table 1 and Figure 4 present the effect of number of layers on speech recognition performance for LSTM model. As the number of layers increase, LSTM gives better result for both LER and Test cost. However, after 4 layers, the increase of number of layers decreases the performance of the LSTM.

Table 1. Effect of Number of Layers on LSTM Model

Number of Layers	Test Cost	Test LER
1	58.116	49.40%
2	49.725	42.25%
3	44.438	38.30%
4	<b>41.985</b>	<b>37.40%</b>
5	52.174	44.10%
6	55.206	47.90%

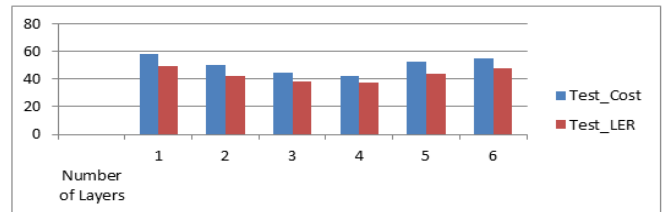


Figure 4. Effect of Number of Layers on LSTM Model

#### 3.2. Effect of Number of Layers on DNN

In this experiment, the effect of number of layers on speech recognition performance were evaluated on DNN model. The results are presented in Table 2 and Figure 5. When the number of layers increases, DNN becomes more accurate for both LER and Test cost. However, after 5 layers, the increase of number of layers decreases the performance of the DNN. The best performance was observed at 5 layers for speech recognition task.

Table 2. Effect of Number of Layers on DNN Model

Number of Layers	Test Cost	Test LER
1	72.524	62.35%
2	63.682	55.45%
3	56.741	50.90%
4	54.954	49.30%
5	<b>53.035</b>	<b>48.25%</b>
6	60.782	53.45%

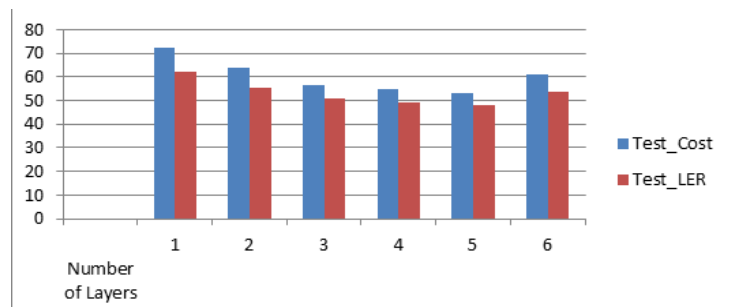


Figure 5. Effect of Number of Layers on DNN Model

### 3.3. Effect of Number of Units on LSTM

In this experiment, effect of number of units on speech recognition performance were evaluated on LSTM model. The results are presented in Table 3 and Figure 6. When the number of units increases, the accuracy of the LSTM increases too for both LER and test cost. However, after 250 units, the accuracy keeps constant and does not increase. The best performances are observed for the number of units of 250 and 300.

Table 3. Effect of Number of Units on LSTM Model

Number of Units	Test Cost	Test LER
50	64.233	53.75%
100	53.415	45.30%
150	47.744	41.60%
200	41.985	37.40%
250	37.248	<b>34.25%</b>
300	<b>36.312</b>	<b>34.25%</b>

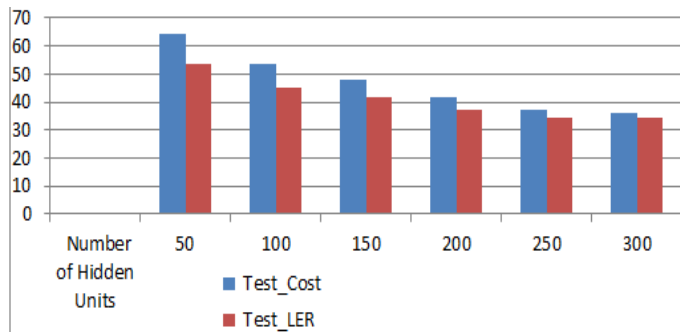


Figure 6. Effect of Number of Units on LSTM Model

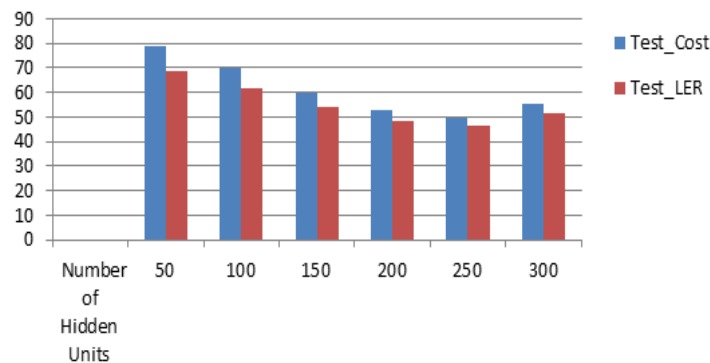


Figure 7. Effect of Number of Units on DNN Model

### 3.4. Effect of Number of Units on DNN

In this experiment, effect of number of units on speech recognition performance were evaluated on DNN model. The results are presented in Table 4 and Figure 7. When the number of units increases, the accuracy of the DNN increases too for both LER and test cost. However, after 250 units, the accuracy keeps constant and does not increase. The best performances are observed for the number of units of 250 and 300.

decreases. The best performances were observed for the number of units of 200 and 250.

Table 4. Effect of Number of Units on DNN Model

Number of Units	Test Cost	Test LER
50	78.524	68.35%
100	69.682	61.45%
150	59.741	53.90%
200	53.035	48.25%
250	<b>49.854</b>	<b>46.70%</b>
300	55.603	51.45%

## 4. Conclusions and Recommendations

One of the main purpose of this study is to Create a speech recognition database for Turkish language and to share it in the web environment as a source for other speech recognition based studies. For this purpose, approximately 2 hours of Turkish Broadcasts News Speech Dataset from a total of 1039 sound sentence files with their corresponding text transcripts were created. Also 8491 words (4101 different words), mono-phoneme and three-phoneme structures were created from all sentences.

Additionally, we investigated and compared the effect of the number of layers and number of cells for RNNs (LSTMs) and DNN hyperparameters on Turkish Broadcasting News Speech Dataset that we created. When the number of layers were increased for LSTM, the performance increases until 3 and 4 layers, after 3 and 4 layers, the performance gets worse in our setup. When the number of layers were increased for DNN, the performance increases until 4 and 5 layers, after 4 and 5 layers, the performance gets worse in this study. In both models, the success rate decreases after a certain layer due to the situation of memorization. When the number of units were increased with fixed number of layers for LSTM, the performance of the system gets better and later on the recognition rate saturates. When the number of units were increased with fixed number of layers for DNN, the performance of the system gets better and later on recognition rate decreases.

For our installation, the best performance was observed at the rate of % 34.25 LER in the LSTM model, while the best performance was observed as % 46.70 LER in the DNN model. LSTM produced more successful results than DNN. In previous studies on the effect of speech recognition on models, it was expected that LSTM would give better results and therefore LSTM would also give more successful results in this study.

Experimental results show that each parameter has its specific values for the selected number of training instances to provide lower error rates and better speech recognition performance. It is shown in this study that before selecting appropriate values for each LSTM and DNN parameters, there should be several experiments performed on the speech corpus to find the most eligible value for each parameter. It is observed that all hyperparameters that we applied have effect on the performance of LSTMs and DNN for speech recognition.

For future work, larger dataset and better modelling strategies and hyperparameters can be used to obtain better performance. Currently, our models have less dataset for training

and testing than those of the studies that obtain speech recognition based models performances. Secondly the number of speech databases created for Turkish is very few. Speech databases are extremely important for researchers who are trying to develop a Turkish Speech Recognition System. Their number and diversity should be increased. As a result, this study set a precedent for creating a database for studies in Turkish speech recognition. The created dataset can be accessed from the following web site;

<http://cusesveri.com/>

## References

- Bengio, Y., 2009. "Learning Deep Architectures for AI" (PDF). *Foundations and Trends in Machine Learning*. 1–127.
- Gaikwad, S., Gawali, B. W., & Yannawar, P. 2010. A review on Speech Recognition Technique. , pp. 16-24
- Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013, May). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 6645-6649). IEEE.

- Graves, A., Jaitly, N., & Mohamed, A. R. (2013b, December). Hybrid speech recognition with deep bidirectional LSTM. In 2013 IEEE workshop on automatic speech recognition and understanding (pp. 273-278). IEEE.
- Hizlisoy, S., 2020. Music Emotion Recognition Using Convolutional Long Short Memory Deep Neural Networks.
- Patlar, F., 2009. A Continuous Speech Recognition System For Turkish Language Based On Triphone Model.
- Sepp Hochreiter; Jürgen Schmidhuber (1997). "LSTM can Solve Hard Long Time Lag Problems". *Advances in Neural Information Processing Systems* 9. *Advances in Neural Information Processing Systems*. Wikidata Q77698282.
- Tüfekci, Z., and Dokuz, Y., 2020. Investigation of the Effect of LSTM Hyperparameters on Speech Recognition Performance , *European Journal of Science and Technology*: p. 165.
- Yu, D., & Deng, L. (2016). *Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach*. Springer
- Zuo, Z., Shuai, B., Wang, G., Liu, X., Wang, X., Wang, B. (2016). Learning Contextual Dependence with Convolutional Hierarchical Recurrent Neural Networks. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25, 2983-2996. <http://kaldi.asr.org/doc/examples.html>



# Manyetik Alana Duyarlı poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanokürelerin Sentezlenmesi ve AMF Altında İlaç Salım Davranışlarının İncelenmesi

Cihangir Boztepe<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5019-2010), cihangir.boztepe@inonu.edu.tr  
(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10-12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898018)

**ATIF/REFERENCE:** Boztepe, C. (2021). Manyetik Alana Duyarlı poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanokürelerin Sentezlenmesi ve AMF Altında İlaç Salım Davranışlarının. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 93-97.

## Öz

Polimer ile kaplanmış manyetik nano partiküllerin, başta biyomedikal bilimlerin uygulamaları olmak üzere birçok alanda büyük kullanım potansiyeline sahip malzemeler haline geldiği görülmektedir. Bu çalışmada, kabuk-çekirdek yapısında Poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoküreler sentezlenmiş, sentezlenen bu sistemlere ilaç yüklemesi yapılarak çeşitli büyüklüklerdeki alternatif manyetik alan (AMF) altında ilaç salım kinetikleri incelenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında, birlikte çöktürme yöntemi ile nano boyutta Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nano partikülleri sentezlenmiştir. Sentezlenen bu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano partiküllerini polimer ile kaplamak için, Akrilamid (AAM) ve Vinilsülfonik asitin (VSA) Polivinilalkol (PVA) ortamında emülsiyon polimerizasyonu yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile kabuk çekirdek yapısında nano küreler elde edilmiştir. Elde edilen sistemlerin yapısal karakterizasyonları için FT-IR, TGA ve TEM analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise bu nano kürelere ilaç yüklemesi yapılarak çeşitli şiddetlerdeki AMF altında ilaç salım kinetikleri incelenmiştir. Sentezlenen poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri AMF büyüklüğünün armasıyla altında daha hızlı ısınma ve ilaç salım davranışı sergilemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nano manyetik taşıyıcı sistemler, İlaç salımı, İndüksiyon ile ısıtma.

## Synthesis of Magnetic Field Sensitive poly(AAm-co-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanospheres and Investigation of Their Drug Release Behaviors Under AMF

### Abstract

It is seen that magnetic nanoparticles coated with polymer have become materials with great potential of use in many fields, especially in the applications of biomedical sciences. In this study, poly(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanospheres in shell-core structure were synthesized, drug loading was made to these synthesized systems and the release kinetics of the loaded drug under alternative magnetic field (AMF) of various sizes were investigated. In the first part of the study, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles of nano size were synthesized by co-precipitation method. Emulsion polymerization method of Acrylamide (AAM) and Vinylsulfonic acid (VSA) in Polyvinylalcohol (PVA) medium was used to coat these synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with polymer. With this method, nanospheres in shell core structure were obtained. FT-IR, TGA and TEM analyzes were performed for the structural characterization of the systems obtained. In the second stage, drug release kinetics were investigated under AMF of various intensities by loading drugs into these nanospheres. Synthesized poly(AAm-co-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles exhibited faster warming and drug release behavior with increasing AMF intensity.

**Keywords:** Nano magnetic carrier systems, drug release, induction heating.

\* Sorumlu Yazar: [cihangir.boztepe@inonu.edu.tr](mailto:cihangir.boztepe@inonu.edu.tr)

## 1. Giriş

Nanoteknolojinin gelişmesiyle beraber nanomalzemelerin sentezlenmesi ve uygulamaları, son yıllarda bilimsel ve endüstriyel alanlarda ilgi odağı haline gelmiştir (Mylkie ve ark. 2021). Bu tür malzemeler arasında manyetik nanopartiküller (MNP) en ilginç ve yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu tür nano yapılar genellikle bir manyetik çekirdek ve onu çevreleyen kabuktan oluşur. Çekirdek çoğunlukla manyetit ( $Fe_3O_4$ ), hematit ( $\alpha-Fe_2O_3$ ), maghemit ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) ve FeO şeklinde olabilen demir oksitlerdir. Bununla birlikte, bahsedilen bu demir oksitlerden manyetit ( $Fe_3O_4$ ), MNP'lerin çekirdek kısımlarının hazırlanmasında en çok kullanılanıdır (Horak ve ark. 2007; Can, 2012). Süperparamanyetizmanın yanı sıra, manyetit nanopartiküller, yüksek yüzey alanı, geniş yüzey-hacim oranı ve harici bir manyetik alan altında kolay ayrılma gibi birçok avantajlı ve benzersiz özelliklere sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle, biyoayırma, kataliz, endüstriyel süreçler ve hepsinden önemlisi biyomedikal bilimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang ve Kong, 2011; Liu ve ark. 2013). Manyetit nanopartiküllerin biyomedikal uygulamaları temel olarak kanser teşhisi ve tedavileri (Manyetik Rezonans Görüntüleme, Hipertermi, Manyetik Alan Destekli Radyoterapi, Fotodinamik Terapi), biyokataliz, farmasötik analiz, doku mühendisliği, biosensör ve proteinler gibi biyomoleküllerin immobilizasyonudur (Dzhardimalieva ve ark. 2009; Jaiswal ve ark. 2014; Long, 2015). Manyetik hipertermi, tümör bölgesini hasar görebilecek mümkün bir sıcaklığa kadar ısıtarak kanser hücrelerini yok etmeyi amaçlar. MNP'ler, alternatif akım (AC) ile indüklenen bir manyetik alana (alternatif manyetik alana, (AMF)) maruz kaldıklarında, hızla ısıtılabilir ve ısı, malzeme boyunca homojen bir şekilde yayılır. Ayrıca, ilaç yüklü manyetik nanopartiküllerin manyetik alan yardımıyla istenilen bölgeye ulaşmasını ve o bölgede ilaç salımını sağlamak amacıyla manyetik hedeflendirme yapmak mümkündür (Meenach, 2010; Magro, 2020).

Kaplanmamış, saf haldeki manyetit nanopartiküllerin, hem manyetik alanın hem de biyolojik çevrenin etkisi altında yüzey enerjisini azaltma isteğinin bir sonucu olarak agregasyona uğraması nedeniyle kullanımında bazı sınırlamaları vardır. Ayrıca, işlevselleştirilmemiş  $Fe_3O_4$  nanopartikülleri, yüksek kimyasal aktivite ve manyetik özelliklerin kaybolmasına yol açan oksidasyona duyarlılık diğer dezavantajıdır (Wu ve ark. 2008; Mylkie ve ark. 2021). Manyetit çekirdeğin, organik-inorganik bileşikler, yüzey aktif maddeler ve polimerler gibi bir kaplama materyali ile kaplanması, nanomanyetik malzemenin stabilizasyonuna ve sonuç olarak birçok alanda daha geniş kullanım olasılığına yol açar. Kaplama malzemesi olarak kullanılan bileşikler arasında en çekici olanı polimerlerdir. Polimerin manyetit nanopartiküllerin yüzeyinde kaplanması sadece kimyasal ve termal stabiliteyi artırmakla kalmaz, ayrıca agregasyonu da önleyerek kullanım kolaylığını önemli ölçüde artırır. Dahası, çoğu polimer ve özellikle biyopolimerler, yapılarında ilaç molekülleri, proteinler gibi biyolojik olarak aktif maddelerin immobilizasyonunda başarıyla kullanılabilen reaktif amino, sülfoksil, karboksil ve hidroksil gruplarına sahiptir. Bu nedenle literatürde, polimerik makromoleküllerle kaplı manyetit nanopartiküllerin sentezine ve bunların biyoligandların immobilizasyonu için uygulanmasına yönelik çalışmaların son yıllarda arttığı görülmektedir (Cano ve ark. 2011; Epherre, 2011).

Poliakrilamid (PAAm) ucuz, bol, sentezlenmesi kolay, oksijen geçirgenliği yüksek, vücut sıvıları ve vücut dokuları ile uyumlu ve yüksek oranda su tutucu olduğu için akrilamid bazlı polimerik hidrojel son yıllarda büyük ilgi görmüştür (Sennakesavan ve ark. 2020). Polivinilsülfonik asit (PVSA; sodyum tuzu olarak), negatif yüklü sülfonat gruplarına sahip hidrofilik polielektrolittir. PVSA negatif yüklü özelliği sayesinde protein veya trombosit yapışmasını azaltan ve yüksek biyoyoumluluk özelliklerinden dolayı birçok biyomedikal alanda uygulama potansiyeline sahip bir polimerdir (Kim ve ark. 2005, Hussain ve ark. 2013).

Bu çalışmada manyetik alana duyarlı manyetit nanopartiküllerin emülsiyon polimerizasyon tekniği ile kaplanmasıyla kabuk çekirdek yapıları poli(akrilamid-vinil sülfonik asit)-polivinilalkol/ $Fe_3O_4$  (poli(AAm-VSA)-PVA/ $Fe_3O_4$ ) nanoküreler sentezlenmiştir. Sentezlenen bu nano yapıları kürelere doksorubisin ilaç etken maddesi emdirme yöntemiyle yüklenerek çeşitli şiddetlerdeki AMF altında ilaç salım kinetikleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzemeler

Akrilamid (AAm), Vinilsülfonik asit (VSA, sodyum tuzu olarak), N,N'-metilenbisakrilamid (MBAAm) çaprazbağlayıcısı ve Demirsülfat heptahidrat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) Merck (Almanya); amonyum peroksidisülfat (APS), Demir klorür ( $FeCl_3$ ) ve amonyum hidroksit Sigma-Aldrich (Amerika); sodyumdodesil sülfat (SDS) ve doksorubisin Fluka Chemika (İsviçre) firmasından temin edilmiştir. Tüm kimyasallar yüksek saflıkta olduğu için ileri saflaştırma tekniklerine ihtiyaç duyulmamıştır.

### 2.2. $Fe_3O_4$ nanomanyetik partiküllerin sentezi

$Fe_3O_4$  nano tanecikleri,  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  iyon sulu çözeltisine baz çözeltisinin damla damla eklenerek birlikte çöktürme metoduna göre sentezlenmiştir. 0,040 mol  $FeCl_3$  ve 0,020 mol  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  içeren 500 mL hacmindeki sulu çözelti, 60 °C sıcaklıkta ve 1200 rpm hızında mekanik karıştırıcı ile karıştırılırken, her 5 saniyede 1 damla 0,010 M  $NH_4OH$  çözeltisinin eklenmesiyle manyetit ( $Fe_3O_4$ ) nanopartiküller hazırlanmıştır. Birlikte çöktürülen  $Fe_3O_4$  nanotanecikleri 12000 rpm' de 30 dk (3 defa) santrifüjlenerek saf su ile yıkanmış ve 50 °C sıcaklıkta 48 saat vakum altında kurutulmuştur.

### 2.3. poli(AAm-VSA)-PVA/ $Fe_3O_4$ nanokürelerin sentezi

poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $Fe_3O_4$  manyetit nanoküreler emülsiyon polimerizasyon yöntemine göre sentezlenmiştir. Bunun için yuvarlak tabanlı ve iki boyunlu 500 mL hacimli bir balon içerisine 400 mL saf suda 0,4 gram SDS ve 0,5 gram  $Fe_3O_4$  manyetik nanopartiküller eklenerek 3 saat, 60 °C sıcaklıktaki ultrasonik su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra cam balon 1200 rpm karıştırma hızındaki mekanik karıştırıcı ve 60 °C sıcaklıktaki yağ banyosu düzeneğine yerleştirilerek 1 saat karıştırılmıştır. Çözeltiye, 3,0 g AAm, 1,0 g VSA, 1,0 g PVA ve 0,20 g MBAAm içeren 70 mL çözeltiden damla damla eklenmiştir ve 1 saat karıştırılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonunu başlatmak için 0,4 gram APS içeren 20 mL çözelti damla damla eklenmiştir. Reaksiyona 24 saat devam edilmiştir. Reaksiyon sonunda poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $Fe_3O_4$  manyetit nanoküreleri

12000 rpm' de 30 dk (3 defa) santrifüjlenerek saf su ile yıkanmış ve 50 °C sıcaklıkta 48 saat vakum altında kurutulmuştur.

## 2.4. poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokürelere ilaç yüklenmesi

poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokürelerine ilaç yükleme işlemleri, 100 ml hacim ve 200 ppm derişimindeki doksorubisin çözeltisine kuru haldeki 0,50 gram poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> eklenerek 24 saat 300 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. İlaç yüklü poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoküreler mıknatıs yardımıyla dekante edilip çözeltiden ayrılarak 3 defa saf su ile yıkanmıştır. 50 mL' lik plastik tüplere eklenmiştir.

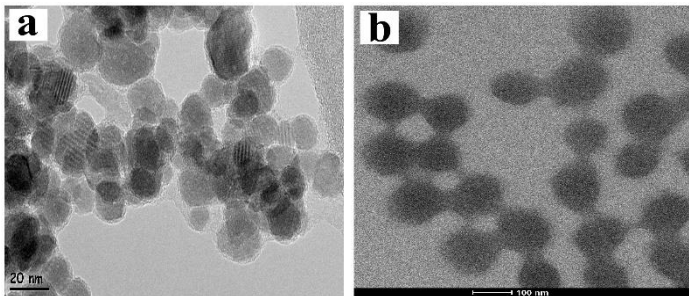
## 2.5. poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokürelerden ilaç salımı

İlaç salım çalışmaları, Şekil 5' de gösterilen, AMF oluşturan indüksiyon makinası (ONX6 275 kHz) bobini içine yerleştirilmiş plastik tüpte gerçekleştirilmiştir. İçinde ilaç yüklü poli(AAm-VSA)-PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoküreleri bulunduran plastik tüpe 50 ml saf su eklenmiştir. İndüksiyon makinası 900, 1200 ve 1500 watt gücüne ayarlanarak bu üç farklı güçteki AMF altında ilaç salım kinetikleri incelenmiştir. Bunun için farklı zamanlarda plastik tüp içinden alınan çözelti numuneleri UV-Vis spektrofotometrede 467 nm dalga boyunda okutulurak, zamanla ilaç çözeltisinin derişimi belirlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Yapısal Karakterizasyonlar

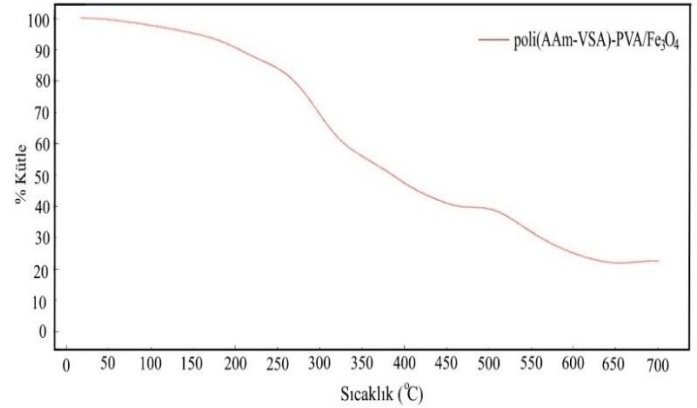
Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartiküllerin ve poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanokürelerin yapısal ve morfolojik karakterizasyonları için Transmisyon Elektron Mikroskopi (TEM), Termal gravimetrik analiz (TGA) ve fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi analizleri yapılmıştır. Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartiküllerin ve poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitlerin morfolojik ve boyut tayini için yapılan TEM analizlerine ait görüntüler Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. a: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartiküllerin; b: poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanokürelerin TEM görüntüsü

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartiküller için yüksek çözünürlüklü TEM (RTEM) kullanılırken poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitlerin analizi için yüksek kontrastlı TEM (CTEM) analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil 1a' dan görüldüğü üzere sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartiküllerin ortalama boyutu 20 nm civarında olduğu söylenebilir. Şekil 1b' den ise sentezlenen poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitlerin ortalama boyut dağılımlarının yaklaşık 80 nm olduğu görülmektedir.

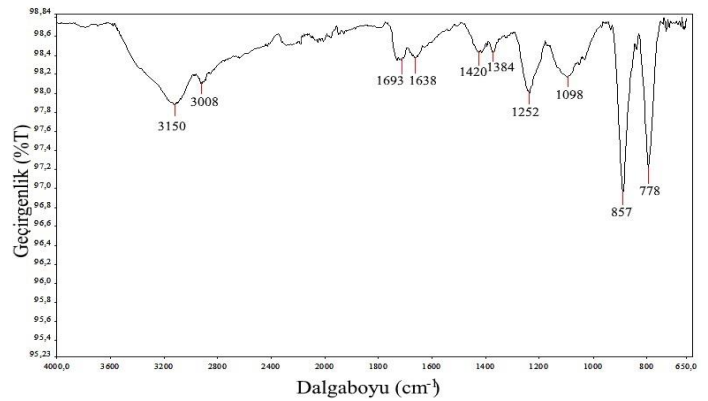
poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitin termal gravimetrik analiz (TGA) termogramı şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nano kompozite ait termogram eğrisi

TGA termogramında görüldüğü üzere hazırlanan polimer kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitin toplam kütle kaybı yaklaşık %77 olarak belirlenmiştir. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartikülleri su molekülleri için iyi bir adsorban olmasından dolayı, 100 °C sıcaklık civarına kadar meydana gelen yaklaşık % 5'lik kütle kaybının su moleküllerinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu sıcaklık değerinden itibaren yaklaşık 650 °C sıcaklığa kadar kademeli olarak kütle kaybı görülmektedir. 100 ile 350 °C sıcaklık arasında meydana gelen kütle kaybının nanopartikül kabuk dış kısmındaki çaprazbağlı alfatik zincirlerin bozunmasından kaynaklanmaktadır. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartikülü çevreleyen ve inorganik yapıya temas eden kabuk iç kısmında yer alan polimer zincirinin daha yüksek sıcaklık değeri olan 350 ile 630 °C sıcaklık arasında meydana geldiği söylenebilir. Sentezlenen poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanokompozitin ağırlıkça yaklaşık % 25' ini Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartikülünün oluşturduğu söylenebilir.

Hazırlanan poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitlerin FT-IR spektrumu (Perkin Elmer, BX model cihaz, 650-4000 cm<sup>-1</sup>) Şekil 3 'te verilmiştir.



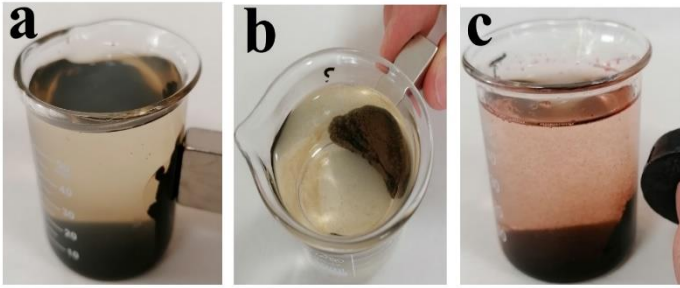
Şekil 3. poli(AAm-VSA)-PVA kaplı Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanokompozitine ait FT-IR spektrumu

Bu spektrumda 3150 cm<sup>-1</sup>'deki geniş pik -OH titreşimlerini, 3008 cm<sup>-1</sup>'deki pik metil gruplarına ait C-H titreşimleridir. 1638 ve 1693 cm<sup>-1</sup>'deki pikler akrilamide ait amid (I) ve amid (II) gruplarının N-H titreşimlerini temsil etmektedir. 1384 cm<sup>-1</sup>'deki pik alifatik metil gruplarına ait piktir. 1420 cm<sup>-1</sup>'deki pik PVA' ya ait C-O titreşim bandıdır. 1252 ve 1098 cm<sup>-1</sup>'deki pikler VSA' ya

ait S=O titreşimleridir. 857 ve 778  $\text{cm}^{-1}$ 'deki keskin pikler  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  e ait Fe-O absorpsiyon bantlarını temsil etmektedir.

### 3.2. İlaç salım çalışmaları

Sentezlenen poli(AAm-VSA)-PVA kaplı  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanokompozitine doksorubisin ilacı emdirme yöntemiyle başarı ile tutturulmuştur. 0,5 gram kuru poli(AAm-VSA)-PVA kaplı  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanokompoziti 100 ml hacimli ve 200 ppm derişimindeki doksorubisin ilaç çözeltisinde 24 saat karıştırılarak nanokompozitin kuru ağırlık başına yaklaşık 24 miligram Doksorubisin (24 mg Doksorubisin/ g nanokompozit) tutturulmuştur.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanopartiküllerin ve ilaç yüklemmeden önce ve sonraki poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanokompozitlerin fotoğrafları Şekil 4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. a:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanopartikülleri, b: ilaç yüklemmeden önceki poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanokompozitleri ve c: ilaç yüklenmiş poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanokompozitleri

Şekil 4 incelendiğinde,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanopartiküllerin siyah renkte olduğu, poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplandığında renklerinin kahverengine döndüğü ve ilaç yüklendiğinde ise doksorubisin rengini alarak kırmızı kahverengine döndüğü görülmektedir.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanopartiküllerinin ve poli(AAm-VSA)-PVA ile kaplanmış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  manyetik nanokompozitlerinin mıknatıs ile yönelme davranışı sergilediği ve dolayısı ile manyetik alana duyarlı olduğu görülmektedir.

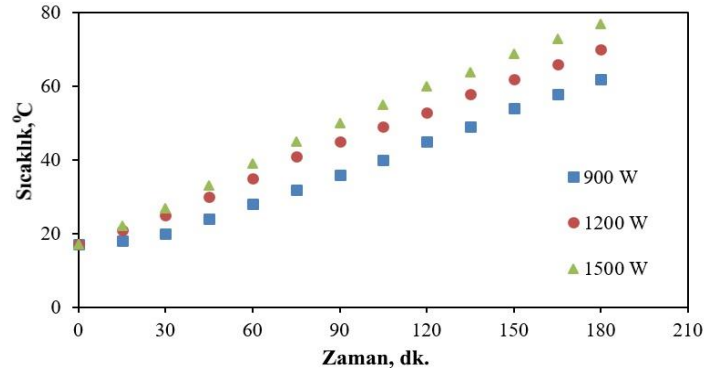
İlaç salım çalışmaları, Şekil 5' de görüldüğü gibi AMF alan oluşturan bir bobin içerisine yerleştirilen kapaklı plastik bir tüp içerisinde gerçekleştirilmiştir. İlaç yüklü nano manyetik sistemlerin ilaç salım kinetikleri ve çözelti sıcaklık değişimleri sırasıyla 900, 1200 ve 1500 watt gücüne ayarlanmış indüksiyon cihazında incelenmiştir. Çözeltinin ilaç salım kinetiklerinin incelenmesi, zamanla çözeltiden numuneler alınıp UV-Vis spektrofotometrede okutularak yapılmıştır. Üç farklı güçteki AMF alan altında ilaç salım kinetikleri ve çözelti sıcaklık değerleri sırasıyla şekil 6 ve şekil 7' e gösterilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde, manyetik alana duyarlı ilaç taşıyıcı nano yapıları poli(AAm-VSA)-PVA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kompozitlerin AMF alan altında ısındığı görülmektedir. Manyetik alana duyarlı malzemeler AMF oluşturan manyetik kaynak tarafından etkiye maruz kaldığında ısınma davranışı sergilerler. Bu ısınma olayı bobinin etrafında oluşan farklı manyetik alanlardan dolayı akım dolanımına engel olan bir etki ortaya çıkması ile olur. Değişken manyetik alan sonucu cisim üzerinde indüklenen gerilimlerin oluşturduğu eddy akımlarının meydana getirdiği ısı ile cismin ısıtılması sağlanır. Manyetik spinler dışarıdan uygulanan alternatif manyetik alanı takip etmeye çalışırken sahip oldukları enerjinin bir kısmını manyetik-elastisite, domain duvar

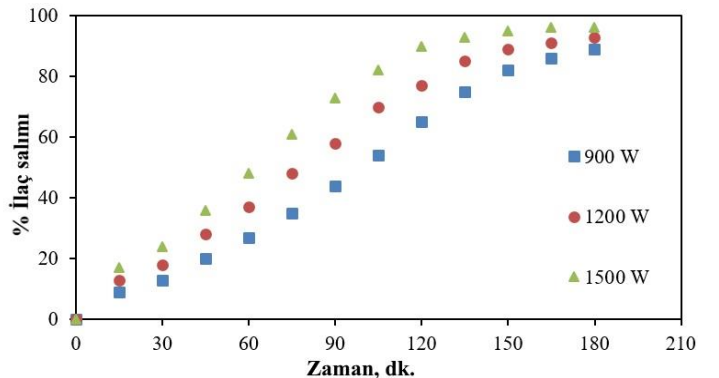
hareketleri ya da Neel/Brownian gevşemeleri nedeniyle malzemeyi oluşturan kristal örgüsüne ve içinde buldukları ortama ısı olarak aktarırlar, bu da malzemenin ve içinde bulunduğu ortamın sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Manyetik nano malzemelerde çoğunlukla Neel/Brownian gevşemeleri baskın ısı üretim mekanizmasıdır. (Altıntaş, 2012; Ünlü, 2018). AMF gücü artmasıyla sıcaklık artış hızı da artmaktadır. 900 watt AMF altında çözelti sıcaklığı 180 dakikada 63 °C' ye ulaşabilirken, 1500 watt AMF altında çözelti sıcaklığı 180 dakikada 78 °C' ye ulaşmıştır.



Şekil 5. AMF oluşturan indüksiyon cihazı ve ilaç salım düzeneği



Şekil 6. poli(AAm-VSA)-PVA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kompozitlerin AMF alan altında sıcaklık kinetikleri



Şekil 7. poli(AAm-VSA)-PVA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kompozitlerin AMF alan altında ilaç salım kinetikleri

Şekil 7 incelendiğinde, ilaç taşıyıcı poli(AAm-VSA)-PVA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nano kompozitlerden zamanla salınan ilaç miktarlarının AMF gücü ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni sıcaklık artışına bağlanabilir. İlaç taşıyıcı sistemlere doksorubisin ilacının emdirilmesi (adsorpsiyonu)



sonucu ilaç molekülleri taşıyıcı sistemlere fiziksel etkileşimler ile tutturulmuştur. Fiziksel adsorpsiyonda adsorban ile adsorplanan arasındaki fiziksel bağlar zayıf ve tersinirdir. Artan sıcaklık ile taşıyıcı sistemin gözeneklerindeki yüzey geriliminin ve çözelti viskozitesinin azalması, yapıdaki ilaç moleküllerin kinetik enerjilerinin ve entropilerinin artması sonucu ilaç molekülleri çözelti ortamına daha kolay difüzyon olmaktadır. Bu nedenle artan sıcaklığa bağlı olarak ilaç salımı artmaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, birlikte çöktürme yöntemi ile  $Fe_3O_4$  manyetik nanopartikülleri sentezlenmiş ve bu partiküllerin poli(AAm-VSA)-PVA ile emülsiyon polimerizasyon metodu kullanılarak kaplanması sonucu kabuk çekirdek yapısında özgün poli(AAm-VSA)-PVA/ $Fe_3O_4$  nano kompozitleri sentezlenmiştir. Sentezlenen nanokompozit malzemenin yapısal karakterizasyonları TEM, TGA ve FT-IR analiz teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Bu nanokompozitlere emdirme yöntemiyle doksorubisin ilaç tutturulmuş ve ilaç adsorpsiyon kapasitesi 24 mg/g nanokompozit olarak belirlenmiştir. Manyetik alana duyarlı olan ilaç yüklenmiş bu nanokompozitlerin 900, 1200 ve 1500 watt olmak üzere üç farklı güçte çalışan indüksiyon cihazının oluşturduğu AMF altında ilaç salım ve ısınma kinetikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu nanokompozitlerin AMF altında ısındığı, indüksiyon cihazının gücünün artması ile ısınma hızının arttığı ve ısınma hızı ile ilaç salım hızının arttığı saptanmıştır. poli(AAm-VSA)-PVA/ $Fe_3O_4$  nanokompozitlerin ilaç salım kapasitelerinin yaklaşık % 92 olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak sentezlenmiş bu manyetik alana duyarlı nanokompozitler çok iyi bir ilaç taşıyıcı ajan olması sayesinde kontrollü ilaç salım sistemleri ve hipertermi uygulamaları için uygun bir aday olabilir.

#### Kaynakça

Altıntaş, A., Yıldız, M.N. & Kızılkaya, İ. (2012). İndüksiyon ısıtma prensibi ile çalışan mikrokontrol denetimli bir sivi ısıtıcısı tasarımı, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 45-52.

Can, M.M., Coşkun, M. & Firat, T.A. (2012) comparative study of nanosized iron oxide particles: Magnetite ( $Fe_3O_4$ ), maghemite ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) and hematite ( $\gamma-Fe_2O_3$ ), using ferromagnetic resonance, *Journal of Alloys and Compounds*. 542, 241-247.

Cano, M.E., Barrera, A., Estrada, J.C., Hernandez, A. & Cordova, T. (2011). An induction heater device for studies of magnetic hyperthermia and specific absorption ratio measurements, *Review of Scientific Instruments*. 82, 114904-115003.

Dzhardimalieva, G.I., Pomogailo, A.D., Rozenberg, A.S. & Leonowicz, M. (2009). Magnetic Metallopolymer Nanocomposites: Preparation and Properties., *Magnetic Nanoparticles*. 59–85.

Epherre, R. (2011). Manganite perovskite nanoparticles for self-controlled magnetic fluid hyperthermia: about the suitability of an aqueous combustion synthesis route, *Journal of Materials Chemistry*. 21(12),4393-4401.

Horak, D., Babic, M., Mackova, H. & Banes, M. J. (2007). Preparation and properties of magnetic nano- and micro-sized

particles for biological and environmental separations, *Journal of Separation Science*, 30, 1751-1772.

Hussain, T., Ansari, M., Ranjha, N.M., Khan I.U. & Shahzad Y. (2013). Chemically cross-linked poly(acrylic-co-vinylsulfonic) acid hydrogel for the delivery of isosorbide mononitrate, *The ScientificWorld Journal*, 340737-340746.

Jaiswal M.K., Pradhan, A., Banerjee. R. & Bahadur D. (2014). Dual pH and Temperature stimuli responsive magnetic nanohydrogels for thermo-chemotherapy, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 14, 4082-4089.

Kim, H.I., Park, S.J., Kim, S.I., Kim, N.G. & Kim, S.J. (2005). Electroactive polymer hydrogels composed of polyacrylic acid and poly(vinyl sulfonic acid) copolymer for application of biomaterial, *Synthetic Metals*. 155, 674-676.

Liu, X., Zhang, L., Zeng, J., Gao, Y. & Tang, Z. (2013). Superparamagnetic nano-immunobeads toward food safety insurance. *Journal of Nanoparticle Research*. 2013, 15, 1796-1806.

Long, N.V., Yang, Y., Teranishi, T., Thi, C.M., Cao, Y. & Nogami, M. (2015) Biomedical applications of advanced multifunctional magnetic nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 15, 10091–10107.

Magro, M., Venerando, A., Macone, A., Canettieri, G., Agostinelli, E. & Vianello, F. (2020). Nanotechnology-based strategies to develop new anticancer therapies, *Biomolecules*. 10, 735-760.

Meenach, S. A., Anderson, A. A., Suthar, M., Anderson, K.W. & Hilt J. Z. (2010). Biocompatibility analysis of magnetic hydrogelnanocomposites based on poly(N-isopropylacrylamide) and iron oxide, *Acta Biomaterialia*, 6, 1039-1046.

Mylikie, K., Nowak, P., Rybczynski, P. & Ziegler-Borowska, M. (2021) Polymer-coated magnetite nanoparticles for protein immobilization, *materials*. 14, 48-68.

Sennakesavan, G., Mostakhdemin, M., Dkhar, L., Seyfoddin, A. & Fatihhi S.J. (2020). Acrylic acid/acrylamide based hydrogels and its properties-A review. *Polymer Degradation and Stability*. 180, 109308-109321.

Ünlü, C.G. (2018).  $La_{0.7}Nd_{0.1}K_{0.2}MnO_3$  Perovskit Manganit Bileşiminin Yapısal ve Manyetik Akışkan Hipertermi Özelliğinin Araştırılması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1335-1343.

Wu, W., He, Q. & Jiang, C. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis and surface functionalization strategies, *Nanoscale Research Letters*. 3, 397-415.

Zhang, Z. & Kong, J. (2011). Novel magnetic  $Fe_3O_4@C$  nanoparticles as adsorbents for removal of organic dyes from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*. 193, 325–329.



# Güneş Enerjisi Santrallerinin Arazi Kullanımına Etkisi ve Sonuçları: Osmaniye Örneği

Fazıl Nacar<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899350)

**ATIF/REFERENCE:** Nacar, F. (2021). Güneş Enerjisi Santrallerinin Arazi Kullanımına Etkisi ve Sonuçları: Osmaniye Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 98-105.

## Öz

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem çerçevesinde, Hidroelektrik ve rüzgâr enerji santralleriyle başlayan süreç güneş enerjisi santralleriyle sürmektedir. Hidroelektrik santralleri ve rüzgâr enerjisi santral tesisleri, güneş enerjisi santrallerine (GES) göre daha az arazi planlama mevzuatı kapsamına girmekte, GES tesisleri araziye yayıldığından geniş arazi parçalarının kullanımını gerektirmektedir. Bu sebeple birçok kamu kurumunu ilgilendiren bir proje çalışmasıdır. Ülkemizde GES yatırımlar devlet tarafından teşvik edilmekte ve enerji alım garantisi verilmektedir. Bu nedenle özel sektörde bu konuya ağırlık vermekte yatırımlarını artırmaktadır. Bu çalışmada, Doğu Akdeniz bölgesinde Osmaniye’deki GES projeleri incelenmiştir. Arcgis programı kullanılarak, GES kurulumu tamamlanmış parsellerin İlçe bazlı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanı oluşturulmuş ve arazi kullanımında oluşan değişimler izlenmiştir. Osmaniye’deki GES potansiyelinin kuruluma oranla çok fazla olduğu görülmektedir. Bu çalışmaya göre kiraç arazi için Osmaniye ilinde elde edilen tarımsal gelirin, GES tesisinden elde edilecek kira gelirine göre çok düşük olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GES, Arcgis, Arazi Kullanımı, Osmaniye, CBS

## The Effects of Solar Energy Power Plants on Land Use and the Results: Case of Osmaniye

### Abstract

Turkey’s important renewable energy sources begin with solar power plants, hydroelectric and wind power plants. Hydroelectric and wind power plant facilities fall under the scope of land planning legislation less than solar power plants (SPP), and SPP facilities require wide areas. Thus, this project study concerns many public institutions. In Turkey, SPP investments are supported by the state, and energy purchase guarantee is provided. Therefore, the private sector focuses on increasing their investments. In this study, SPP projects in Osmaniye have been examined. District-based Geographical Information Systems (GIS) database was created for competed SPP setup parcels using the Arcgis program, and the changes in land use were monitored. It is seen that the SPP potential in Osmaniye is much higher than the establishment. According to this study, it was determined that the agricultural income obtained in Osmaniye for the barren land is lower than the rental income of SPP facility.

**Keywords:** SPP, Arcgis, Land Use, Osmaniye, Geographical Information Systems

\* Sorumlu Yazar: [fazilnacar@osmaniye.edu.tr](mailto:fazilnacar@osmaniye.edu.tr)

## 1. Giriş

2014 yılından sonra Güneş enerjisi pazarında yüzde 25 civarında büyüme olmuştur. Güneş enerjisi kapasitesi 2015 yılındaki 50 GW'lık artışla küresel ölçekte toplam 227 GW kapasiteye ulaşmıştır. Avrupa güneş enerjisi kurulu gücünde kapasite olarak Asya ve Kuzey Amerika'nın önünde yer almaktadır. En yüksek fotovoltaik güneş sistemi kapasitesi sırasıyla Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya'ya aittir.(Karagöl & Kavaz, 2017; Kern & Trieb, 2015; Taktak & Mehmet, 2018)

Çevrenin korunması, iklim değişikliğinin oluşturduğu zararların azaltılması, enerji üretimi ve tüketimi kaynaklı çevresel sorunların giderilmesi tüm insanların sorumluluğundadır. Bu nedenle, düşük çevresel etkiye sahip sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları bulmak ve bu konuda yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Güneş enerjisi bu açıdan önem kazanmıştır.(Komitesi, 2009; Taktak & Mehmet, 2018; Varınca & Varank, 2005)

Kyoto Protokolü, imzacı ülkeleri fosil yakıt bağımlılıklarını azaltmaya zorlayan bir dizi yaptırım getirmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji ve çevre dostu teknolojilerin kullanımının artırılmasını ve bu yönde araştırmaların teşvik edilmesini desteklemektedir.(Bahemann, 2004; Güçlüer & Batuk, 2011; Şahin, 2009)

Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay yaygınlaşacak özelliklere sahiptir. Diğer enerji kaynaklarına kıyasla, aşırı kurulum maliyetleri ve düşük verimlilik faktörü gibi bazı teknolojik ve ekonomik zorlukların aşılması, güneş enerjisini gelecekte daha çekici hale getirecektir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli uygun olmasına rağmen yeterince yararlanılmamaktadır.(Bahemann, 2004; Taktak & Mehmet, 2018; Winston & Hinterberger, 1975)

Güneş enerjisi santrallerinde, birim alandan elde edilen enerjinin miktarı ile arazinin büyüklüğü arasında sıkı bir ilişki vardır. Arazi ne kadar büyük ise kurulu güçte o kadar fazla olur. Diğer santraller ile karşılaştırıldığında, güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için daha geniş araziler gerekmektedir.(SARSICI, 2020)

Tablo 1. Enerji Üretim Kategorilerine Göre Arazi Kullanım Miktarları(SARSICI, 2020)

Santral Türü	Arazi Kullanımı (m <sup>2</sup> /GWs)
Hidroelektrik Santrali (Baraj Tipi)	2350
Isıl Güneş Santrali	370
Fotovoltaik Güneş Santrali	340
Doğalgaz Santrali	320
Kömür Santrali (Yüzeysel Madencilik)	240
Nükleer Santral	130

Uydulardan ve bilgi teknolojilerinden elde edilen görüntülerde yaşanan hızlı gelişmeler, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) gelişimini etkilemiştir.(GEYMEN, 2016; Kaya & Toroğlu, 2015). Bu sistemlerin hızlı ve güvenilir yapısı, dünyada ve ülkemizde Uzaktan Algılama ve CBS teknikleri kullanılarak su havzalarında arazi kullanım değişiklikleri konusunda detaylı çalışmalar yapılmasına neden olmuştur.(AKBULAK et al., 2008; Dewan & Yamaguchi, 2009; Fatih & Karatepe, 2012; GEYMEN, 2016; Gürbüz et al., 2012; Shalaby & Tateishi, 2007; Wu et al., 2006)

Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların belirlenebilmesi amacıyla bir ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrudan seçilen kriterler ile ilişkilidir.(Mevlüt, 2017)

Seçilen yerleşim alanlarına olan uzaklık, eğim, arazi kullanımı, trafo merkezi ve iletim hatlarına olan uzaklık, yol ve demir yoluna uzaklık kriterleri dünyada daha önce yapılan benzer çalışmalara göre seçilmiş ve değerlendirilmiştir.(Sánchez-Lozano et al., 2013; Tahri et al., 2015; Watson & Hudson, 2015; YALÇIN & Mustafa, 2019)

Çalışma bölgesinde eğim, arazi kullanımı, akarsulara uzaklık, göllere uzaklık, yol ve demir yollarına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık olmak üzere altı kriter belirlenmiş ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak kriterler

ağırlıklandırılmış, uygun olmayan alanlar belirlenmiş ve kalan alanların uygunluk seviyeleri tespit edilmiştir.(KOCA & UZAR)

GES projesi için en uygun yer SWOT analizi yapılarak belirlenmiş ve taşınmaz mal geliştirme projelerinde fizibilite çalışmasının önemi gösterilmeye çalışılmıştır.(Taktak & Mehmet, 2018)

Bu çalışmada güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerimizden Doğu Akdeniz bölgesinde Osmaniye ili ve ilçelerinde yapılmış olan GES projeleri incelenmiştir. Arcgis programı kullanılarak, GES kurulmuş parsellerin İlçe bazlı CBS veri tabanı oluşturulmuştur. Yıllara göre ilçe bazlı, GES kurulmak suretiyle arazi kullanımda oluşan değişimler CBS kullanılarak izlenmiştir.

Taktak, İli ve Uyan, çalışmalarında CBS ile GES için en uygun yer tespiti yapılmaya çalışılmışken bu çalışmada GES kurulduktan sonraki arazi kullanım değişimleri enerji verimliliği ile birlikte irdelenmiştir. Parsel bazlı tescilli alan verileri ile enerji dağıtım şirketinden alınan proje kurulu güç bilgileri konumsal olarak CBS verisine dönüştürülmüştür.

Yapılan çalışma ile Osmaniye ilindeki GES kurulumu yapılabilecek arazilerin büyüklük olarak ildeki potansiyele göre çok az olduğu görülmektedir. GES kurulumu yapılırken arazilerin şekli bozuklukları GES verimliliğini düşürmektedir. GES kurulumu yapılan parseller kadastro parseli olduğu için

düzensizdir. Yine yapılan çalışmalara göre kıraç arazi için Osmaniye ilinde elde edilen tarımsal gelirin, GES tesisinden elde edilecek kira gelirine göre çok düşük olduğu belirlenmiştir. Tarım il müdürlüğünden alınan veriler ışığında kıraç arazinin dekarının yıllık tarımsal geliri 172,46 TL iken GES geliri 1500 TL'dir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Coğrafi konumu açısından ,Türkiye önemli güneşlenme potansiyeline sahiptir. Yıl boyunca yaklaşık 2.738 saat güneşlenme yapılmaktadır. 2017 yılında yaklaşık 823.000 TEP ısı enerjisini üretilmiş ve 20 milyon metrekairelik güneş kolektör alanına ulaşmıştır.

2017 yılında konutlarda 528.000 TEP, endüstriyel alanlarda 283.000 TEP ısı enerjisi tüketildiği hesaplanmıştır. (URL-1) 2017 yılı sonunda lisanslı ve lisanssız güneş enerjisi santrali santralleri sayısı 3.616 hesaplanırken, işletmedeki bu santrallerin toplam kurulu güç miktarı 3.421 MW'a ulaşmıştır. Türkiye’de son yıllarda güneş enerjisi kurulu gücü açısından karşılaştırma yapıldığında 2016'da 249 MW, 2015'te 832,5 olan ve büyük bir gelişme göstererek 2017'de 3.421 MW'a yükseldi.(URL-1)

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından diğer birçok ülkeye göre bir avantajdır. Çünkü coğrafi konumu sayesinde yüksek güneş enerjisi potansiyeli elde edebilir. Türkiye yıl boyunca yaklaşık 2 bin 738 saat güneşlenme süresi hesaplanmaktadır. 2017 yılı sonunda toplam lisanslı ve lisanssız santral sayısı 3016 olarak hesaplanmıştır.(URL-2)

### 2.2. Osmaniye’de Güneş Enerjisi

3.767 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip olan Osmaniye arazisinin%42'si orman alanı,%39'u ekili ekili tarım alanı,%17'si tarıma elverişsiz arazi ve%2'si diğer arazilerden oluşmaktadır. İl merkezi deniz seviyesinden 118 m yüksekliktedir. Osmaniye'nin iklimi dağlık ve ovalık alanlarda farklılık göstermekle birlikte tipik Akdeniz iklimi özellikleri gösterir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır.

2010 TÜİK verilerine göre ilde merkez ilçe ile birlikte 7 ilçe, 9 belde ve 161 köy bulunmaktadır. Osmaniye ilinin ilçeleri; Bahçe, Düziçi, Hasanbeyli, Kadirli, Sumbas ve Toprakkale.

Ceyhan Nehri'nin Osmaniye'den geçip Akdeniz'e dökülmesine ayrı bir önem katıyor. Ceyhan Aslantaş Barajı

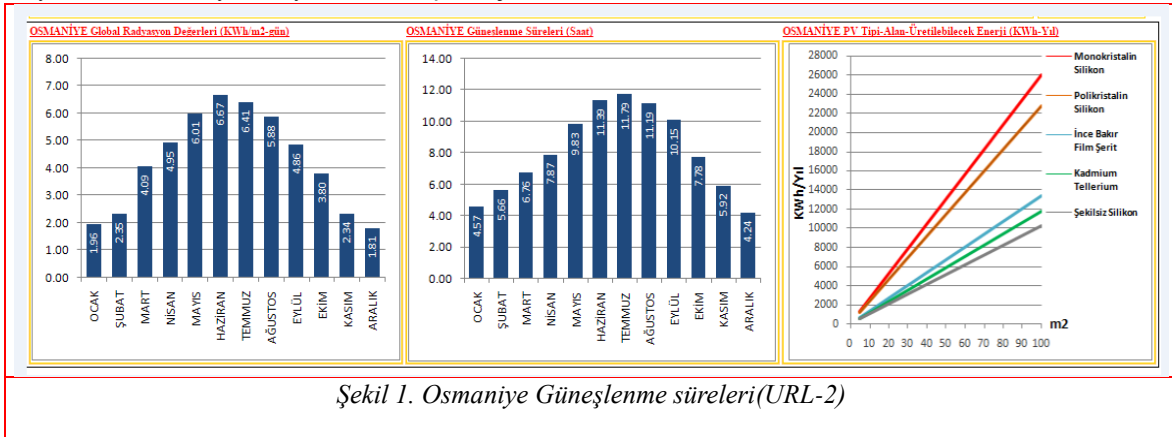
üzerinde Türkiye'nin en yüksek barajı olan ve enerji ve tarımsal sulamaya önemli faydalar sağlayan Berke Barajı. Ayrıca Türkiye'nin en büyük kurulu rüzgâr santrali Bahçe ve Hasanbeyli ilçelerinden Gökçedağ RES (Rüzgâr enerjisi santrali) de yılda 500 milyon kwh elektrik üretilmektedir.

Osmaniye, uzun güneşlenme süreleri ve rüzgâr enerjisi potansiyeli ile yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça avantajlı bir konuma sahiptir. Osmaniye'deki rüzgâr santralleri 2009 yılından beri aktif olarak işletilmektedir.

Ülkemizde Akdeniz Bölgesi, güneş enerjisi potansiyeli açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Osmaniye'nin güneş radyasyonu değerinin genel olarak 1650 - 1900 kwh / m<sup>2</sup> / yıl aralığında olduğu görülmektedir. Türkiye'nin toplam güneşlenme süresi yıllık ortalama 2.640 saat / yıl iken, günlük ortalama 7.2 saattir. Osmaniye toplam yıllık ortalama 2861 saat / yıl güneşlenme süresi ve Osmaniye'de ortalama günlük güneşlenme süresi 7,8 saat ile Türkiye ortalamasının üzerindedir. Osmaniye ili Türkiye Elektrik Üretiminin %0.88'ini gerçekleştirmektedir. Dört Rüzgâr Santrali - Yıllık enerji üretim kapasitesi 265,3 MW ,Onaltı HES - Yıllık elektrik üretim kapasitesi 815,44 MW 2 GES - Yıllık üretim kapasitesi 4,10 MW, Bir Biyogaz Santrali - Yıllık üretim kapasitesi 3,12 MW Lisanslı ve Lisanssız Toplam Kurulu Güç 1.087,96 MW. Kurulu Güç olarak ülke toplamının%1,29'u Osmaniye'de bulunmaktadır.(URL-4)

Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununun 3. maddesine göre GES için kullanılabilir olan arazinin toprak, toprak derinliği, taşlık, topografya, eğim ve tarımsal potansiyel açısından değerlendirilmesi ve herhangi bir durumun olup olmayacağı çevredeki tarım arazilerinin tarımsal kullanım bütünlüğünü bozacak, "tarım arazisi", "özel mahsul arazisi", "ekili tarım arazisi", "sulu tarım arazisi" veya "marjinal tarım arazisi" olarak tanımlanmalıdır.(URL-3) Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Arazi Toplulaştırılmasına İlişkin Yönetmelik uyarınca Mutlak tarım arazileri, Özel mahsul arazileri, Dikili tarım arazileri, Sulanan tarım arazileri, çevre arazilerin tarım bütünlüğünü bozan alanlar için GES başvurusu alınmamaktadır. Bu nedenle zemin yapısının ve sınıfının doğru belirlenmesi esastır.

Toplam tarım alanı 1,2 milyon dekadır. Tarım arazilerine ek olarak GES yatırım alanı olarak kullanılmayan bir diğer arazi kullanımı da aktif veya bozuk orman alanlarıdır. Osmaniye'nin toplam arazi varlığının%48'i ağaçlık veya baltalık, bozuk veya normal ormanlarla kaplıdır. (URL-4)



Şekil 1. Osmaniye Güneşlenme süreleri (URL-2)

Tablo 2. Osmaniye’de tarım ve Ormanlık alanların dağılımı (URL-4)

KORU			BATAKLIK			TOPLAM			OT	ORMANS I Z	TOPLAM	YÜZDE
Normal	Bozuk	Toplam	Normal	Bozuk	Toplam	Normal	Bozuk	Toplam	7.33	167.337	319.913	48
84.188	26.764	110.882	3.275	38.418	41.694	87.394	65.182	152.576				

### 2.3. Arcgis Yardımıyla Veri Tabanı Oluşturulması

Harita Genel Müdürlüğü web sitesi üzerinden Türkiye Mülki İdare Sınırları haritası indirilmiştir. İndirilen bu harita ArcGIS 10.6 yazılımında “Raster to Polygon” ArcToolbox komutu ile vektör veri modeline dönüştürülmüştür. Daha sonra vektör veriye dönüştürülmüş katman “Clip” ArcToolbox komutuyla Osmaniye il sınırından kesilerek Osmaniye İlçeler haritası elde edilmiştir. Elde edilen harita geodatabase (gdb) formatında saklanarak CBS veri tabanı oluşturulmuştur.

### 2.4. Tarım Arazilerinde Verimlilik Tespiti

Osmaniye Gıda Tarım ve hayvancılık müdürlüğünden alınan veriler ışığında taban ve kıraç arazi için tarla için yapılan harcamalar (ekim, gübreleme, hasat vb.) giderleri tabloda 2019 yılı buğday üretimi için gösterilmiştir.

Tablo 3’te Osmaniye merkez ilçe 2019 yılı kıraç arazi buğday ekim masraf ve gelir durumu gösterilmiştir. Tarım İl müdürlüğünden alınan verilere göre, kıraç arazide yetiştirilen buğday ürününün masraf unsurları 2019 yılı fiyatlarıyla belirtilmiştir. Masraf unsurları ; toprağın hazırlanması, ekim, gübreleme, ilaçlama, hasat ve pazarlama ve yan ürün maliyeti (balya) gibi ek kalemler halinde gösterilmiştir. Buna göre toplam üretim masrafları 616,14 TL dir.Net kar için dekar başına 32,46 TL gelir hesaplanmıştır. Arazinin kiralanarak kullanıldığı değerlendirilmiştir.

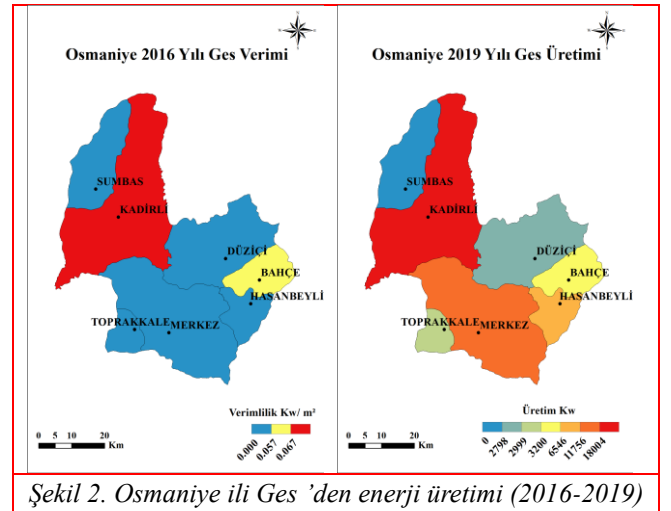
Verimlik değerlendirmesinin yapılmasının ana nedeni GES tesisleriyle kıyaslayabilmek içindir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Arcgis Yardımıyla Veri Tabanı Oluşturulması

#### 3.1.1 Üretimin Yıllara Göre Değişimin İşlenmesi

Elektrik dağıtım şirketinden alınan 2016-2019 yılları arası GES üretim verileri oluşturduğumuz CBS veri tabanına işlenmiş ve bu veriler yardımı ile 2016-2019 yılları için GES üretimini gösteren tematik haritalar Arcgis 10.6 yazılımı ile üretilmiştir.

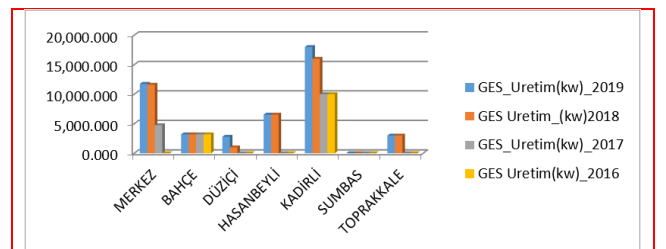


Şekil 2. Osmaniye ili Ges 'den enerji üretimi (2016-2019)

Renk skalasına bakıldığında mavi renk en az GES kurulu gücünün olduğu ilçeyi koyu kırmızı da en fazla kurulu gücün olduğu ilçeyi göstermektedir.2016’dan 2019’a doğru gittikçe GES kurulumun arttığı da renk skalasına bakıldığında belirgin olarak gözükmektedir.2016 yılında Sumbas , Toprakkale ,Hasanbeyli, Düzici ve merkez ilçelerde GES den enerji üretimi yokken, 2019 yılında en fazla merkez ilçede olmak üzere ,Düzici , Toprakkale ve Hasanbeyli ilçelerinde GES den enerji üretimi artmıştır.

Elektrik dağıtım şirketinden alınan veriler ışığında Osmaniye ili ve ilçelerinde kurulmuş GES den enerji üretim miktarları, ilçe bazında 2016’dan 2019’a kadar yıllık olarak gözükmektedir. Bu verilere göre Sumbas ilçesinde henüz GES kurulumu bulunmamakta olup en fazla GES kurulumu 18.004,230 mw ile Kadırlı ilçesindedir.

Tablodaki veriler Arcgis 10.6 programı yardımıyla CBS veri tabanına işlenmiş ve 2016-2019 yılları için GES den enerji üretimini gösteren tematik haritalar üretilmiştir.



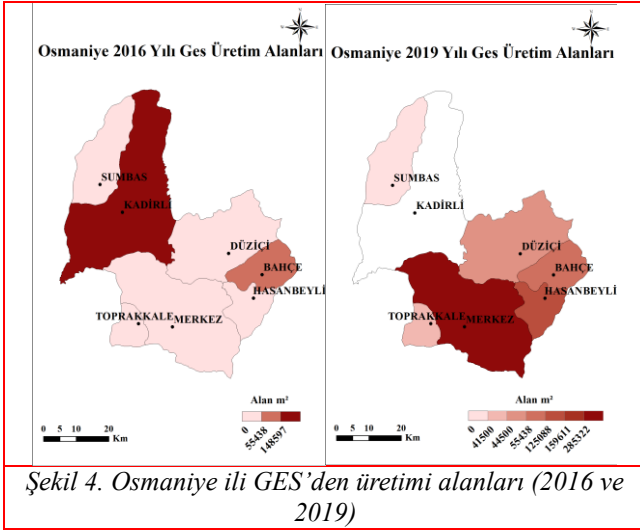
Şekil 3. Osmaniye ili GES'den üretilen enerji miktarları(2016-2019)

Tablo 3. Osmaniye Kır a  arazi buğday ekim masraf gelir durumu

�r�n adı	BUĞDAY	YIL	2019				
İL	OSMANİYE	Toplam işletme arazisi	KIRAÇ ARAZİ				
İLÇE	MERKEZ	Buğday yetiştiriciliği Alan					
KÖY		Anket�r					
Masraf unsurları	Yapılan işlemlerin adı	İşlemin sayısı	Kullanılan ekipman/materyal adı	Kullanılan materyalin		Masrafların toplamı	
				Fiyatı (TL/kg)	Miktarı (Kg/da)		
A) Toprak hazırlığı	Toprak işleme 1. işlem	1. sürüm	1	Pulluk			35.00
	Toprak işleme 2. işlem	2. sürüm	1	Goble Diskano			20.00
	Toprak işleme 3. işlem	sıkıştırma	1	Tapan			10.00
B) Ekim	Ekim			Mibzer			15.00
	Tohum Bedeli				1.90		57.00
	Taban gübresi			20-20-0	1.85		55.50
C) Gübreleme	Gübreleme		3	S.G.M			30.00
	�st gübresi 1			Amonyum sülfat	1.25		25.00
	üst gübresi 2			�re(%46)	2.00		30.00
	Yaprak gübresi			20-20-20+Zn	50.00		10.00
D) İlaçlama	İlaçlama		3	Pulvenzat�r			30.00
	İlaç 1			Yabancı ot	833.33		16.67
	İlaç 2			Pas İlacı	150		30.00
E) Hasat ve pazarlama	Hasat ve Harman			Bı�erd�ver			25.00
	Taşıma ve pazarlama						10.00
F) Yan �r�n maliyeti	Balya Maliyeti			Balya makinası			36.00
	Taşıma Maliyeti						5.00
G) Değişen masraflar toplamı(A+B+C+D+E+F)							440.17
G 1) Sermaye faizi(%5)							22.01
H) Toplam değişen masraflar(G+G1)							462.18
İ) Toplam sabit Masraflar(i1+i2+i3)							153.87
İ 1) Tarla kirası							140.00
İ 2) Genel idari giderler							13.87
İ 3) �r�n sigortası							0.00
J) Toplam �retim masrafları(H+İ)							616.14
K) Ana �r�n verimi(kg/da)							450.00
L) Ana �r�n satış fiyatı(TL/kg)							1.35
M) Ana �r�n geliri (K*L)							607.50
N) Yan �r�n verimi(Balya) (kg/da)							180.00
O) Yan �r�n satış fiyatı(TL/kg)							0.40
P) Yan �r�n geliri (N*O)							72.00
R) Gayrı safı üretim değeri(M+P)							679.50
S) Ana �r�n için yapılan masraf(J-F)							575.04
T) Ana �r�n için net kar(M-S)							32.46
U) �r�n maliyeti (S/K)							1.28

### 3.1.2 Arazi Kullanımın Yıllara Göre Değişimin İncelenmesi

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) Parsel Sorgulama Uygulaması yardımı ile Elektrik dağıtım şirketinden alınan parsel bilgilerini kullanılarak mevcut GES üretim alanları hesaplanmıştır. Parsellerin, üretime başlamadan önceki uydu görüntüleri ve şimdiki uydu görüntüleri karşılaştırma yapmak amacı ile alınmıştır. Alan verileri CBS veri tabanına işlenmiş ve bu veriler yardımı ile 2016-2019 yılları için GES kullanım alanlarını gösteren tematik haritalar ArcGIS 10.6 yazılımı ile üretilmiştir.

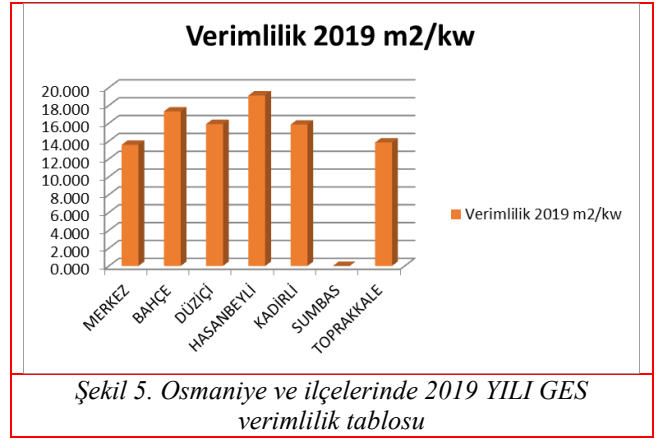


kurulum alanına ulaşmıştır. Sumbas ilçesinde GES kurulumu bulunmazken diğer ilçeler 2018 yılıyla aynı büyüklükte kalmıştır.

### 3.2 Verimlilik Analizi

#### 3.2.1 GES Açısından Değerlendirme

Şekil 5'ten anlaşılacağı üzere Osmaniye ve ilçelerinde 2019 yılı GES tesislerinde kurulum alanlarıyla(m<sup>2</sup>) üretim miktarları oranlanmış ve m<sup>2</sup> ye düşen üretim miktarı bulunmuştur. Bu oranlar değerlendirilerek ilçe bazlı verimlilik analizi yapılmıştır.



GES projeleri ilçe bazında arazi kullanımları incelenerek m<sup>2</sup> 'ye üretilen kw hesaplanarak gösterilmiştir. Sumbas da GES kurulumu bulunmamaktadır. Sırayla m<sup>2</sup>/kw oranı Hasanbeyli ilçesinde 19.109, Bahçe ilçesinde 17.324, Kadırlı ve Düziçi ilçesinde 15.904, Kadırlı ilçesinde 15.848 ,Toprakkale ilçesinde 13.837 ve en düşük oran 13.577 ile merkez ilçededir.

GES üretiminin m<sup>2</sup> ye düşen kw miktarının ilçelere göre farklılık göstermesinin güneş açısı, engebe , gölgelme vb. faktörler yanında mesleğimiz açısından parsel boyutlarının ve düzgün olmayan şekillerinden kaynaklanmaktadır. Şekli bozuk olan parsellerin etrafında birçok panel konulamayan âtıl alan kalmaktadır. Parsellerin GES kurulmadan önce ifraz gibi düzenlemelerle şekillerinin düzeltilmesi daha verimli olacaktır.

Şekil 6 da Osmaniye Merkez İlçe Sakızgediği Köyü 102 ada nolu parsel ve Düziçi İlçesi Yazlamazlı Köyü 125 ada 29 nolu parsel üzerine kurulu GES tesisi gözükmemektedir. Parsellerin kenarlarında artık kısımlar kalmış bu alanlar hem tarımsal açıdan hem de GES arazisi olarak kullanılmayan âtıl alanlardır



GES üretim alanları(m<sup>2</sup>) açık kahverengiden koyu kahverengine doğru renklendirilmiştir. Buna göre 2019 yılı itibarıyla en az GES kurlumu Sumbas ve Toprakkale'de iken daha sonra Düziçi , Bahçe , Hasanbeyli ,merkez ve en çok alan Kadırlı ilçesinde gerçekleşmiştir.

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nden alınan veriler ışığında Osmaniye ilinde 2019 yıl sonu itibarıyla GES santrallerinin artarak devam ettiği görülmektedir. 2015 de ruhsat alma çalışmalarından sonra , 2016'da araziye kurulum başlamıştır. Tabloda 2019 yılı itibarıyla merkez ve diğer ilçelerde kurlumu gerçekleşen GES arazileri m<sup>2</sup> büyüklüğünde verilmiştir.

Tablo 4. Osmaniye ve ilçelerinde yıllara göre GES kurulu arazi büyüklükleri

İLÇE	2016(m <sup>2</sup> )	2017 (m <sup>2</sup> )	2018 (m <sup>2</sup> )	2019 (m <sup>2</sup> )
MERKEZ	0.00	60400,00	159.441,594	159.611,594
BAHÇE	55.438,102	55.438,102	55.438,102	55.438,102
DÜZİÇİ	0.00	0.00	13.100,00	44.500,00
HASANBEYLİ	0.00	0.00	125.088,00	125.088,00
KADIRLI	148.597,797	148.597,797	255.209,50	285.322,406
SUMBAS	0.00	0.00	0.00	0.00
TOPRAKKALE	0.00	0.00	41.500,00	41.500,00

GES üretimi yapılan arazilerin alansal büyüklüğü 2016 yılında Kadırlı ilçesinde 148.597,797m<sup>2</sup> ve Bahçe ilçesinde 56438,102 m<sup>2</sup> de iken diğer ilçelerde henüz kurulum gerçekleşmemiştir. 2017 yılında merkez ilçede 60400,00 m<sup>2</sup> alansal büyüklük eklenmiştir.2018 yılında merkez ilçede GES kurulumu yapılmış parsel büyüklüğü 159.441,594 m<sup>2</sup> ye çıkmış , Düziçi ilçesi 13.100,00 m<sup>2</sup>,Hasanbeyli ilçesi 125.088,00 m<sup>2</sup> , Toprakkale ilçesi 41.500,00 m<sup>2</sup> ve Kadırlı ilçesi GES kurulum alanı 255.209,50 m<sup>2</sup> olmuştur.2019 yılında tamamlanan GES projeleriyle merkez ilçe kurulum alanı 159.611,694 m<sup>2</sup> ve Kadırlı ilçesi 285.322,406 m<sup>2</sup>



Şekil 7. Hasanbeyli İlçesi 325 ada 327 parsel (soldaki) ve Bahçe ilçesi Burgaçlı Köyü 110 ada 8 nolu parsel (sağdaki)

Şekil 7 de Hasanbeyli İlçesi 325 ada 327 parsel ve Bahçe İlçesi Burgaçlı Köyü 110 ada 8 nolu parsel üzerine kurulu GES tesisleri görünmektedir. Kurulum parseller üzerine maksimum seviyede yerleştirilmiştir. Âtıl alanlar oluşmamıştır. Sonuç olarak Hasanbeyli ve Bahçe ilçerinin GES verimliliği m<sup>2</sup>/kw olarak diğer ilçelere göre yüksektir.

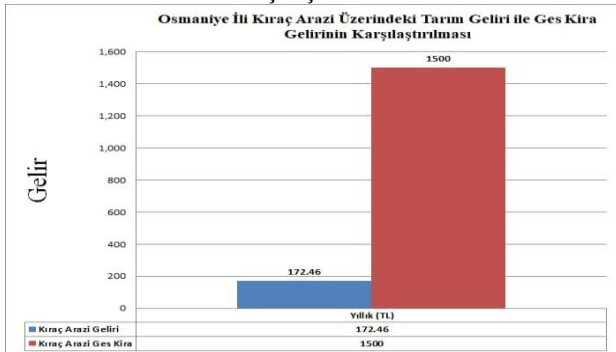
### 3.2.2 Tarımsal Açıdan Değerlendirme

Osmaniye Gıda Tarım ve hayvancılık müdürlüğünden alınan veriler ışığında buğday üretiminin, kıraç arazilerde dekara 450 kg, taban araziler için dekara 600kg olduğu anlaşılmaktadır. 2019 yılı buğday fiyatları ortalama 1.5 TL'dir. Tarım il müdürlüğünden alınan tabloya göre kıraç arazide dekara masraflar düştükten sonraki gelir 32.46 TL'dir.

2019 yılı itibarıyla Merkez ilçede 159611,594m<sup>2</sup>, Bahçe'de 55438,102 m<sup>2</sup> Düziçi ilçesinde 44500m<sup>2</sup>, Kadirli ilçesinde 285322,406m<sup>2</sup>, Hasanbeyli ilçesinde 125088m<sup>2</sup> ve Toprakkale ilçesinde 41500m<sup>2</sup> arazi de GES kurlumu gerçekleşmiştir.

Bu veriler ışında Merkez ilçede 159,611549 dekarlık arazi için tarımsal gelir 27526.608 TL, Bahçe'de 55,438102 dekarlık arazi için 9560.855 TL, Düziçi'nde 44,5 dekarlık arazi için 7674,47 TL, Hasanbeyli 'de 125.088 dekarlık arazi için 21572.6765 TL, Toprakkale de 41.5 dekarlık arazi için 7157.09tl ve Kadirli de 285.322 406 dekarlık arazi için 49206.702 TL net tarımsal gelir elde edilmektedir. Yapılan hesaplamalarda tarla sahibi tarafından yapılan tarımsal faaliyet olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Osmaniye ili kıraç arazi/GES kira gelir karşılaştırması



Tablo 5'ten anlaşılacağına göre arazi kullanım geliri açısından kıraç arazilerde arazi sahibinin eline geçen gelir

olarak tarımsal kullanımda yıllık 172,46 TL geçerken, GES için kiraya verildiğinde 1500 TL gelir elde edilmektedir.

2019 GES kurulan arazilerin kira gelirinin dönüme (1000m<sup>2</sup>) 1500 TL olduğu yapılan kira anlaşmalarından anlaşılmaktadır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada Osmaniye ili ve ilçelerinde kurulan GES projeleri, ilçe bazında incelenerek 2016-2019 yılları arasındaki üretimdeki değişim (kw olarak) ve arazi kullanımındaki değişim (m<sup>2</sup> olarak) CBS yardımıyla gösterilmiştir. Ayrıca m<sup>2</sup> ye düşen kw hesaplanarak ilçe bazında verimlilik analizi de yapılmıştır.

Yapılan verimlilik analizine göre arazi kullanımı açısından m<sup>2</sup>/ kw oranında Osmaniye ve ilçeleri değerlendirildiğinde en verimli ilçenin 19.109 ile Hasanbeyli İlçesi olduğu belirlenmiştir.

GES kurulu arazilerde şekli bozuk olan parsellerde panel yerleştirmek sıkıntılı olmaktadır. Mülkiyet bazlı kiralama olduğundan parseller kadastro parseli olarak kurulum yapılmaktadır. Bunun yerine parseller de sınır düzenlemeleri yapılarak daha düzgün şekilli parseller oluşturulursa, panel yerleştirmeleri daha uygun olacak, âtıl arazi oluşmayacak ve verimlilik artacaktır.

Osmaniye ilinin yüzölçümü 3767 km<sup>2</sup> olup %17 si tarıma elverişsiz arazidir. Osmaniye ilindeki tarıma elverişsiz arazi yaklaşık 640km<sup>2</sup>'dir. Ayrıca mevcut GES kurulu arazi büyüklüğü 0.711 km<sup>2</sup>'dir. Potansiyel düşünüldüğünde kurulumun yetersiz olduğu gözükmektedir.

GES kurulması durumunda tarımsal olarak verimsiz ve az gelir getiren kıraç arazi sahipleri çok daha fazla gelir elde edebileceklerdir. Mevcut GES kurulan arazilerin yıllık tarımsal gelirlerine göre GES ten elde ettikleri kira geliri çok daha yüksektir. Tarımsal kullanım açısından bakıldığında kıraç arazi için tarımsal gelirin GES gelirini göre çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

## Kaynakça

- AKBULAK, C., ERGİNAL, A. E., & ÖZTÜRK, B. (2008). Gelibolu Yarımadası'nın kuzeybatı kıyılarında arazi kullanımının uzaktan algılama ile incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(20), 41-50.
- Bahnemann, D. (2004). Photocatalytic water treatment: solar energy applications. *Solar energy*, 77(5), 445-459.
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29(3), 390-401.
- Fatih, K., & Karatepe, A. (2012). UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE BEYKOZ İLÇESİ (1986-2011) ARAZİ KULLANIMI DEĞİŞİM ANALİZİ. *Marmara Coğrafya Dergisi*(25), 378-389.
- GEYMEN, A. (2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak su havzalarındaki doğal kaynakların izlenmesi: Elmalı Havzası örneği. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 174-180.
- Güçlüer, D., & Batuk, F. (2011). Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak alanların CBS-ÇOKA Yöntemi ile Belirlenmesi. *TMMOB Harita ve Kadaströ Mühendisleri*



- Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Gürbüz, M., Denizdurduran, M., Karabulut, M., & Kızılelma, Y. (2012). Uzaktan algılama ve CBS kullanarak Elbistan Ovasında arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin incelenmesi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30-37.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji. *Analiz. Seta*, 197, 18-28.
- Kaya, Ö., & Toroğlu, E. (2015). Monitoring urban development of Kayseri and change detection analysis. *Türk Coğrafya Dergisi*, 65, 87-96.
- Kern, J., & Trieb, F. (2015). BETTER—Bringing Europe and Third Countries closer together Through Renewable Energies A Framework for successful RES-E Expansion in NA.
- KOCA, H., & UZAR, M. CBS VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN YERLERİNİN BELİRLENMESİ: MENEMEN ÖRNEĞİ.
- Komitesi, D. E. K. T. M. (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi. *EKC Form Ofset*, ISBN, 978-605.
- Mevlüt, U. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556.
- SARSICI, N. (2020). Karabük ilinde Güneş Enerjisi Santrali (GES) Kurulabilecek Alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi ile Tespiti
- Shalaby, A., & Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27(1), 28-41.
- Şahin, A. (2009). 1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu. *TMMOB Meteoroloji Mühendisleri*.
- Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 1354-1362.
- Taktak, F., & Mehmet, I. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21.
- URL-1. 2016 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. Retrieved 19.03.2018 from [www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektorrapor3105.pdf](http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektorrapor3105.pdf)
- URL-2. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2016) Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Yenilenebilir Enerji,”. Retrieved 19.03.2018 from [www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx)
- URL-3. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 5403 Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu. Retrieved 01.06.2016 from
- URL-4. Osmaniye İli FV Güneş Elektriği Fizibilite Çalışması. Retrieved 16.02.2021 from <https://www.dogaka.gov.tr/dokuman-merkezi/arastirma-ve-planlama/osmaniye-ili-fv-gunes-elektrigi-fizibilite-calismasi>
- Varınca, K. B., & Varank, G. (2005). Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri. *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel*, 24-25.
- Watson, J. J., & Hudson, M. D. (2015). Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and urban planning*, 138, 20-31.
- Winston, R., & Hinterberger, H. (1975). Principles of cylindrical concentrators for solar energy. *Solar energy*, 17(4), 255-258.
- Wu, Q., Li, H.-q., Wang, R.-s., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B.-h., & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*, 78(4), 322-333.
- YALÇIN, C., & Mustafa, Y. (2019). Burdur’da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46.



# Security-Oriented Smart Door Lock à la Internet of Things

Tarık Kadak<sup>1\*</sup>, Serhan Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4344-247X), [tarikkkadak@iyte.edu.tr](mailto:tarikkkadak@iyte.edu.tr)

<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2320-9213),  
[serhanozdemir@iyte.edu.tr](mailto:serhanozdemir@iyte.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898085)

**ATIF/REFERENCE:** Kadak, T. & Özdemir, S. (2021). Security-Oriented Smart Door Lock à la Internet of Things. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 106-111.

## Abstract

In this study, a framework to open a door lock with a keypad is designed. The system has a database for the authorized people who has the privilege for the access to a restricted area. Authorized individuals are permitted after keying in the respective passwords. The ID of those who access the restricted area is logged on the internet, to a Google Spread Sheet table with a time stamp. An economical wi-fi module was used for internet connection. A Solenoid is used for the locking mechanism driven by a mosfet power drive. An oled screen is also provided for the visual feedback to the users. Wi-fi card is coded in MicroPython. This card is responsible for transferring the passwords from the keypad to a web server. This web server is coded in PHP which compares the incoming passwords with the passwords in the previously generated user database, and as a result sends the wi-fi card either the name of the user who opened the door or the wrong password information. The result then is conveyed to the door lock controller. Each time this is performed, wi-fi card sends the ID of the person who opens the door or the invalid password information to an IFTTT Webhook service, and the Webhook service transfers this information to a Google Spread Sheet table with its timestamp. An administrator panel has also been created with PHP codes so that new users can also be added without dealing with the codes.

**Keywords:** Internet of Things, Office Security, Smart Homes, Smart Offices.

## Nesnelerin İnterneti Usülü Güvenlik Odaklı Akıllı Kapı Kilidi

### Öz

Bu çalışmada, bir tuş takımını ile bir kapı kilidi açmak için bir framework tasarlanmıştır. Sistem, sınırlı bir alana erişim ayrıcalığına sahip yetkili kişiler için bir veritabanına sahiptir. Yetkili kişiler ilgili şifreleri girdikten sonra onlara izin verilir. Bu bölgeye erişenlerin kimliği, zaman bilgisiyle beraber bir Google Spread Sheet tablosuna çevrimiçi olarak kaydedilir. İnternet bağlantısı için ekonomik bir wi-fi modülü kullanılmıştır. Bir MOSFET güç sürücüsü tarafından tahrik edilen kilitleme mekanizması için bir Solenoid kullanılmıştır. Kullanıcılara görsel geri bildirim için bir oled ekran da sağlanmıştır. Wi-fi kartı MicroPython ile kodlanmıştır. Bu kart, parolaları tuş takımından bir web sunucusuna aktarmaktan sorumludur. Bu web sunucusu PHP ile kodlanmıştır ve, gelen şifreleri daha önce oluşturulan kullanıcı veritabanındaki şifrelerle karşılaştırır ve sonuç olarak Wi-fi kartına kapıyı açan kullanıcının adını veya yanlış şifre bilgisini gönderir. Sonuç daha sonra kapı kilidi denetleyicisine iletilir. Bu her gerçekleştirildiğinde, wi-fi kartı kapıyı açan kişinin kimliğini veya geçersiz şifre bilgilerini bir IFTTT Webhook hizmetine gönderir ve Webhook hizmeti bu bilgileri zaman bilgisi ile birlikte bir Google Spread Sheet tablosuna aktarır. PHP kodları ile bir yönetici paneli de oluşturulmuştur, böylece kodlarla uğraşmadan yeni kullanıcılar da eklenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin İnterneti, Ofis Güvenliği, Akıllı Evler, Akıllı Ofisler.

\* Corresponding Author: [tarikkkadak@iyte.edu.tr](mailto:tarikkkadak@iyte.edu.tr)

## 1. Introduction

The Internet of Things (IoT) opens up tremendous opportunities to location-based projects that maximize the ability of technologies with its processing power and sensors to provide location information. The Internet of Things revolves around increased machine-to-machine communication; it's built on cloud computing and networks of data-gathering sensors; it's mobile, virtual, and instantaneous connection; and they say it's going to make everything in our lives from streetlights to seaports "smart". (Balbin & et al., 2017)

With the advent of technology, it is hard to find such field where technology has not appeared. One of the most citable area where technology is applied is security. Door access system is one of the major concerns of home security. It has been enhanced with the days using different techniques such as, mobile application, real-time authentication system (e.g. audio and video processing), Bluetooth and other technological inventions. Later, Internet of Things (IoT) has been introduced to this field as well. (Depty, Alam, & Islam, 2019)

The various techniques that have been proposed in the past to remotely control the home security systems especially smart locks are described in the related work section. (Singh, Kaushik, & Chitkara, 2017)

Designing smart home systems by using the Internet of Things (IoT) is one of today's trends. It is a rapidly developing sector. So, In this study, a security-oriented smart door lock à la Internet of Things was designed.

## 2. Components and Method

### 2.1. Components

#### 2.1.1. Wi-fi Module

Different manufacturers produce different ESP cards. In this study, the NodeMCU ESP-12E card was used because the Wi-fi module was also intended to be used as a development card. A sufficient number of pins and a USB input are important advantages. It can also be coded with Micropython.

The NodeMCU ESP8266 development board comes with the ESP-12E module containing the ESP8266 chip having a Tensilica Xtensa 32-bit microprocessor. Its high processing power with in-built Wi-Fi / Bluetooth and Deep Sleep Operating features make it ideal for IoT projects.

#### 2.1.2. Solenoid

The solenoid is the generic term for a coil of wire used as an electromagnet. The device creates a magnetic field from an electric current and uses the magnetic field to create linear motion.

The solenoid which is used needs 12V/600mA power, approximately during Operation.

#### 2.1.3. Mosfet Power Module

MOSFET stands for Metal Oxide Semi-Conductor Field Effect Transistor and developed types of field-effect transistors (FET).

The Solenoid needs 12V / 600mA power, and the development board can provide a maximum of 3.3 V. So, another power source is needed, and a mosfet or a relay should be used for switching.

#### 2.1.4. Membrane Keypad(3x4)

The simplest component in this study is the membrane keypad. It has 4 rows and 3 columns. Therefore, it can be controlled with 7 pins. The first 4 pins are connected to the rows and the next 3 pins are connected to the columns.

It can be understood which key is pressed by properly powering the rows and controlling which column is powering.

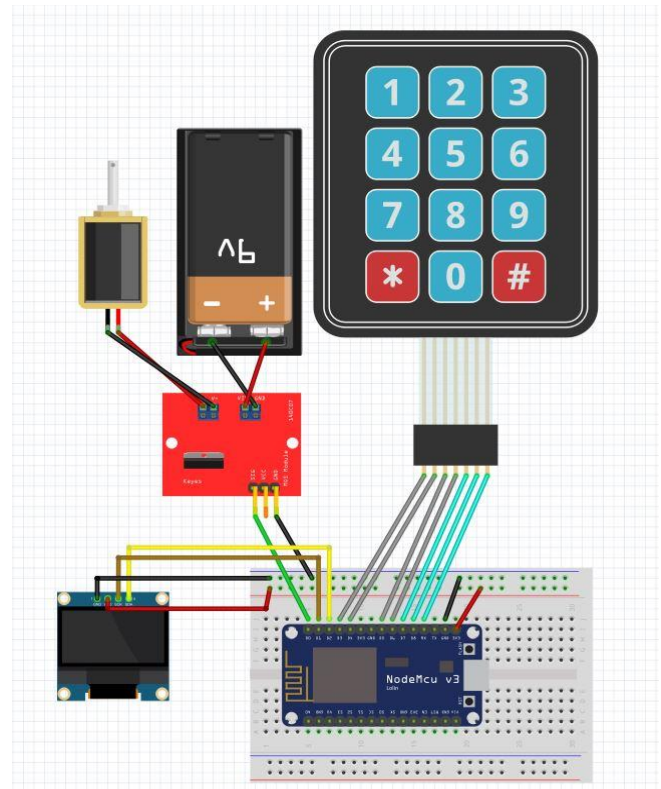


Figure 1-The Connection of Components

### 2.2. Methodology

Firstly, the user enters the password via the keypad. The Keypad is connected to the ESP-8266 card. The input password is read by ESP-8266. The input password is then sent to the PHP file named ENTRY CONTROL using JSON. Entry control file connects to the user database and retrieves all previously saved user IDs and passwords. It then compares the entered password with the passwords it receives from the database and sends the result back to the ESP-8266 card. Each time this occurs, ESP-8266 sends the incoming information to the IFTTT Webhook service.

Secondly, Admin encounters a PHP file called INDEX before adding a new user, where they must log in with their admin ID and password. If logged in with the correct admin ID and password, it is redirected to the PHP file named USER ADD. After entering the new User ID and password here, the data is sent to the user database. The methodology diagram is given in Figure-2.

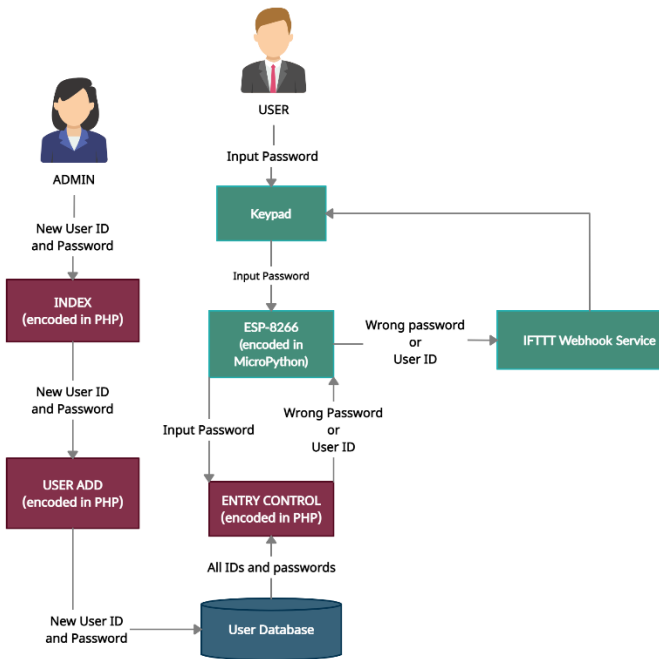


Figure 2-Methodology Diagram

2.2.1. Algorithm in ESP8266

The ESP8266 is encoded in MicroPython. It shares visual output with the user via the Oled display. It connects to the WiFi with the SSID (modem ID) and password. If the wifi connection fails, the program closes. If the wifi connection is successful, a loop is initiated. And then it is directed to a subroutine called Keypad Input.

Urequest to access PHP file from ESP card the urequest.post() method and JSON (JavaScript Object Notation) were used.

```
request=urequest.post("url"+ "api_key", ".json")
(MicroPython)
```

The flow diagram of the Keypad Input subroutine is described in detail in section 2.2.2. A 5-digit array, named B is taken from the Keypad Input subroutine each time it is pressed. If the user has not yet pressed #, it will be sent back to the beginning of the loop. If the user presses #, the last digit of array B becomes #. Input password is the first 4 digits of the B array before #. In this way, the password is obtained from the user. The Input password is sent to a subroutine named Entry Control. The Entry Control flow diagram is described in detail in section 2.2.3. . In Entry control, it compares the passwords in the user database with the input password. It then sends a variable named door value to the ESP card as 0 if an incorrect entry is made. If a correct entry is made, it sends the variable named door value as 1 and the ID of the login to the ESP card as a result of the comparison. If the door value that the ESP card receives from the Entry Control subroutine is 1, it opens the door, if it is 0, it does not open it. And in both cases, it sends the information to the IFTTT Webhook service. The flow chart of the ESP8266 card is in Figure-3. (MicroPython) (IFTTT)

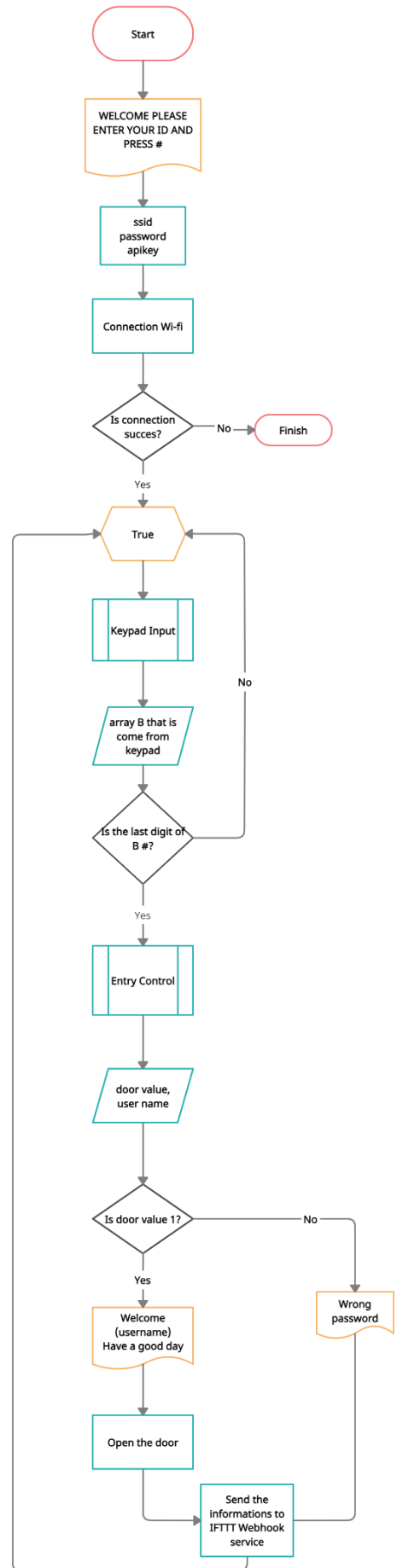


Figure 3-Flow chart of ESP8266

### 2.2.2. Keypad Input

Keypad subroutine is encoded in MicroPython. The purpose of the Keypad Input subroutine is to get a password from the keypad. It is simply explained how to control the keypad in Section 2.2.4.

First, the keypad matrix is written. variable c represents the column number of the pressed Key, and variable r represents the line number of the pressed key. For array B to be 5 digits, variable i is synchronized to 0 again when it is 5. So, variable i can be a maximum of 5. A 5-digit B array means that the password is also 4-digit. (When the last digit of array B is #, it means that the password has been created.) The flow chart of Keypad Input is in Figure-3.

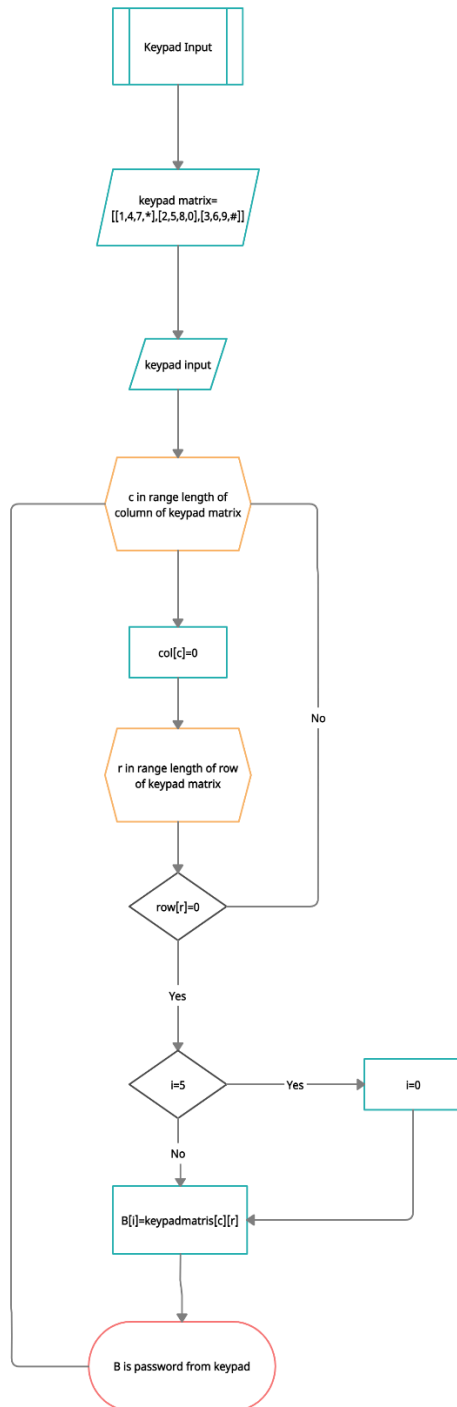


Figure 4-Flow chart of Keypad Input subroutine

### 2.2.3. Entry Control

Entry Control subroutine is encoded in PHP language. The purpose of the Entry Control subroutine is to take all IDs and passwords from the user database prepared with MySQL and compare them with the B array which come from the ESP card. After making this comparison, if the password is correct, it sends that person's ID and a variable named doorvalue as 1. If the password is incorrect, it sends a variable named doorvalue as 0. The flow chart of Entry Control is in Figure-3.

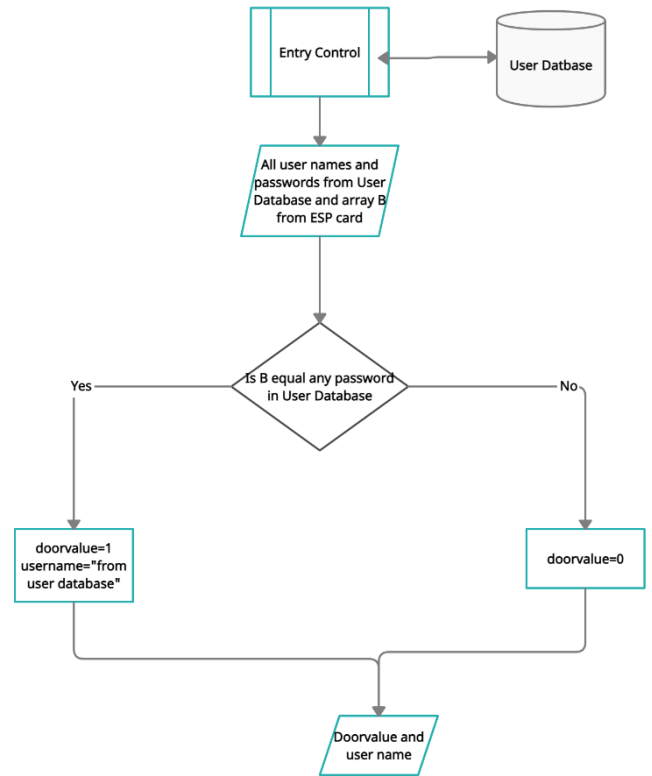


Figure 5-Flow chart of Entry Control subroutine

### 2.2.4. User Add and Index PHP Files

User Add and Index subroutines is encoded in PHP language. User Add file is used to add users. But in order to be able to access user Add file, you must first log in to Index file with the admin ID and password. It is connected to the Admin database and compared with the passwords entered in the Admin database. A variable named login is synchronized to 1 if the correct entry is made. Using Session, the login variable is stored on the server computer. And finally, it is redirected to the "user Add" Page. Session variables solve this problem by storing user information to be used across multiple pages (e.g., username, favorite color, etc). By default, session variables last until the user closes the browser. The reason for using Session is to still be able to read the value of the login variable as 1 when redirected to the user Add Page. In User Add File, the login variable is checked first, and if it is equal to 1, only then can admin add a new user. If the login number is missing or equal to 0, it is redirected to Index File again and is expected to enter the Admin ID and password.

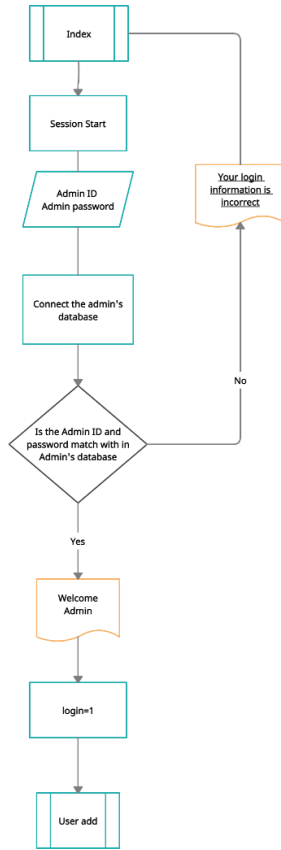


Figure 6-Flow chart of Index subroutine

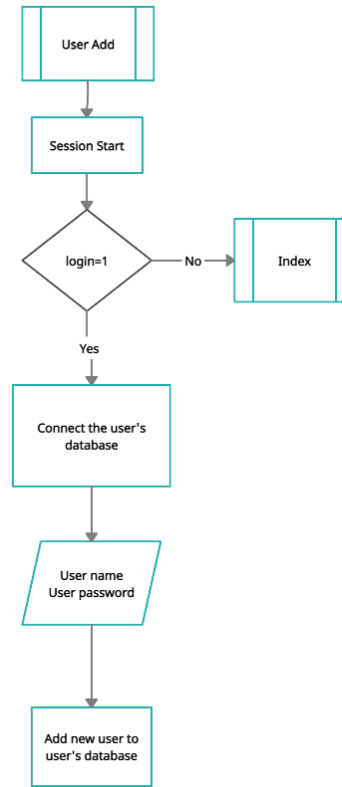


Figure 7-Flow chart of User Add subroutine

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Result

As a result, a demo of the Smart Door System was made using the components in section.2.1 and the methodology in Section.2.2.. In addition, a web interface was created with PHP files in Section.2.2.4 and an online user insertion system was prepared. Therefore, A smart door lock is designed so that users can log in with a password, save their login information online in a Google SpreadSheet file, and add an online user by admin.

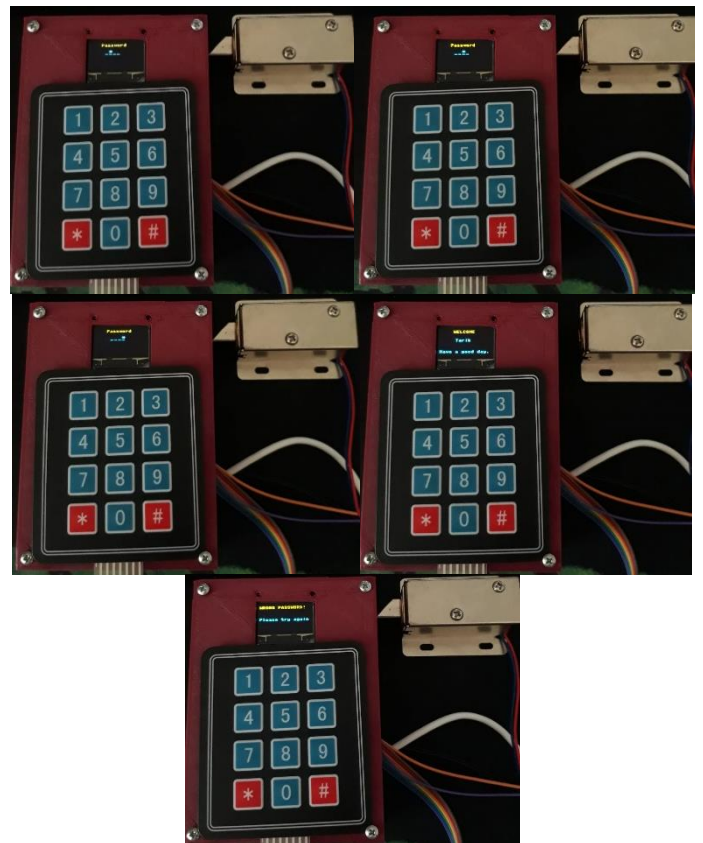
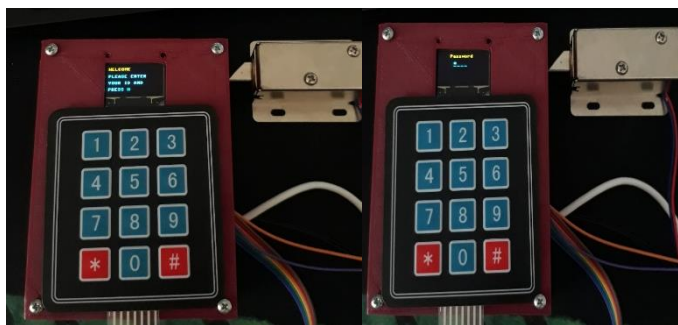


Figure 8- Some pictures of real system

Admin ID  Admin Password  Login

Figure 9- Figure of Index File

Welcome admin! [Log out!](#)

User Name...  User Password...  User Save

Figure 10- Figure of Add User File

+ Seçenekler

	id	username	password
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	1	admin	123456

Tümünü işaretle Seçimleri:  Düzenle  Kopyala  Sil  Dışa aktar

Figure 11- Figure of Admin Database

Tümünü göster | Satır sayısı: 25 | Satırları süz: Bu tabloda ara

+ Seçenekler

	id	user_name	user_password
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	1	Tarik	1234
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	2	Burkay	3456
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	3	Ahmet	9876
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	4	Mehmet	1357
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	14	Serhan	4567
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	12	Eyup	8765
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	13	Emir	2345
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	10	Seyma	6420
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	16	Hasan	2347
<input type="checkbox"/> Düzenle <input type="checkbox"/> Kopyala <input type="checkbox"/> Sil	17	Hakan	9763

Tümünü işaretle Seçimleri:  Düzenle  Kopyala  Sil  Dışa aktar

Figure 12- Figure of User Database

IFTTT\_Maker\_Webhooks\_Events

Dosya Düzenle Görünüm Ekle Biçim Veri Araçlar Ek

100% YTL % 0.00 123 Varsayılan ...

	A	B	C
1	December 24, 2020 at 12:45AM	door	Tarik
2	December 24, 2020 at 12:46AM	door	Burak
3	December 24, 2020 at 12:46AM	door	Serhan
4	December 24, 2020 at 12:46AM	door	Wrong Password
5	December 24, 2020 at 12:46AM	door	Mert
6	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Izzet
7	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Eren
8	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Sefa
9	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Emre
10	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Wrong Password
11	December 24, 2020 at 12:47AM	door	Burak
12	December 24, 2020 at 12:48AM	door	Sefa
13	December 24, 2020 at 12:48AM	door	Burkay
14	December 24, 2020 at 12:48AM	door	Tarik
15	December 24, 2020 at 12:48AM	door	Wrong Password
16	January 1, 2021 at 04:21PM	door	Tarik
17	January 1, 2021 at 04:21PM	door	Wrong Password
18	January 1, 2021 at 04:21PM	door	Wrong Password
19	January 1, 2021 at 04:21PM	door	Burkay
20	January 1, 2021 at 04:26PM	door	Tarik
21	January 1, 2021 at 04:28PM	door	Wrong Password

Figure 13- Figure of the Google Spreadsheet table

### 3.2. Discussion

As for the advantages of the system, its biggest advantage is cost. Besides, admin adding users online is a great advantage. In this way, Admin can access input and output information from all over the world and add new users.

To mention its disadvantages, it can be shown that currently it does not work with a battery, and the time of opening the door changes depending on the speed of the internet.

For disadvantages, the necessary recommendations for future studies are given next.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, MicroPython, PHP, MYSQL, IFTTT services were used with minimum number of components. And a smart door lock has been designed by transferring data between them. As a result, Admin will be able to add new users from all over the world, via a web service, without entering any code. Also, this study was a good example of using different languages together. Using an ESP card as a development card without a second development card is an opportunity for minimal equipment concern. And the best way to do that is to use MicroPython. It has reduced the cost to do with PHP without adding any new hardware to add new users.

Future work could focus on the locking mechanism. Instead of a solenoid, the lock system can be driven by a mechanism that will consume less power. Also, the current model can not work without an internet connection. A model can be designed that can also work without the Internet via local connections.

## 5. Acknowledgements

The most important motivation for this study is the ME-587 course semester projects given at İzmir Institute of Technology. Also, thanks to Burkay Yarışanözer for his contribution to the study.

## References

Balbin, J. R., & et al. (2017). Vehicle door latch with tracking and alert system using global positioning system technology and IoT based hardware control for visibility and security of assets. *2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 1-5. doi:10.1109/HNICEM.2017.8269425.

Deepty, R. R., Alam, A., & Islam, M. (2019). IoT and Wi-Fi Based Door Access Control System using Mobile Application. *IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-intelligence and Internet of Things(RAAICON)*, 21-24. doi:10.1109/RAAICON48939.2019.09.

IFTTT. (2020). *ifttt.com*. Retrieved from [ifttt.com/maker\\_webhooks](https://ifttt.com/maker_webhooks)

MicroPython. (2020). *docs.micropython.org*. Retrieved from <http://docs.micropython.org/en/latest/>

Singh, S., Kaushik, A., & Chitkara, S. S. (2017). Ubiquitously controlled personalized smartlock. *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 686-691. doi:10.1109/I-SMAC.2017.8058266.



# Kalp Yetmezliği Hastalarının Sağ Kalımlarının Sınıflandırma Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi

Ezgi Aktaş Potur<sup>1\*</sup>, Nihal Erginel<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0192-8655), [ezgiaktas@gazi.edu.tr](mailto:ezgiaktas@gazi.edu.tr)

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6231-9904), [nerginel@eskisehir.edu.tr](mailto:nerginel@eskisehir.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902357)

**ATIF/REFERENCE:** Aktaş Potur, E., Erginel, N. (2021). Kalp Yetmezliği Hastalarının Sağ Kalımlarının Sınıflandırma Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 112-118.

## Öz

Kalp yetmezliği, son yıllarda giderek yaygınlaşan kronik bir hastalıktır. Hastaların ölüm oranları çok yüksektir ve bu durum hastalığın en ciddi kalp hastalıklarından birisi olduğunu göstermektedir. Hastaların hayatta kalma oranı meme kanseri, prostat kanseri ve bağırsak kanseri gibi kanser türlerine göre daha düşüktür. Kalp yetmezliği ile yaşayan hastaların sağ kalımlarının tahmin edilmesinin kritik önemi vardır. Sağ kalım tahmini ile en önemli risk faktörlerinin belirlenmesi ve hastalığın erken aşamada teşhisi sağlanabilir. Veri madenciliği teknikleri son yıllarda klinik verilerin analiz edilmesi ve sınıflandırılması üzerinde büyük gelişim göstermiş, hekimlere ve hastalara faydalar sağlamıştır. Bu çalışmada kalp yetmezliği hastalarının sağ kalımlarının tahmin edilmesi amacıyla Naive Bayes, lojistik regresyon, çok katmanlı algılayıcı, destek vektör makineleri ve J48 karar ağacı sınıflandırma yöntemleri WEKA'da bulunan InfoGainAttributeEval, CfsSubsetEval ve ReliefAttributeEval öznelik seçim yöntemleri kullanılarak değerlendirme ölçütleri açısından karşılaştırılmıştır. Değerlendirme ölçütü olarak doğru sınıflandırma oranı, F-ölçütü ve Kappa istatistiği metrikleri kullanılmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısına sahip sınıflandırıcı %90 doğru sınıflandırma oranı ile çok katmanlı algılayıcı olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Madenciliği, Kalp Yetmezliği, Sınıflandırma.

## Predicting Survival of Heart Failure Patients via Classification Algorithms

### Abstract

Heart failure is a chronic disease that has become increasingly common in recent years. Patients' mortality rates are very high, indicating that the disease is one of the most serious heart diseases. The survival rate of patients is lower than cancer types such as breast cancer, prostate cancer and bowel cancer. Predicting the survival of patients living with heart failure is critical. The most important risk factors can be determined and the disease can be diagnosed at an early stage via prediction of survival. Data mining techniques have made great progress in analyzing and classifying clinical data in recent years, providing benefits to physicians and patients. In this study, Naive Bayes, logistic regression, multilayer perceptron, support vector machines and J48 decision tree classification methods were compared in terms of evaluation metrics using InfoGainAttributeEval, CfsSubsetEval and ReliefAttributeEval feature selection methods in WEKA. The accuracy rate, F-measure and Kappa statistics metrics were used as evaluation metrics. The classifier with the highest classification success was the multilayer perceptron with 90% correct classification rate.

**Keywords:** Data Mining, Heart Failure, Classification.

\* Sorumlu Yazar: [ezgiaktas@gazi.edu.tr](mailto:ezgiaktas@gazi.edu.tr)



## 1. Giriş

Kalp yetmezliği, kalp kasının vücudun ihtiyaç duyduğu kan ve oksijeni sağlayacak düzeyde kanı vücuda gönderemediği durumda gelişen kronik bir rahatsızlıktır. Kalp yetmezliğinin başlıca sebepleri koroner arter hastalığı, yüksek kan basıncı ve kalp krizi geçmişinin bulunmasıdır [1, 2]. Amerika’da 2030 yılına kadar kalp yetmezliğinin %46 artış göstererek 8 milyonun üzerine çıkacağı öngörülmektedir. Türkiye’de kalp yetmezliği hastalığına sahip kişi sayısı 2 milyonun üzerindedir. Kalp yetmezliği ile yaşayan insanların sağ kalım oranları meme kanseri, bağırsak kanseri ve prostat kanserine kıyasla daha düşüktür. Kalp yetmezliği hastalığına sahip insanların en az bir kez hastaneye yatış oranı %83’tür. Bu hastaların %50’si yoğun bakım ünitelerinde izlenmektedir [3].

Sağlık alanında toplanan veri miktarı her geçen gün artmaktadır. Artan veri miktarı, tespit edilmesi zor olan gizli bilgi ve ilişkilerin ortaya çıkarılması ihtiyacını doğurmuştur. Tıbbi verilerin analiz edilmesinde veri madenciliği teknikleri hayati öneme sahiptir. Kalp hastalığının artan seyri ve yüksek ölüm oranları araştırmacıları veri madenciliği teknikleri ile hastalıkların mümkün ölçüde önlenmesi, erken aşamada teşhis edilmesi ve hastane ölümlerinin önüne geçilebilmesi için çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir [3, 4].

Sağlain vd. çalışmalarında kalp yetmezliği ile yaşayan hastaların 1 yıl ve daha fazla süre sağ kalımlarının tahmin edilmesi için bir model önermişlerdir. Naive Bayes algoritması ile %86,7 doğru sınıflandırma oranına ulaşmışlardır [5]. Jagad vd. koroner arter hastalığının erken dönemde teşhis edilebilmesi için Naive Bayes, karar ağacı ve sinir ağları sınıflandırıcılarının performansları değerlendirmişlerdir. Üç algoritma arasında en hızlı algoritma Naive Bayes olmuştur. Hatayı en küçükleyen sinir ağları ise görece daha yüksek hesaplama zamanına sahiptir. Naive Bayes ve sinir ağı için ulaşılan doğru sınıflandırma oranları sırasıyla %86 ve %85,7’dir [6]. Küçükakçalı vd. veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kurallarını temel alan ilişkisel sınıflandırmayı kullanarak kalp yetmezliğine bağlı ölüm olaylarının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. 299 örnek ve 13

öznitelikten oluşan kalp yetmezliği veri seti kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada doğru sınıflandırma oranı, dengeli doğruluk, duyarlılık, özgüllük, pozitif prediktif değer, negatif prediktif değer ve F ölçütü değerlendirme ölçütleri için sırasıyla 0,866, 0,819, 0,688, 0,951, 0,868, ve 0,865 ve 0,767 sonuçlarına ulaşılmıştır [7]. Chicco ve Jurman çalışmalarında 299 örnekten oluşan kalp yetmezliği veri setini kullanarak hastaların sağ kalım oranlarının tahmini ve en önemli risk faktörlerinin ortaya çıkarılması adına sınıflandırma yöntemlerini analiz etmişlerdir. Lojistik regresyon sınıflandırıcısı ile %83,8 doğru sınıflandırma oranına ulaşmışlardır. [8]. Gürfidan ve Ersoy kalp yetmezliği hastalarının klinik bilgilerini ve yaşamlarına ait bilgileri içeren UCI web sitesinden alınan kalp yetmezliği veri setini kullanarak kalp hastalığına bağlı ölüm oranlarının değerlendirilmesini, hastaların ve hekimlerin erken tanıya yönlendirilmesini amaçlamışlardır. Sınıflandırma başarıları %73 ile %83 arasında değişen 6 farklı sınıflandırma algoritması içinde en başarılı sınıflandırıcının destek vektör makineleri olduğu sonucuna varmışlardır [9].

Bu çalışmada 299 örnekten oluşan kalp yetmezliği veri seti kullanılarak hastaların 4-285 gün arasında değişen, ortalama 130 günlük takip süresi içindeki sağ kalımları tahmin edilmiştir. Sınıflandırma işlemi öncesinde WEKA yazılımında bulunan InfoGainAttributeEval, CfsSubsetEval ve ReliefAttributeEval öznitelik seçim yöntemlerinden yararlanılarak daha önce bu veri setinin kullanıldığı çalışmalara göre sınıflandırma başarısının artırılması amaçlanmıştır. Naive Bayes, lojistik regresyon, çok katmanlı algılayıcı, destek vektör makineleri ve J48 karar ağacı sınıflandırma algoritmalarının performansları doğru sınıflandırma oranı, F-ölçütü ve Kappa istatistiği değerlendirme ölçütleri açısından karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada UCI web sitesinden alınan kalp yetmezliği veri seti kullanılmıştır. Veri seti 13 öznitelik ve 105’i kadın, 194’ü erkek olan 299 hastaya ait kayıt içermektedir. Hastalardan 96’sı takip edildiği süre içerisinde hayatını kaybetmiştir. Veri setine ilişkin ayrıntılı bilgi Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Öznitelikler ve Açıklamaları

Öznitelik Adı	Öznitelik Tanımı	Öznitelik Türü	Veri Türü
Yaş	Hasta yaşı	Girdi	Nümerik
Anemi	Kırmızı kan hücrelerinde veya hemoglobinde gerçekleşen azalma	Girdi	Kategorik(0:Yanlış, 1:Doğru)
Yüksek Tansiyon	Hastada hiper tansiyon olması	Girdi	Kategorik(0:Yanlış, 1:Doğru)
Kreatinin Fosfokinaz (CPK)	Kandaki kreatinin fosfokinaz enzim seviyesi	Girdi	Nümerik
Diyabet	Hastanın diyabetinin olması	Girdi	Kategorik(0:Yanlış, 1:Doğru)
Ejeksiyon Fraksiyonu	Kalbin her kasılmasında kalpten çıkan kan miktarı	Girdi	Nümerik
Trombosit	Kandaki trombositler	Girdi	Nümerik
Cinsiyet	Hasta cinsiyeti	Girdi	Kategorik(0:Kadın, 1:Erkek)
Serum Kreatinin	Kandaki serum kreatinin seviyesi	Girdi	Nümerik
Serum Sodyum	Kandaki serum sodyum seviyesi	Girdi	Nümerik
Sigara İçme Durumu	Hastanın sigara içme durumu	Girdi	Kategorik(0:Yanlış, 1:Doğru)
Süre	Gün bazında takip süresi	Girdi	Nümerik
Ölüm Olayı	Hastanın takip süresi içinde ölümü	Çıktı	Kategorik(0:Yanlış, 1:Doğru)

## 2.1. Öznitelik Seçimi

Çalışmada WEKA yazılımında bulunan InfoGainAttributeEval, CfsSubsetEval ve ReliefAttributeEval yöntemleri en etkili özniteliklerin ortaya çıkarılması amacıyla kullanılmıştır. Öznitelikleri derecelendirmek için kullanılan InfoGain yöntemi entropi kavramına dayanmaktadır. Bu yöntem ile hedef sınıfa göre hesaplanan bilgi kazancı ile özniteliklerin önemi ölçülmektedir. Entropi “H” ile ifade edilirse bilgi kazancı şu şekilde hesaplanmaktadır [10, 11]:

$$\text{Bilgi Kazancı}(\text{Sınıf}, \text{Öznitelik}) = H(\text{Sınıf}) - H(\text{Sınıf} | \text{Öznitelik}) \quad (1)$$

Best fit arama algoritmasından yararlanan CfsSubsetEval yöntemi ise sınıf etiketi ile en yüksek ilişkiye sahip özniteliklerin seçilmesi için öznitelik alt kümesinin değerini özniteliklerin her birinin bireysel tahmin yeteneğini ve öznitelikler arasındaki fazlalık derecesini dikkate alarak değerlendirmektedir [12, 13]. ReliefAttributeEval yöntemi bir örneği tekrar tekrar örnekleyerek özniteliklerin önemini değerlendiren ağırlık tabanlı bir öznitelik seçim yöntemidir. Her bir öznitelik, sınıf ile ilişkisine göre ağırlıklandırılmaktadır. Bu yöntemde başlangıçta tüm ağırlıklar sıfır olarak ayarlanmıştır. Ağırlık hesaplaması için rastgele seçilen örnekler kullanılmaktadır. Her bir tekrarda rastgele bir  $i$  örneği seçilmekte ve bu örneğin her bir öznitelik değerinin örneğe en yakın örnekler arasında ne derece iyi bir ayırım yaptığı tahmin edilmektedir. Algoritma her bir öznitelik ağırlığını tekrarlı olarak güncellemekte ve en yüksek ağırlığa sahip belirli sayıda öznitelik seçilmektedir [14, 15].

## 2.2. Sınıflandırma Algoritmaları

Kalp yetmezliği hastalarının sağ kalımlarının tahmini için gerçekleştirilen bu çalışmada Naive Bayes, destek vektör makineleri, lojistik regresyon, çok katmanlı algılayıcı ve J48 karar ağacı sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır.

### 2.2.1. Naive Bayes Algoritması

Naive Bayes, Thomas Bayes’in Bayes teoremini temel alan istatistiksel bir sınıflandırma algoritmasıdır. Özniteliklerin belirli bir sınıf üzerindeki etkisinin diğer özniteliklerin aldığı değerlerden bağımsız olduğu (koşullu bağımsızlık) varsayımının yapıldığı bu sınıflandırıcı ile koşullu sınıf olasılıkları hesaplanarak sonuç değişkeni tahmin edilmektedir [16, 17].

Koşullu bağımsızlık varsayımı sayesinde, rassal değişkenlerin tüm kombinasyonları için koşullu sınıf olasılığının hesaplanması yerine yalnızca verilen bir sınıf etiketi için her bir rassal değişkenin koşullu olasılığı hesaplanmaktadır. Naive Bayes sınıflandırıcısı ile test verilerinin sınıflarının tahmin edilmesi için kullanılan ifade şu şekildedir [17]:

$$P(Y|X) = \frac{P(Y) \prod_{i=1}^n P(X_i|Y)}{P(X)} \quad (2)$$

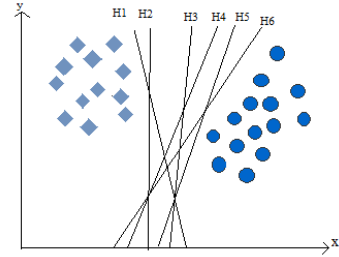
Burada sınıf etiketi  $Y$  ile,  $i$ . öznitelik aldığı değer  $X_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) ile gösterilmiştir.

### 2.2.2. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri, sınıflandırma problemlerinin çözümü için verileri marjini en büyüleyecek en uygun düzlem veya hiper düzlem ile ayırmayı amaçlayan bir sınıflandırıcıdır. Marjin, iki farklı sınıfa ait birbirine en yakın veri noktaları arasındaki uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Bu noktalar destek vektörleri olarak adlandırılmaktadır. Çok boyutlu uzayda sınıflandırma hatasını en küçükleyen en büyük marjinli hiper düzlemin belirlenmesi amaçlanmaktadır [16].

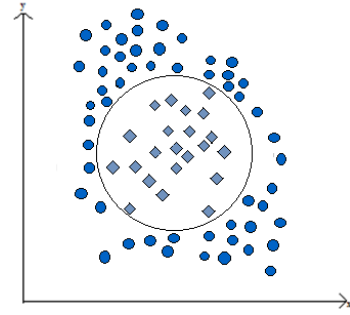
e-ISSN: 2148-2683

Doğrusal olarak ayrılabilen veriler bir düzlem ile ayrılırken doğrusal olarak ayrılamayan veriler doğrusal olmayan haritalama yöntemi ile yüksek boyutlu bir uzaya aktarılmakta, burada hiper düzlem ile sınıflara ayrıldıktan sonra veri noktalarının girdi uzayına iz düşümleri alınmaktadır [18]. Şekil 1’de doğrusal olarak ayrılabilen verilerin sınıflandırılmasına yönelik bir örnek görsele yer verilmiştir.



Şekil 1. Doğrusal Olarak Ayrılabilen Verilerin Sınıflandırılması

Şekil 2’de doğrusal olarak ayrılamayan verilerin doğrusal olmayan haritalama yöntemi ile sınıflandırıldığı ve veri noktalarının girdi uzayına iz düşümlerinin alındığı bir görsel yer almaktadır.



Şekil 2. Doğrusal Olarak Ayrılamayan Verilerin Sınıflandırılması

### 2.2.3. Lojistik Regresyon

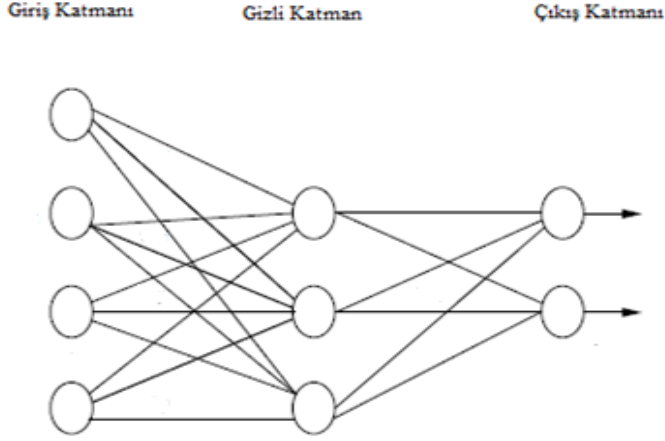
Lojistik regresyon, yanıt değişkeninin iki veya daha fazla kategoriden oluştuğu durumlarda kullanılan istatistiksel bir sınıflandırma yöntemidir. Problemin türüne göre ikili, çok kategorili ve sıralı olmak üzere çeşitli lojistik regresyon modelleri kullanılmaktadır. Lojistik regresyon modelinde de diğer regresyon modellerinde olduğu gibi yanıt değişkeni ile bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Lojistik regresyon pek çok yönden doğrusal regresyon modeline benzese de yanıt değişkeninin kesikli yapıda olmasıyla diğer regresyon türlerinden ayrılmaktadır [19].

Yanıt değişkeni doğrusal regresyonda sürekli bir değere sahipken lojistik regresyonda kullanılan lojistik fonksiyon sayesinde 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Lojistik fonksiyondan elde edilen değere göre örneğin ait olduğu sınıf tahmin edilmektedir.

### 2.2.4. Çok Katmanlı Algılayıcı

Çok katmanlı algılayıcı, insan beyninin bilgiyi işleme sürecini taklit eden bir yapay sinir ağı türüdür. Tek katmanlı algılayıcıların sadece doğrusal problemlerin çözümünde kullanılmasından kaynaklanan yetersizliklerin giderilmesi için geliştirilmiştir. Çok katmanlı algılayıcılar giriş katmanı, çıkış katmanı ve gizli katman olmak üzere üç çeşit katmandan

oluşmaktadır. Dışarıdan gelen bilgilerin toplandığı giriş katmanı kendisine gelen bilgileri işlenmek üzere gizli katmana iletmektedir. Aradaki gizli katmanlardan çıkış katmanına ulaşan bilgiler ise tahmin sonuçları üretildikten sonra sistemden ayrılmaktadır. Şekil 3'te çok katmanlı algılayıcılarda bilgi aktarım sürecinin işleyişini gösteren bir örnek verilmiştir [20,21].



Şekil 3. Çok Katmanlı Algılayıcı Yapısı

## 2.2.5. J48 Karar Ağacı Algoritması

C4.5 karar ağacının WEKA yazılımındaki karşılığı olan J48 karar ağacı, bilginin keşfedilme sürecinde veri madenciliğinde kullanılan güçlü sınıflandırıcılardan birisidir. J48 algoritması ile karar kuralının oluşturulabilmesi için bilgi kazancının hesaplanması gerekmektedir. Bilgi kazancının hesaplanmasında entropi kavramından yararlanılmaktadır. Entropi kavramı veri setindeki düzensizliği ifade etmek için kullanılmaktadır. Kök düğümü ve karar düğümlerinin oluşturulması için her özneliğin bilgi kazancı ölçülmesi ve elde edilen değerlere göre en iyi ayırıcı öznelikler belirlenmektedir [22]. Bu algoritma ile eğitim veri seti kullanılarak karar ağacı oluşturulduktan sonra kök düğümünden yapraklara kadar karar kuralı doğrulamasında ilerlenerek her bir yeni örneğin sınıf etiketi tahmin edilmektedir.

## 2.3. Değerlendirme Kriterleri

Eğitim veri seti ile sınıflandırma modelleri oluşturulduktan sonra test verisi kullanılarak sınıflandırıcıların performansları test edilmektedir. Sınıflandırıcıların performanslarının test edilebilmesi için çeşitli değerlendirme kriterleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada değerlendirme kriterlerinin hesaplanması için karmaşıklık matrisinden yararlanılmıştır. Karmaşıklık matrisi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karmaşıklık Matrisi

		Tahmin Edilen Sınıf	
		Pozitif	Negatif
Gerçek Sınıf	Pozitif	GP	YN
	Negatif	YP	GN

Gerçek Pozitif (GP), gerçek sınıfı pozitif olan bir örneğin doğru sınıflandırıldığı durumları göstermektedir.

Yanlış Negatif (YN), gerçek sınıfı pozitif olan bir örneğin yanlış sınıflandırıldığı durumları göstermektedir.

Yanlış Pozitif (YP), gerçek sınıfı negatif olan bir örneğin yanlış sınıflandırıldığı durumları göstermektedir.

Gerçek negatif (GN), gerçek sınıfı negatif olan bir örneğin doğru sınıflandırıldığı durumları göstermektedir.

Karmaşıklık matrisinin hücrelerindeki değerler kullanılarak doğru sınıflandırma oranı, kesinlik, duyarlılık, F ölçütü ve Kappa istatistiği değerlendirme ölçütleri hesaplanabilmektedir.

Doğru sınıflandırma oranı, doğru sınıflandırılan örneklerin tüm örneklerle oranı ile bulunmaktadır. Formülasyonu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [23].

$$\text{Doğru Sınıflandırma Oranı} = \frac{GP+GN}{GP+YN+YP+GN} \quad (3)$$

Kesinlik, pozitif olan ve doğru tahmin edilen örneklerin pozitif olarak tahmin edilen örneklerin toplamına oranıdır. Eşitlik (4)'teki gibi hesaplanmaktadır [23].

$$\text{Kesinlik} = \frac{GP}{GP+YP} \quad (4)$$

Duyarlılık, pozitif olan ve doğru tahmin edilen örneklerin pozitif örneklerin toplamına oranıdır [23].

$$\text{Duyarlılık} = \frac{GP}{GP+YN} \quad (5)$$

F-ölçütü eşitlik (4) ve (5)'teki değerlerin harmonik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. F-ölçütünün hesaplanmasına ilişkin formül eşitlik (6)'da verilmiştir [23].

$$F \text{ ölçütü} = \frac{2 \times \text{Duyarlılık} \times \text{Kesinlik}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (6)$$

Tesadüfi faktörleri de hesaba katan Kappa istatistiği, güvenilirliğin bir ölçüsüdür. Kappa istatistiğine ait formül eşitlik (7)'de verilmiştir.

$$\text{Kappa istatistiği} = \frac{\text{Gözlenen Doğruluk} - \text{Beklenen Doğruluk}}{1 - \text{Beklenen Doğruluk}} \quad (7)$$

Kappa istatistiği hesaplamasında 0 ile 1 arasında bir değer elde edilmektedir. 0,00-0,20 arasında elde edilen Kappa istatistiği, önemli olmayacak düzeyde uyum olduğunu, 0,21-0,40 düşük düzeyde uyum olduğunu, 0,41-0,60 orta derecede uyum olduğunu, 0,61-0,80 iyi derecede uyum olduğunu ve 0,81-1,00 ileri derecede uyum olduğunu göstermektedir [24].

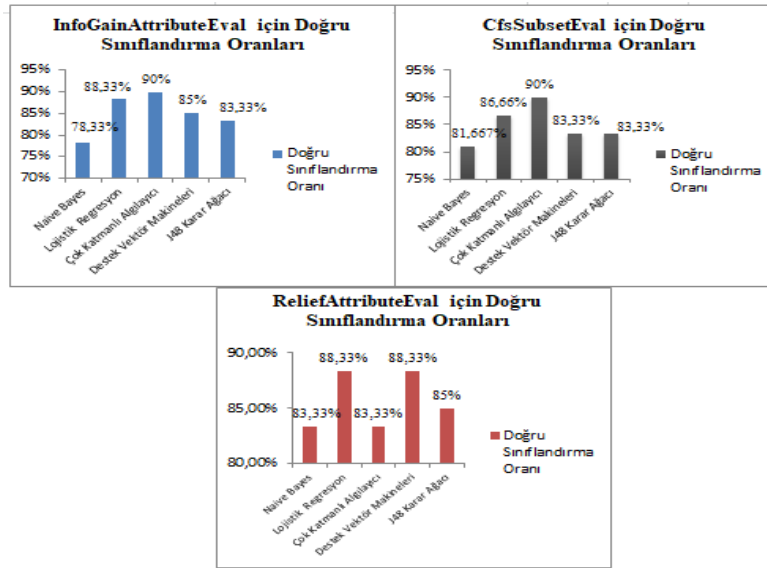
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada kalp yetmezliği veri seti kullanılarak Naive Bayes, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri, J48 Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Algılayıcı sınıflandırıcılarının performansları değerlendirilmiştir. Veri setindeki örneklerin %80'i eğitim, %20'si test verisi olarak ayrılmıştır. Sınıflandırma öncesinde veri ön işleme aşamasında veri standardizasyonu yapılmıştır. InfoGainAttributeEval, CfsSubsetEval ve ReliefFAAttributeEval öznelik seçim yöntemlerinden yararlanılmıştır. InfoGainAttributeEval yöntemi ile yaş, ejeksiyon fraksiyonu, serum kreatinin, serum sodyum ve süre öznelikleri; CfsSubsetEval yöntemi ile yaş, ejeksiyon fraksiyonu, serum kreatinin ve süre öznelikleri; ReliefFAAttributeEval yöntemi ile ejeksiyon fraksiyonu, diyabet, anemi, cinsiyet ve süre öznelikleri seçilmiştir.

Her bir öznelik seçim yöntemi için sınıflandırma algoritmalarından elde edilen doğru sınıflandırma oranları Şekil 4'te verilmiştir. Öznelik seçim yöntemleri ve değerlendirme kriterleri için sınıflandırma algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 3-7 arasında yer almaktadır. Değerlendirme

kriterleri incelendiğinde en başarılı sınıflandırıcının 5 adet özneliğin kullanıldığı InfoGainAttributeEval ve 4 adet özneliğin kullanıldığı CfsSubsetEval öznelik seçim yöntemi ile %90 doğru sınıflandırma oranının elde edildiği çok katmanlı algılayıcı sınıflandırıcısı olduğu görülmüştür. Her iki öznelik seçim yöntemi ile de en yüksek Kappa istatistiği değeri olan 0,78'e ulaşılmıştır. Güvenilirliğin bir ölçüsü olan bu değer, beklenen ve gözlenen doğruluk arasında iyi derecede uyum olduğunu göstermektedir. F-ölçütü değeri InfoGainAttributeEval ve CfsSubsetEval öznelik seçim yöntemleri için 0,86 olarak hesaplanmıştır. CfsSubsetEval yöntemi ile InfoGainAttributeEval yöntemine göre daha az sayıda öznelik kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı algoritması ile daha önce bu veri setinin kullanıldığı [7], [8] ve [9] referanslarına göre daha yüksek bir sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

ReliefFAAttributeEval yöntemi ile en başarılı sınıflandırıcılar %88,33 doğru sınıflandırma oranı ile destek vektör makineleri ve lojistik regresyon olmuştur. Destek vektör makineleri için F-ölçütü ve Kappa istatistiği değerleri sırasıyla 0,81 ve 0,73 iken lojistik regresyonda 0,82 ve 0,74 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Öznelik Seçim Yöntemleri ve Sınıflandırma Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 3. Lojistik Regresyona Göre Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Öznelik Seçim Yöntemi	Lojistik Regresyon		
	Doğru Sınıflandırma Oranı	F-Ölçütü	Kappa İstatistiği
InfoGainAttributeEval	%88,33	0,82	0,74
CfsSubsetEval	%86,67	0,79	0,70
ReliefFAAttributeEval	%88,33	0,82	0,74

Tablo 4. Naive Bayes Algoritmasına Göre Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Öznelik Seçim Yöntemi	Naive Bayes		
	Doğru Sınıflandırma Oranı	F-Ölçütü	Kappa İstatistiği
InfoGainAttributeEval	%78,33	0,61	0,48
CfsSubsetEval	%81,67	0,71	0,58
ReliefFAAttributeEval	%83,33	0,76	0,63

Tablo 5. Çok katmanlı Algılayıcıya Göre Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Öznitelik Seçim Yöntemi	Çok Katmanlı Algılayıcı		
	Doğru Sınıflandırma Oranı	F-Ölçütü	Kappa İstatistiği
InfoGainAttributeEval	%90,00	0,86	0,78
CfsSubsetEval	%90,00	0,86	0,78
ReliefFAttributeEval	%83,33	0,76	0,63

Tablo 6. Destek Vektör Makinelerine Göre Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Öznitelik Seçim Yöntemi	Destek Vektör Makineleri		
	Doğru Sınıflandırma Oranı	F-Ölçütü	Kappa İstatistiği
InfoGainAttributeEval	%85	0,76	0,65
CfsSubsetEval	%83,33	0,72	0,61
ReliefFAttributeEval	%88,33	0,81	0,73

Tablo 7. J48 Karar Ağacına Göre Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Öznitelik Seçim Yöntemi	J48 Karar Ağacı		
	Doğru Sınıflandırma Oranı	F-Ölçütü	Kappa İstatistiği
InfoGainAttributeEval	%83,33	0,75	0,63
CfsSubsetEval	%83,33	0,75	0,63
ReliefFAttributeEval	%85	0,78	0,67

#### 4. Sonuç

Kalp yetmezliği, hastalıktan kaynaklanan ölüm oranının yüksekliği ve son yıllarda giderek artan bir seyir göstermesi sebebiyle en ciddi kalp hastalıklarından biri olarak görülmektedir. Bu çalışmada kalp yetmezliği hastalarının sağ kalımlarının yüksek bir doğrulukla tahmin edilmesi için 299 kayıt ve 13 öznitelikten oluşan kalp yetmezliği veri seti kullanılarak 5 farklı sınıflandırıcı ve 3 farklı öznitelik seçim yönteminin performansı değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda değerlendirme ölçütlerine göre en başarılı sınıflandırıcının %90 doğru sınıflandırma oranına sahip olan çok katmanlı algılayıcı olduğu görülmüştür. Öznitelik seçim yöntemleri karşılaştırıldığında InfoGainAttributeEval ve CfsSubsetEval yöntemleri kullanılarak seçilen öznitelikler ile en yüksek sınıflandırma başarısına ulaşılmıştır. CfsSubsetEval yöntemi ile daha az sayıda öznitelik kullanılmıştır. Aynı veri setinin kullanıldığı [7], [8] ve [9] kaynaklarına göre daha yüksek bir doğru sınıflandırma oranına ulaşılmıştır. Gelecek çalışmalarda veri sayısının artırılması, farklı öznitelik seçim yöntemlerinden yararlanılması ve sınıflandırma algoritmalarının birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulacak bütünlüklü sınıflandırıcılar ile daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

#### Kaynakça

[1] Türk Kardiyoloji Derneği, Resmi web sitesi, [https://tkd.org.tr/kalp-yetersizligi-calisma-grubu/sayfa/toplum\\_icin\\_bilgiler](https://tkd.org.tr/kalp-yetersizligi-calisma-grubu/sayfa/toplum_icin_bilgiler), Erişim Tarihi, 01.02.2021

- [2] American Heart Association, Causes and Risks for Heart Failure, <https://www.heart.org/en/health-topics/heart-failure/causes-and-risks-for-heart-failure>, Erişim Tarihi, 02.02.2021.
- [3] Tokgözoğlu, L., Yılmaz, M.B., Abacı, A., Altay, H., Atalar, E., Aydoğdu, S., Bozkurt, E., Çavuşoğlu, Y., Eren, M., Sarı, İ., Selçuk, T., Temizhan, A., Ural, D., Zoghi, M. (2015). Türkiye’de kalp yetersizliği yol haritası kalp yetersizliğinin ve buna bağlı ölümlerin önlenmesi amacıyla geliştirilebilecek politikalara ilişkin öneriler. TKD, 1-31.
- [4] Patel, J., Upadhyay, T. and Patel, S. (2015). Heart disease prediction using machine learning and data mining technique. International Journal of Computer Science & Communication, 7(1), 129-137.
- [5] Saqlain, M., Hussain, W., Saqib, N., Khan, M. (2016). Identification of heart failure by using unstructured data of cardiac patients. 45th International Conference on Parallel Processing Workshops, 426-431.
- [6] Jagad, H., Kandawalla and Nair, S. (2015). Detection of Coronary Heart Diseases using Data Mining Techniques. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3(1).
- [7] Küçükakçalı, Z., Çiçek, I., Gündoğan, E., Çolak, C. (2020). Assessment of associative classification approach for predicting mortality by heart failure. The Journal of Cognitive Systems, 5(2), 41-45.
- [8] Chicco, D. and Jurman, G. (2020). Machine learning can predict survival of patients with heart failure from serum creatinine and ejection fraction alone. BMC Medical Informatics and Decision Making, 20(1), 1-16.

- [9] Gürfidan, R. and Ersoy, M. (2021). Classification of death related to heart failure by machine learning algorithms. *Advances in Artificial Intelligence Research*, 1(1), 13-18.
- [10] Phyu, T., Oo, N. (2016). Performance Comparison of Feature Selection Methods. *MATEC Web of Conferences*.
- [11] Gnanambal, S., Thangaraj, M., Meenatchi, V.T., Gayathri, V. (2018). Classification algorithms with attribute selection: an evaluation study using WEKA. *Int. J. Advanced Networking and Applications*, 9(6), 3640-3644.
- [12] Çavuşoğlu, Ü. ve Kaçar, S. (2019). Anormal Trafik Tespiti için Veri Madenciliği Algoritmalarının Performans Analizi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 205-216.
- [13] Zaffar, M., Hashmani, M.A., Savita, K.S. (2017). Performance analysis of feature selection algorithm for educational data mining. In: *IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA)*, 7(12).
- [14] Rosario, S.F. and Thangadurai, K. (2015). RELIEF: Feature selection approach, *International Journal of Innovative Research & Development*, 4(11), 218-224.
- [15] Zaffar, M., Savita, K.S., Hashmani, M.A., Rizvi, S. (2018). A study of feature selection algorithms for predicting students academic performance. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(5), 541-549.
- [16] Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques*. (3rd Edition). Waltham: Morgan Kaufmann.
- [17] Tan, P. N., Steinbach, M. and Kumar, V. (2006). *Introduction to data mining*. USA: Addison-Wesley.
- [18] Akşehirli, Ö., Ankaralı, H., Aydın, D., Saraçlı, Ö. (2013). Tıbbi tahminde alternatif bir yaklaşım: Destek vektör makineleri. *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 5(1), 19-28.
- [19] Hosmer, D.W., Lemeshow, S., Sturdivant, R.X. (2013). *Applied Logistic Regression*. (3rd Edition). John Wiley & Sons.
- [20] Giudici, P. (2003). *Applied data mining: Statistical methods for business and industry*. New York: J. Wiley.
- [21] Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*. (3.baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık.



# Experimental Investigation on the Effects of Internal Architecture on the Mechanical Properties of 3D Printed PLA Components

Cem Boğa<sup>1\*</sup>, Mirsadegh Seyedzavvar<sup>2</sup>, Burçak Zehir<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9467-1141), [cboga@atu.edu.tr](mailto:cboga@atu.edu.tr)

<sup>2</sup>Adana AlparslanTürkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3324-7689), [mseyedzavvar@atu.edu.tr](mailto:mseyedzavvar@atu.edu.tr)

<sup>3</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3143-2928), [burcakzehir07@gmail.com](mailto:burcakzehir07@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901012)

**ATIF/REFERENCE:** Boğa, C., Seyedzavvar, M., & Zehir, B. (2021). Experimental Investigation on the Effects of Internal Architecture on the Mechanical Properties of 3D Printed PLA Components. *European Journal of Science and Technology*, (24), 119-124.

## Abstract

3D printing technology is a method of fused deposition modeling (FDM) used in the aerospace industry, in light and complex structural modeling, manufacturing and prototyping of many medical tools. Polylactic acid (PLA) is used as a raw material in 3D printers due to its non-toxicity, biodegradability and easy manufacturability for industrial designs and medical applications. In this study, PLA samples were produced on a 3D printer at 70% constant filling ratio in four different filling types: line, triangle, hexagon and 3D infill. Tensile tests were performed on the samples in order to examine the effect of the filling type on the mechanical behavior. After the tests, mechanical properties of the samples such as modulus of elasticity, yield stress, maximum tensile stress and Poisson's ratio were determined. The results revealed that the filling type had significant influence on the mechanical properties of the FDM fabricated samples. It was shown that the triangle type of filling pattern in printing process yielded the highest strength to weight ratio of the fabricated sample and provided savings in raw material consumption.

**Keywords:** Polylactic acid (PLA), 3D printer, Filling types, Mechanical behavior, Tensile test

## 3 Boyutlu Basılı PLA Numunelerinin İç Mimarisinin Mekanik Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

### Öz

3D baskı teknolojisi, havacılık endüstrisinde, birçok tıbbi aletin hafif ve karmaşık yapısal modellenmesinde, üretiminde ve prototiplenmesinde kullanılan bir eriyik birikim modelleme (FDM) yöntemidir. Polilaktik asit (PLA), toksik olmaması, biyolojik olarak parçalanabilirliği, endüstriyel tasarımlar ve tıbbi uygulamalar için kolay üretilebilirliği nedeniyle 3D yazıcılarda hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada PLA numuneleri, 3 boyutlu yazıcıda %70 sabit doluluk oranında dört farklı dolgu tipinde üretildi: line, triangle, hexagon ve 3D infill. Dolgu tipinin mekanik davranışa etkisini incelemek için numuneler üzerinde çekme testleri yapılmıştır. Testlerin ardından numunelerin elastisite modülü, akma gerilmesi, maksimum çekme gerilmesi ve Poisson oranı gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar, doldurma tipinin FDM yöntemi ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Baskı sürecinde, üçgen tip dolgu deseninde imal edilen numunenin en yüksek mukavemet/ağırlık oranını verdiği ve hammadde tüketiminde tasarruf sağladığı görülmüştür.

\*Corresponding Author: [cboga@atu.edu.tr](mailto:cboga@atu.edu.tr)

**Anahtar Kelimeler:** Polilaktik asit (PLA), 3D yazıcı, Dolgu türleri, Mekanik Davranış, Çekme testi

## 1. Introduction

Fused deposition modeling (FDM) is an additive manufacturing (AM) method commonly used for the creation of three-dimensional solid objects by enabling computer-generated models to be converted cheaply, quickly and easily into physical parts. FDM stands out with its features such as being cheaper than other AM printing technologies, being easier to maintain and having lower hardware costs [1]. FDM technologies offer rapidly developing and promising solutions in many areas of healthcare. Polylactic acid (PLA) is a biodegradable and promising 3D printable aliphatic polymer and is widely used in many fields through its rich raw materials and ease of production. Besides the industrial designs, PLA is widely used in personal protective equipment (PPE) during the COVID-19 pandemic, many specific medical applications such as implants, orthopedic applications and tissue engineering instead of the petroleum-based polymers because of its non-toxic properties [2,3]. Biodegradable and non-harmful polymers support cell growth without damaging cell functions and have strong mechanical properties. Because of these properties, it especially encourages the use and development of the PLA polymer in tissue engineering and medicine for the formation of scaffolds and bone tissues [4]. Due to this feature of PLA, it can be used in the medical industry only if it can be produced in a solid form. The thermo-mechanical properties of printed PLA samples depend on many factors including the filling pattern, filling rate and molecular structure of the material [5]. In the literature, researchers have conducted a number of studies on process parameters to investigate the mechanical properties of PLA samples. Chacón et al. [6] conducted tensile and three-point bending experiments to investigate the effect of build orientation, layer thickness and feed rate on the mechanical performance of PLA samples produced in 3D printer. They found that the upright orientation had the lowest mechanical properties and ductility decreased as the layer thickness and feed rate increased. In addition, they said that the optimum mechanical performance value can be achieved with low layer thickness and high feed rate. Yao et al. [7] produced samples at 7 different printing angles such as 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, and three different printing layer thicknesses and examined the effect of these parameters on tensile strength. As a result, they observed that increasing the printing angle and decreasing the layer thickness increased the tensile strength in the samples. Murugan et al. [8] used Taguchi experimental design method to analyze the influence of parameters such as build orientation, filling ratio, extrusion temperature, layer height and printing speed on tensile strength, Young's modulus and printing time. They found that the PLA model created with the y-axis orientation of 45 degrees gives better mechanical properties. Rajpurohit and Dave [9] investigated the effects of raster angle,

layer height and raster width on tensile properties in 3D printer. They mentioned that the highest tensile strength was obtained for 0° raster angle. They found that the lower the layer height, the higher the tensile strength. They also reported that at the higher value of the raster width, the tensile strength improved to a certain extent. Camargo et al. [10] studied the mechanical properties of PLA-graphene material by producing samples of different filling ratios and layer thicknesses with 3D printing technology. As a result of their work, they stated that the mechanical properties would increase as the layer thickness increased. They stated that while mechanical properties such as tensile strength and bending strength increase as the filling ratio increases, the impact energy decreases. Khan et al. [11] made mechanical tests after producing samples with 3D printer using four different infill patterns, namely HoneyComb, HilbertCurve, Rectilinear and Concentric. They determined that the filling patterns affect the mechanical strength of the parts. After the experiments, they stated that the samples with the highest tensile and flexural strength were obtained with the Rectilinear filling pattern. Rodríguez-Panes et al. [12] investigated the effects of parameters such as layer height, filling ratio and layer orientation on the mechanical properties of PLA and ABS test specimens. They found that the percentage of filling in PLA samples is an important parameter affecting the results. They also stated that PLA samples have greater tensile strength compared to ABS. Travieso-Rodríguez et al. [13] used L27 Taguchi test sequence to find the effect of 6 parameters such as layer height, filament width, filling ratio, layer orientation, printing speed and infill pattern on the flexural strength of PLA samples. As a result, they determined that layer orientation was the most effective parameter, whereas filling density and infill pattern did not show a significant effect.

In this study, the effect of four different filling types, namely line, triangle, hexagon and 3D infill, on the mechanical behavior of PLA samples produced with a 70% constant filling ratio in a 3D printer was experimentally investigated. At the same time, mechanical properties such as yield stress, maximum tensile stress, modulus of elasticity and Poisson's ratio were obtained for these four different filling types. The strength to weight ratio has also been investigated to determine the filling type that yielded both highest strength and lowest material consumption.

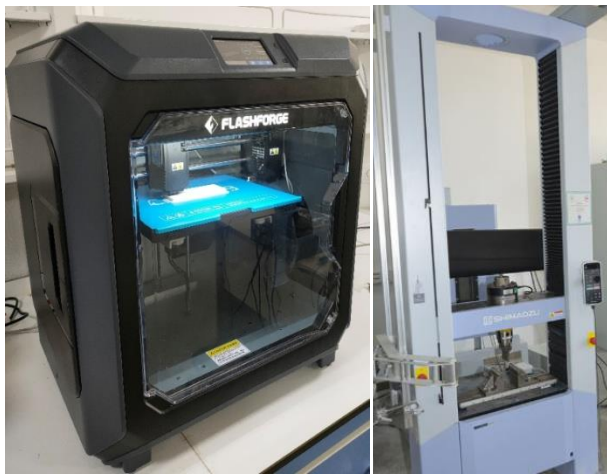
## 2. Material and Method

The tensile samples were produced using 1.75 mm diameter white PLA filament (Table 1), on a Flashforge Creator 3 FDM machine equipped with a 0.4 mm nozzle double extruder as shown in Figure 1a. Nozzle and bed temperatures were selected as 210 and 80 °C, respectively. In the 3D printing, the printing speed was selected as 50 mm/s and the travel speed as 70 mm/s.



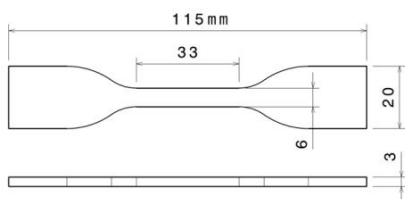
Table 1. Features of employed PLA filament.

Characteristics	Value
Color	White
Printing Temperature	190-220 °C
Density	1.25±0.05 g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Rate	5-7 gr/min (190 °C 2.16 kg)
Bubble	100% no bubble
Hydroscopicity	0.50%
Hotbed Temperature	50-80 °C (can be without hotbed)
Diameter	1.75 mm
Storage Temperature	<50 °C



a)

b)



c)

Figure 1. Experimental setup a) 3D Printer b) Shimadzu AGS-X 100 kN tensile testing machine c) Tensile test specimen.

For each filling type, 5 tensile samples were produced according to ASTM D638-14 [14] standard (Figure 1c). A total of 20 samples were produced for 4 different filling types, namely line, triangle, hexagon and 3D infill (Figure 2). The tensile tests were carried out on a Shimadzu AGS-X 100 kN tensile test machine with the constant displacement rate of 1 mm/min (Figure 1b).

All tests were carried out at room temperature. The mechanical properties of each filling type were determined by taking the

average of 5 tests. Some studies in the literature say that mechanical strength is directly proportional to the filling ratio [1, 15, 16]. It is obvious that the 100% filling ratio will increase the printing cost by increasing the raw material and production time.

In order to save both processing time and cost, a lower filler ratio was selected based on the results of trial tests. After such experiments, the optimum strength to weight ratio was obtained at 70% filling ratio, so the filling ratio was selected as 70% for the rest of the test samples with different filling types.



a)

b)

c)

d)

Figure 2. Filling types (a) line, (b) triangle, (c) hexagon, (d) 3D infill.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Effect of Internal Architecture on Mechanical Properties

The results of uniaxial tensile test experiments of samples fabricated in FFF process filling architecture, here called filing type, are provided and discussed in this section. The main purpose of such investigation is to examine the effects of different filling types on the yield, maximum tensile and failure stresses in 3D printed PLA samples. The stress-strain curves of such samples measured under displacement rate of 1mm/min are represented in Figure 3. The modulus of elasticity for each filling type was obtained by drawing a slope in the elastic region of the graph as in Figure 4. Also, the yield stress was determined using the 0.002 strain offset method as illustrated in Figure 4. The longitudinal and transverse deformations of the tensile test samples were measured using a digital extensometer. These data were employed

to calculate the Poisson's ratio of the samples according to Eq. (1).

$$\nu = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l} \quad (1)$$

where  $\nu$  is Poisson's ratio,  $\varepsilon_t$  is transverse strain (mm/mm) and  $\varepsilon_l$  is longitudinal or axial strain (mm/mm).

The calculated mechanical properties of the tensile test samples, including yield and ultimate strengths, modulus of elasticity and Poisson's ratio, for different filling types of 3D printed samples are summarized in Table 2. As shown in Figure 3, the triangle filling type represented the highest tensile strength compared to that of 3D infill, line and hexagon. Among these four filling types, hexagon type appears to have the lowest tensile strength value. It has been determined that the difference in tensile strength between triangle and hexagon is approximately 7.708 MPa. This result also means that the triangle type can tolerate 51.21% more loading than hexagon without failure.

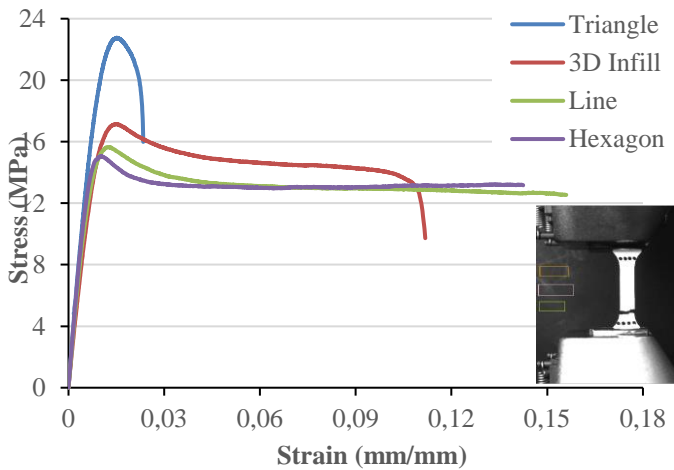


Figure 3. Comparison of tensile test results for 3D printed samples of different filling types.

From the stress-strain graph in Figure 3, it is seen that line and hexagon types have the highest failure strain values, while the line type is about 5.16% more ductile than the hexagon type. This shows that line type has the energy storage capability up to failure among different filling types. This result reveals that the line type printing pattern is more suitable for uniform distribution of applied load between the printed layers and therefore, absorption of higher strain energy before failure. For these four filling types, the modulus of elasticity values were obtained as 2, 2.3, 2.41 and 2.63 GPa for samples fabricated in FFF process using 3D infill, line, hexagon and triangle filling types, respectively. The difference between the strongest triangle and the weakest 3D infill is about 630 MPa. This indicates that the triangle filling type provides the highest elastic properties among other printing patterns of 3D printed samples. Also, the tensile samples with triangle filling type represented the highest strength without permanent deformation, or higher yield strength, among the samples fabricated by different filling patterns.

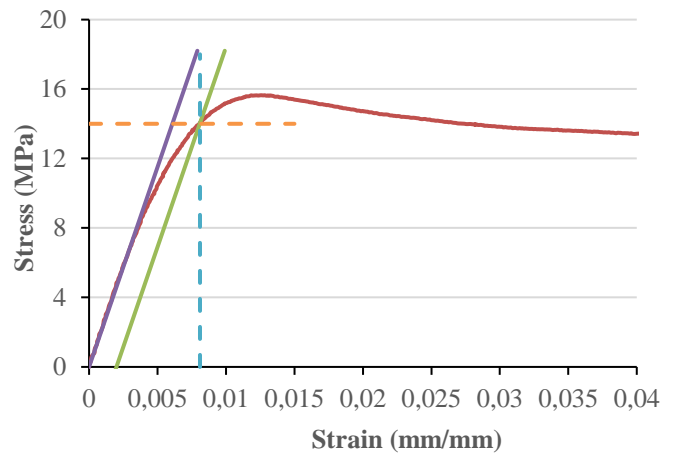


Figure 4. Representation of tangential line and 0.2% offset line on stress-strain curve to obtain mechanical properties.

Table 2. Mechanical properties of PLA samples according to internal architecture.

Materials	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Poisson's ratio
Line	14.0	15.64	2.3	0.213
Hexagon	14.7	15.05	2.41	0.124
Triangle	19.5	22.76	2.63	0.355
3D Infill	15.3	17.15	2.0	0.342

### 3.2. Effect of Internal Architecture on Strength/Weight Ratio

In order to further illustrate the effect of filling type on the mechanical behavior of 3D printing samples, it is also important to investigate the strength to weight ratio under any printing condition. The significance of latter mentioned parameter is more emphasized when the cost of printing components comes into account.

For this reason, the weight of each printed tensile sample has been measured using a digital balance with precision of 0.001 g and the sample of maximum weight has been selected as the reference sample to calculate the non-dimensional weight of each sample. Then the yield and ultimate strength of each tensile test sample has been divided to corresponding non-dimensional weight parameter to achieve the strength to weight ratio of each one these samples. The results of such

measurements are summarized in Table 3. Eqs. (2-4) summarizes the calculation procedure.

$$NW_i = \frac{W_i}{W_{max}} \quad (2)$$

$$NYS/W_i = \frac{\sigma_{y,i}}{NW_i} \quad (3)$$

$$NUS/W_i = \frac{\sigma_{u,i}}{NW_i} \quad (4)$$

Where  $NW_i$  is the non-dimensional weight of  $i^{th}$  tensile test sample,  $w_i$  is the weight of sample,  $w_{max}$  is the maximum measured value of weight of samples,  $i$  represents the filling types,  $NYS/W_i$  and  $NUS/W_i$  are the yield and ultimate strengths to non-dimensional weight,  $\sigma_{y,i}$  and  $\sigma_{u,i}$  are the yield and ultimate stresses of sample with  $i^{th}$  tensile test sample, respectively. According to the results given in Table 3, the sample with triangle filling type represented the maximum strength to weight ratio. This shows that the triangle type can be preferred for both strength and saving of raw material.

Table 3. Non-dimensional weight and strength to weight ratio of 3D printed tensile test samples of different filling types.

Filling Types	NW <sub>i</sub>	NYS/W <sub>i</sub>	NUS/W <sub>i</sub>
Triangle	1	19.5	22.759
Hexagon	0.9395	15.647	16.02
Line	0.9413	14.873	16.62
3D Infill	0.8541	17.914	20.083

According to the results given in Table 3, the sample with triangle filling type represented the maximum strength to weight ratio. This shows that the triangle type can be preferred for both strength and saving of raw material.

#### 4. Conclusions

In this study, experimental tests were carried out to determine the mechanical behavior of samples produced in FFF process at different filling types. The results obtained at the end of the research can be summarized as follows:

- First of all, it has been determined that the adjustment of the parameters of the 3D printer such as nozzle and table temperatures, printing speed, travel speed and filling ratio of the samples are extremely important for production of quality parts.
- The highest tensile strength value was seen in triangle filling type and the lowest was in hexagon filling type. The results showed that samples with triangle interior architecture exhibited better tensile strength than samples with hexagon filling pattern.
- It has been observed that the line filling type is more ductile and has the highest strain at failure value.
- Modulus of Elasticity, which is a measure of the stiffness of the materials, was maximum in triangle filling type among other filling architecture.
- Triangle filling type samples are both stronger compared to other filling types and provide savings in raw material consumption.

#### 5. Acknowledge

This article was supported by Adana Alparslan Turkes Science and Technology University Department of Scientific Research Projects with project number 20103002.

#### References

[1] Tanveer, M. Q., Haleem, A., & Suhaib, M. (2019). Effect of variable infill density on mechanical behaviour of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation. *SN Applied Sciences*, 1(12), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1744-1>

[2] DeStefano, V., Khan, S., & Tabada, A. (2020). Applications of PLA in modern medicine. *Engineered Regeneration*, 1, 76-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.08.002>

[3] Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews*, 107, 367-392. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>.

[4] Lopes, M. S., Jardim, A. L., & Maciel Filho, R. J. P. E. (2012). Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications. *Procedia Engineering*, 42, 1402-1413. doi: [10.1016/j.proeng.2012.07.534](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.534)

[5] Kwapisz, M., Bajor, T., Krakowiak, M., (2019). Analysis of strength changes of PLA samples made in 3D printing technology, 28th International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, CzechRepublic. doi: <https://doi.org/10.37904/metal.2019.963>

[6] 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 & Design*, 124,143-157 doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>.

[7] Yao, T., Ye, J., Deng, Z., Zhang, K., Ma, Y., & Ouyang, H. (2020). Tensile failure strength and separation angle of FDM 3D printing PLA material: Experimental and theoretical analyses. *Composites Part B: Engineering*, 188, 107894. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.107894>.

- [8] Murugan, R., Mitilesh, R. N., & Singamneni, S. (2019). Influence of process parameters on the mechanical behaviour and processing time of 3D printing. *Int J Mod Manuf Technol*, 1(1), 21-27.
- [9] Rajpurohit, S. R., & Dave, H. K. (2018). Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part. *Rapid Prototyping Journal*. doi: [10.1108/RPJ-06-2017-0134](https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2017-0134).
- [10] Camargo, J. C., Machado, Á. R., Almeida, E. C., & Silva, E. F. M. S. (2019). Mechanical properties of PLA-graphene filament for FDM 3D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(5), 2423-2443. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03532-5>
- [11] Khan, S. F., Zakaria, H., Chong, Y. L., Saad, M. A. M., & Basaruddin, K. (2018, September). Effect of infill on tensile and flexural strength of 3D printed PLA parts. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 429, No. 1, p. 012101). IOP Publishing. doi:[10.1088/1757-899X/429/1/012101](https://doi.org/10.1088/1757-899X/429/1/012101)
- [12] Rodríguez-Panes, A., Claver, J., & Camacho, A. M. (2018). The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis. *Materials*, 11(8), 1333. doi: <https://doi.org/10.3390/ma11081333>
- [13] Travieso-Rodríguez, J. A., Jerez-Mesa, R., Llumà, J., Traver-Ramos, O., Gomez-Gras, G., & Roa Rovira, J. J. (2019). Mechanical properties of 3D-printing polylactic acid parts subjected to bending stress and fatigue testing. *Materials*, 12(23), 3859. doi:[10.3390/ma12233859](https://doi.org/10.3390/ma12233859)
- [14] D638 – 14. Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- [15] Leite, M., Fernandes, J., Deus, A. M., Reis, L., & Vaz, M. F. (2018, May). Study of the influence of 3D printing parameters on the mechanical properties of PLA. In *3rd international conference on progress in additive manufacturing (Pro-AM 2018)*. doi:[10.25341/D4988C](https://doi.org/10.25341/D4988C)
- [16] Suteja, T. J., & Soesanti, A. (2020, July). Mechanical properties of 3D printed Polylactic acid product for various infill design parameters: A review. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1569, No. 4, p. 042010). IOP Publishing. doi:[10.1088/1742-6596/1569/4/042010](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042010)



# The Spy Next Door: A Digital Computer Analysis Approach for Backdoor Trojan Attack

Ilker Kara<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Cankırı Karatekin University, Department of Medical Services and Techniques, Eldivan Medical Services Vocational School, Cankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3700-4825), [karaikab@gmail.com](mailto:karaikab@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.897799)

**ATIF/REFERENCE:** Kara, I. (2021). The Spy Next Door: A Digital Computer Analysis Approach for Backdoor Trojan Attack. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 125-129.

## Abstract

Developments in internet-based technologies have some risks as well as their convenience. Attackers use the information they obtain by taking advantage of the user vulnerabilities and vulnerabilities in the information system for their interests. Although measures have been taken to prevent the number of victims of crimes committed in a cyber environment in recent years, the adequacy of the measures taken is still controversial. The attackers organize malware attacks especially to obtain users' secret information (social media password, banking information). Backdoor trojan malware is a type of cyber attack that tries to obtain unlimited authorization to obtain all user permissions in the system in which they infiltrate and delivers this information to the attacker. This study focused on the detection and analysis of the backdoor trojan malware. For this purpose real backdoor trojan malware case has been investigated in detail. The analysis results show that the information about the attacker is accessible.

**Keywords:** Digital forensic, Backdoor trojen, Malware analysis method.

## Kapımdaki Düşman: Arka Kapı Trojan Saldırıları için Adli Bilişim Analizi Yaklaşımı

### Öz

İnternet tabanlı teknolojilerinde yaşanan gelişmeler getirdiği kolaylıklarının yanı sıra bazı risklerinde barındırmaktadır. Saldırganlar bilişim sisteminde bulunan açıkları ve kullanıcı zafiyetlerinden faydalanarak ele geçirdikleri bilgileri kendi çıkarları için kullanmaktadır. Son yıllarda siber ortamda işlenen suç maruz kalan mağdur sayısını önlemek için tedbirler alınsa da alınan tedbirlerin yeterliliği halen tartışmalıdır. Saldırganlar, özellikle kullanıcıların gizli bilgilerini (Sosyal hesap parola, bankacılık bilgileri gibi) ele geçirmek için zararlı yazılımlar saldırıları düzenlemektedir. Arka kapı trojen zararlı yazılım saldırıları saldırıları son zamanlarda daha popüler hale gelmiştir. Arka kapı trojen zararlı yazılımları sızdırdıkları sistemde kullanıcıya fark ettirmeden tüm kullanıcı izinlerini almaya yönelik sınırsız yetki almaya çalışan ve ele geçirdiği bu bilgileri saldırganlara ulaştıran siber saldırı türüdür. Bu çalışmada arka kapı trojen zararlı yazılım saldırı tespiti ve analizi üzerine odaklanmıştır. Bu amaçla gerçek bir arka kapı trojen zararlı yazılım vakası detaylı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarından saldırganın ait bilgilerin ulaşılabilir olduğu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Adli bilişim, Arka kapı trojeni, Zararlı yazılım analiz metodu.

\* Corresponding Author: [karaikab@gmail.com](mailto:karaikab@gmail.com)

## 1. Introduction

Malware is malicious software designed to damage the system they target (such as slowing or disrupting their functions, collecting critical information) [1]. Viruses, Worms, Trojans, Spywares, Ransomware are evaluated within this scope [2]. Spyware has recently come to the fore as the types of malicious software that attackers frequently resort to. Concrete action is required to fight against this cyber threat [3]. In this fight, the necessary besides defining the thread, analyze detail the attack steps, methods, and activities in spyware during the attack. In the literature, it is seen that (1) static analysis and (2) dynamic analysis, and (3) Sandbox approaches are widely used for malware (Figure 1).

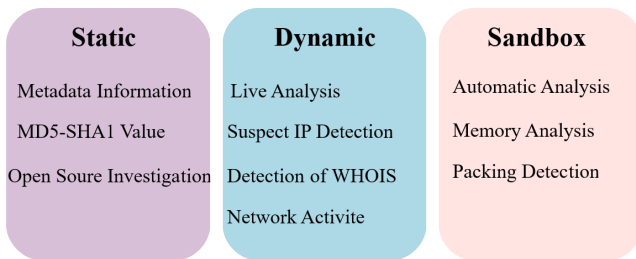


Figure 1. Commonly employed malicious software detection and analysis methods in the literature.

The static analysis includes the information that can be collected about the malware without executing it [4]. The information to be obtained by the static analysis method is extremely important and is relatively easier than other analysis types. By obtaining meta-data information, MD5 and SHA1 values of the malware, open-source research can be done about the malware. Web addresses specially designed for malicious software such as [www.virustotal.com](http://www.virustotal.com) can be searched from the library of many malware types that have been previously detected and analyzed. Static analysis results are also guiding in the analysis to be made in the future.

Dynamic analysis is the analysis approach that is usually done by running malware in a safe environment [5]. With the execution of malicious software codes, it enables the movement capability of the malware and code analysis in detail. Approaches such as Windows-Registry, memory dump analysis are used to understand the working principle of malware.

Sandbox analysis is software that can automatically perform static and dynamic analysis of malware and provide analysis reports. This approach includes weaknesses. After the attackers design the malicious software, they test them in the sandbox environment and develop many anti-sandbox techniques to prevent them from being caught [6]. This approach can be easily circumvented in current malware.

Backdoor Trojan attacks are one of the most threatening malware attacks in recent years. This malware, also called spyware, can be defined as malicious software designed by the attacker to capture the information that is considered confidential or confidential without the user's knowledge or permission. Spyware can be for the service of a government or a company, or it can be designed for ordinary users to gain benefits.

New methods are developing to fight against spyware. Moser ve ark. [7], investigated the disadvantages of the static analysis

methodology used in the analysis of malware. In studies, showed that static analysis alone is not enough to detect or classify malware. He/She also has claimed to be a necessary complement to static analysis in dynamic analysis of malware in a virtual machine environment, as it is less vulnerable to code cloaking transformation [8].

Engele et al., [9] suggested analysis programs to prevent trojan attacks and suspicious operations. The applicability of this method for trojan attacks is controversial, as it involves human factors and includes the possibility that malicious people can reach it. Gandotra et al., [10] has shown that machine learning techniques can be used to detect and classify new types of malware in behavior patterns obtained by static or dynamic analysis for trojans.

With all these in mind, in this study, we present an approach to contribute to the detection and analysis of backdoor Trojan malware attacks. This study mainly offers two contributions:

- The study focuses specifically on backdoor Trojan malware attacks and offers an approach that can be used in the detection and analysis of these attacks.
- The approach suggested in the study was selected as a real backdoor Trojan malware attack case and the results were evaluated by performing the attack detection and analysis.

This article has designed as described below: In section 2, we have reviewed some of the related studies. Section 3, (material and method), we have performed analysis and detection of real backdoor trojan malware. In the following section 4 evaluated the approach in the case. Lastly, section 5 completes the study and explains possible solution recommendations to fight against backdoor Trojan malware attack in the possible future.

## 2. Related Work

Although there is a work in the field of backdoor trojan malware detection and analysis in the literature, this section is briefly reviewed focusing on some of the important ones.

Moser et al [11] prepared a malware data set and examined the limits of analysis in order to prevent malware from infiltrating the victim system and preventing the activities of the user without being noticed. As a result of this study that more robust analysis techniques should be developed. Wang et al., worked on the mechanisms in the system that allow programs to be called automatically during the boot process of the operating system or when an application is started, by detecting and analyzing malicious software and tracing the malware.

Inoue et al., focused on providing internet access with malicious software with attackers and emphasized that controlling and blocking the traffic of this communication will contribute to the struggle [12]. Bayer et al. [13] showed that the detection and analysis of the malware can be done with analysis tools. Similarly, Bellard [14] examined using Windows Native API system service calls analysis tools besides Windows API functions.

### 3. Material and Method

In this section, backdoor trojan malware samples and introducing Workstation and analysis tools used in the analysis.

#### 3.1. Case Study Dataset

In the case studies, it is extremely important that the chosen case includes the subject exactly and, if possible, it is a real example that we encounter in daily life.

We collaborate with an information security company operating in accordance with Turkey as an example of such a case. This company has special employees and equipment that collects and analyzes different types of malware samples, and they shared a true backdoor Trojan malware case with us.

#### 3.2. Preparation of Analysis Environment

All analyses were performed on a Lenovo V530 Intel Core i7 8700 32GB 1TB + 512GB SSD brand workstation with Windows 10 Pro software. Analyses performed using “Process Monitor 3.60 (Free Version)”, “Autopsy 4.17.0 (Free Version)” and “Wireshark 3.5.0.” tools. An example is a real cyberattack and forensic case because for this reason some of the information is hidden.

#### 3.3. Case Study

In the example examined, it was seen that a message was sent from the victim's social media accounts to request money from groups of victim's friends without the victim's knowledge, and the banking applications stored on his computer were blocked due to incorrect attempts. Therefore, the victim made a legal application to have the victim's computer examined

For this purpose, the image copy of the victim's computer in E01 format has been investigated in the workstation with the program Autopsy 4.17.0 (Free Version). Internet records belonging to the date of 27.02.2021, which is the date of suspicious transactions, were examined from the statements of the victim. As a result of this examination, it showed suspicious file which name is “Dwordv3.exe” has been downloaded.

Examinations have been focused on the file named “Dwordv3.exe”, from www.virustotal.com (Figure 2).



Figure 2. Screen capture of the suspicious file named “Dwordv3.exe” showing www.virustotal.com query.

“File-Directory”, “Windows Registry”, Autopsy and “Process” tools used for the static analysis and the tool named Process Monitor used for the actions were performed of the suspicious file named “Dwordv3.exe”.

Table 1. File-directory and registry logs of "Dwordv3.exe" malware.

Process	Process Process Activity
Creates	C:\Users\Admin
Creates	C:\Users\Admin\AppData\Roaming
Creates	C:\Users\Admin\AppData\Roaming\run.dat
Creates	C:\Users\Admin\AppData\Local\Temp\tmp6F5.tmp
Creates	C:\Users\Admin\AppData\Roaming\PasswordLogon
Creates	C:\Users\Admin\AppData\RoamingLogonAdmin
Writes	C:\Users\Admin\AppData\Roaming\run.dat

Table 2. Windows and registry activity of "Dwordv3.exe" malware.

Process	Process Process Activity
Creates key	HKLM\software\microsoft\fusion\gacchangenotification\default
Creates key	HKLM\system\currentcontrolset\services\tcpip\parameters
Creates key	HKLM\software\microsoft\windows\currentversion\run\dhcp service
Sets/Creates value	HKLM\software\microsoft\fusion\gacchangenotification\default

Table 3. Process activity of "Dwordv3.exe" malware.

Process	Process Process Activity
Creates process	C:\Windows\temp\Dwordv3.exe ["C:\windows\temp\Dwordv3.exe"]
Creates process	C:\Windows\system32\schtasks.exe["schtasks.exe"/create/ff/tn"DHCPService"/xml "C:\Users\Admin\AppData\Local\Temp\tmp55A.tmp"]
Creates process	C:\Windows\system32\schtasks.exe"schtasks.exe"/create/ff/tn"DHCPServiceTask"/xml "C:\Users\Admin\AppData\Local\Temp\tmp6F5.tmp"]
Creates process	C:\Windows\System32\schtasks.exe
Creates process	C:\Windows\temp\Dwordv3.exe ["C:\windows\temp\Dwordv3.exe"]
Terminates process:	C:\Windows\system32\schtasks.exe["schtasks.exe"/create/ff/tn"DHCPService"/xml "C:\Users\Admin\AppData\Local\Temp\tmp55A.tmp"]

As can be seen in Table 1, when the "Dwordv3.exe" file-directory movements are examined, the malware first creates itself in the temp folder under Windows. Then it logon the registered accounts in the system with “Password” and executes the malware with the “run” command. After the examination of the Windows Registry actions, it was seen the DHCP service command has run. DHCP service is designed for providing an IP address to computers that do not have a disc. When Process

Actions are examined, it is seen that the malware created and executed a file as "schtasks.exe" under the Windows \ system32 folder after creating itself in the temp file. This result is showing that "Dwordv3.exe" backdoor trojan malware is structured as packaged. Malware packaging is made to add malicious software codes to a file that seems harmless at first glance to circumvent existing security systems. "schtasks.exe" file accessed to DHCP service has been observed.

After the detection of process actions, file folder, and Windows-registry, "Wireshark" tool has been used for dynamic analysis. Wireshark tools have analyzed the network traffic in order to detect the IP address of the system that belongs to this malware (Figure 3).

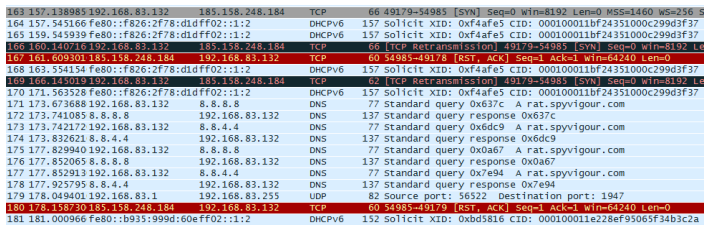


Figure 3. screenshot of the network actions belong to the malware named "Dwordv3.exe".

After detecting that the malware communicated with the IP address "185.158.248.XXX" and the domain name "rat.spyxxxxx.com", the WHOIS queries for the relevant domain name and IP address were made on the www.domaintools.com web page, and the screenshot of the query It can be seen in Figure 4.

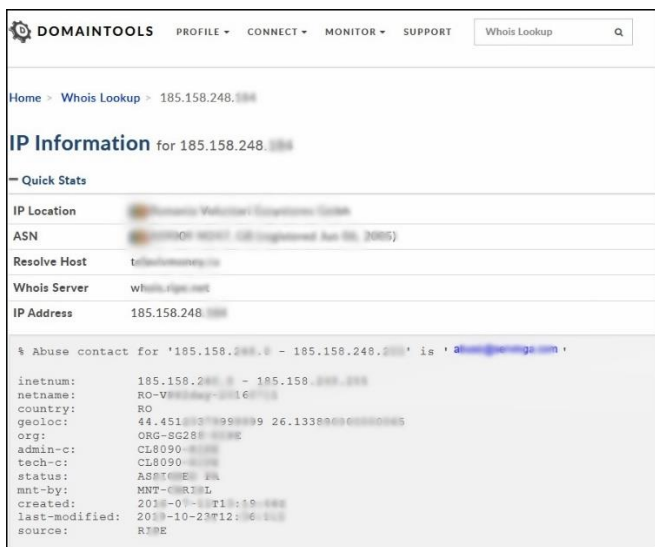


Figure 4. Screenshot of WHOIS query for IP address "185.158.248.XXX".

As the result of the query, it was seen that the information about the attacker could be reached.

### 4. Discussion

The case that we consider as a take backdoor trojan malware case in this study is named as a real case study analysis. The example of the backdoor Trojan malware case under investigation is called the popular type of cyberattacks designed to capture confidential information stored in the victim system.

From the analysis results, (1) this used example of backdoor trojan malware case detection and analysis (2) offers two important advantages, such as accessing information about the attacker. On the other hand, backdoor trojan malware case analysis has some difficulties. Since it can use different designs in each attack, it is similar to other attack examples, but the detection and analysis approach may vary according to the case. For this reason, case studies contribute greatly to the fight against this crime.

We believe that the approach proposed in this study needs to be reinforced and repeated with more current examples to support it.

### 5. Conclusion

In this study, we conducted a study involving a real case study for backdoor trojan malware attack detection and analysis. Moreover, it showed that information about the attacker could be reached from the analysis results. With the approach used in the study, it has been seen that it can be a suitable method that can be used especially in backdoor Trojan malware attack detection and analysis.

Finally, we believe the study will raise awareness in the fight against malware. As a future study, we plan to investigate backdoor trojan malware attack detection and analysis with different sample data sets.

### References

- [1] Kara, I. (2019). A basic malware analysis method. Computer Fraud & Security, 2019(6), 11-19.
- [2] Kara, I. (2020). Security Risks and Safeguard Measures in Social Media Usage. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10-15.
- [3] Anderson, B., Quist, D., Neil, J., Storlie, C., & Lane, T. (2011). Graph-based malware detection using dynamic analysis. Journal in computer Virology, 7(4), 247-258.
- [4] Kara, I. (2015). Türkiye De Zararli Yazilimlarla Mucadelenin Uygulama Ve Hukuki Boyutunun Deglendirilmesi. Akademik Bakis Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (52), 87-98.
- [5] Talukder, S., & Talukder, Z. (2020). A survey on malware detection and analysis tools. International Journal of Network Security & Its Applications, 12(2).
- [6] Pandey, A., Tripathi, A., Alenezi, M., & Khan, A. K. (2020). Framework for producing effective efficient secure code through malware analysis. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(2), 497-503.
- [7] Paul, K. I., & Moser, K. (2009). Unemployment impairs mental health: Meta-analyses. Journal of Vocational behavior, 74(3), 264-282.
- [8] Bermejo Higuera, J., Abad Aramburu, C., Bermejo Higuera, J. R., Sicilia Urban, M. A., & Sicilia Montalvo, J. A. (2020). Systematic Approach to Malware Yalysis (SAMA). Applied Sciences, 10(4), 1360.
- [9] Egele, M., Scholte, T., Kirda, E., & Kruegel, C. (2008). A survey on automated dynamic malware-analysis techniques and tools. ACM computing surveys (CSUR), 44(2), 1-42.
- [10] Gandotra, E., Bansal, D., & Sofat, S. (2014). Malware analysis and classification: A survey. Journal of Information Security, 2014.



- [11] Moser, A., Kruegel, C., & Kirda, E. (2007, December). Limits of static analysis for malware detection. In Twenty-Third Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC 2007) (pp. 421-430). IEEE.
- [12] Inoue, D., Yoshioka, K., Eto, M., Hoshizawa, Y., & Nakao, K. (2008, May). Malware behavior analysis in isolated miniature network for revealing malware's network activity. In 2008 IEEE International Conference on Communications (pp. 1715-1721). IEEE.
- [13] Bayer, U., Moser, A., Kruegel, C., & Kirda, E. (2006). Dynamic analysis of malicious code. *Journal in Computer Virology*, 2(1), 67-77.
- [14] Fabrice, B. (2005, June). Qemu, a fast and portable dynamic translator. In USENIX2005Annual Technical Conference, FREENIX Track.



# Detection and Classification of Leucocyte Types in Histological Blood Tissue Images Using Deep Learning Approach

Kübra Uyar<sup>1\*</sup>, Şakir Taşdemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5345-3319), [kubrayar@selcuk.edu.tr](mailto:kubrayar@selcuk.edu.tr)

<sup>2</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2433-246X), [stasdemir@selcuk.edu.tr](mailto:stasdemir@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901693)

**ATIF/REFERENCE:** Uyar, K., Taşdemir, Ş. (2021). Detection and Classification of Leucocyte Types in Histological Blood Tissue Images Using Deep Learning Approach. *European Journal of Science and Technology*, (24), 130-137.

## Abstract

The identification of leucocyte, also named white blood cells, types in histological blood tissue images is significant because it enables an opportunity for the diagnosis of various hematological diseases. In this study, for the diagnosis of lymphoma cancer, a hematologic disorder, we presented automatic detection and classification model using a deep learning approach. Faster R-CNN, which is a kind of region-based Convolutional Neural Network (CNN) model, achieves satisfactory performance on object detection and classification problems. To dispose of the feature extraction process in image-based applications, we offer a ResNet50 modified Faster R-CNN model for the detection and classification of leucocyte types which are lymphocyte, monocyte, basophil, eosinophil, and neutrophil in histological blood tissue images. In parallel with this purpose, a novel Faster R-CNN object detection model was designed by modifying ResNet50 model and the locations of leucocytes in the image were determined and classified. The efficiency of the proposed model was tested on a novel histological dataset including blood tissue images. The number of lymphocytes in the blood tissue is used as an evaluation criterion in the diagnosis of lymphoma cancer. Therefore, this study sets an example for clinical studies. According to the proposed model, firstly, the blood tissue images are normalized, and the implicit features are extracted by using the trainable convolution kernel. Then, for the reduction of the extracted implicit features, the maximum pooling is applied. After that, Region Proposal Networks (RPNs) are used to generate high-quality region proposals, which are used by Faster R-CNN for detection. Finally, the softmax classifier and regression layer are carried out to categorize the leucocyte types and estimate the boundary boxes of the test samples, respectively. Experimental results show the successful performance and the generalization capability of novel Faster R-CNN for the detection and classification of leucocyte types. This model demonstrates the potential to be deployed as a diagnostic tool for clinical studies because the method has been tested on a real-world histological data set.

**Keywords:** Artificial intelligence, Blood tissue, Classification, CNN, Detection, Faster R-CNN, Leucocyte types, Lymphoma cancer.

## Derin Öğrenme Yaklaşımı ile Histolojik Kan Doku Görüntülerinde Lökosit Türlerinin Tespiti ve Sınıflandırılması

### Öz

Histolojik kan dokusu görüntülerinde beyaz kan hücreleri olarak da bilinen lökosit türlerinin belirlenmesi, çeşitli hematolojik hastalıkların teşhisine olanak sağlaması açısından önemlidir. Bu çalışmada, hematolojik bir bozukluk olan lenfoma kanserinin teşhisi için derin öğrenme yaklaşımı kullanarak otomatik tespit ve sınıflandırma modeli sunulmuştur. Bir tür bölge tabanlı Konvolüsyonel Sinir Ağı (KSA) modeli olan Faster R-CNN nesne tespiti ve sınıflandırma problemlerinde tatmin edici performans elde etmektedir. Görüntü tabanlı uygulamalarda özellik çıkarma sürecini ortadan kaldırmak için, lenfosit, monosit, bazofil, eozinofil ve nötrofil olan lökosit

\* Corresponding Author: [kubrayar@selcuk.edu.tr](mailto:kubrayar@selcuk.edu.tr)

türlerinin tespiti ve sınıflandırılması için ResNet50 ile modifiye edilmiş Faster R-CNN modeli önerilmiştir. Bu amaçla, ResNet50 modeli modifiye edilerek yeni bir Faster R-CNN nesne tespit modeli tasarlanmış ve görüntüdeki lökositlerin yerleri belirlenerek sınıflandırılmıştır. Önerilen modelin etkinliği, kan dokusu görüntülerini içeren yeni bir histolojik veri seti üzerinde test edilmiştir. Kan dokusundaki lenfosit sayısı, lenfoma kanseri tanısında değerlendirme kriteri olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışma klinik çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Önerilen modele göre, öncelikle kan dokusu görüntüleri normalize edilir ve eğitilebilir konvolüsyon çekirdeği kullanılarak örtük özellikler çıkarılır. Ardından, örtük unsurların boyutlarının azaltılması için maksimum havuzlama uygulanır. Bundan sonra, Bölge Teklif Ağları (BTA'ler), tespit için Faster R-CNN tarafından kullanılan, yüksek kaliteli bölge önerileri oluşturmak için kullanılır. Son olarak, softmax sınıflandırıcı ve regresyon katmanı, sırasıyla lökosit türlerini kategorize etmek ve test örneklerinin sınır kutularını tahmin etmek için kullanılır. Deneysel sonuçlar lökosit türlerinin tespiti ve sınıflandırılması için yeni Faster R-CNN'nin başarılı performansını ve genelleştirme yeteneğini göstermektedir. Bu model klinik çalışmalar için bir teşhis aracı olarak kullanılma potansiyelini göstermektedir çünkü yöntem gerçek dünya histolojik veri setinde test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay zekâ, Kan doku, Sınıflandırma, CNN, Tespit, Faster R-CNN, Lökosit türleri, Lenfoma kanseri.

## 1. Introduction

The processing and analysis of biomedical images and the development of automated detection systems that can interpret the markings on these images have taken attention of the medical professionals. The biggest challenge among them is how to make sure about efficiency and how to handle satisfactory detection systems. In the medical image analysis field, it is not possible to process and analyze a huge amount of data manually, because the large volume of data results in time-consuming and job performance losses for experts. Deep Learning (DL) has an effective performance on classification and recognition systems due to its intense feature extraction ability. Deep CNNs, one of the DL methods, have commanded many tasks in computer vision applications. For object detection, region-based CNN (R-CNN) detection methods are such a rapidly developing area that three generations of region-based CNN detection models, from R-CNN to Faster R-CNN. These models provide more accurate results and faster processing speed in classification and detection problems. The main purpose of this study is to develop a blood smear image-based system to help diagnose hematologic diseases. For this, a system has been developed that can determine the location and number of white blood cells on the histological blood tissue images.

When the literature is reviewed, there are some histological blood tissue image analysis studies. Subsequent to this paragraph, some studies and their details are explained. Nazlibilek et. al (Nazlibilek et al., 2014) developed a system that counts the white blood cells automatically, determines their sizes exactly, and categorizes them into five leucocyte types. They aimed to help for diagnosing diseases with this system. Wang et. al (Wang et al., 2016) applied mathematical morphology-based methods and supervised method to extract spatial information and employ spectral analysis, respectively. They experimented that leucocytes can be segmented and categorized into five types with an overall accuracy of more than 90%. Shahin et. al (Shahin, Guo, Amin, & Sharawi, 2019) proposed a novel identification system for white blood cells based on deep convolutional neural networks. Two methodologies depending upon transfer learning are followed: transfer learning based on deep activation features and fine-tuning of available deep networks. Using several pre-trained networks, deep activation features are obtained and employed in a traditional identification system. Additionally, a novel end-to-end convolutional deep architecture called "WBCsNet" is suggested and built from scratch. Hegde et. al (Hegde, Prasad, Hebbar, & Singh, 2019) demonstrated the classification of six leucocyte types. They provided the comparison of the traditional image processing approach and deep learning methods for the classification of white blood cells. Gupta et. al (Gupta, Arora,

Agrawal, Khanna, & de Albuquerque, 2019) proposed an enhanced version of the original Binary Bat Algorithm for the classification of different types of leucocytes. They implemented the proposed algorithm using four different classifiers which are K-nearest neighbors (KNN), Logistic Regression, Random Forest, and Decision Tree. López-Puigdollers et. al (López-Puigdollers, Javier Traver, & Pla, 2019) characterized the histological blood tissue images with the well-known visual bag-of-words approach. In their study, three fundamental point detectors and five regular sampling strategies were examined and compared. Patil et. al (Patil, Patil, & Birajdar, 2020) developed a new approach named Canonical Correlation Analysis (CCA). They claim the idea that the CCA method views the effects of overlapping nuclei where multiple nuclei patches are extracted, learned, and trained at a time. Due to the overlapping of blood cell images, the execution time is minimized, the dimension of input images gets compressed, and the network converges faster with more accurate weight parameters. Di Ruberto et. al (Di Ruberto, Loddo, & Putzu, 2020) suggested a novel and efficient method for detecting and quantifying microscopic red and white blood cells. The system is based on a region-based approach called Edge Boxes. They claimed that millions of candidate boxes are evaluated in an instant, providing a sorted list of a few thousand highest ranked and scored proposals. Anita and Yadav (Anita & Yadav, 2021) designed a complete automatic detection algorithm to recognize the leucocytes using artificial intelligence.

This study provides a novel ResNet50 modified Faster R-CNN model for both the detection and classification of leucocyte types. In addition to this, the number of leucocytes in the test image can be determined. This model demonstrates the potential to be deployed as a diagnostic tool for clinical studies because the method has been tested on a real-world histological dataset.

The complete structure of the paper is as follows. Section 2 describes the material and methods of the study. Section 3 represents experimental results and discussion of the study. Conclusions and recommendations are summarized in Section 4.

## 2. Material and Method

### 2.1. Deep Learning

The successful performance of DL has enabled the solution of various state-of-arts problems. DL methods are CNN, Recurrent Neural Network (RNN), Restricted Boltzman Machines (RBM), Long-Short Term Memory Networks (LSTM), and deep autoencoders (DAE). It is significant to determine the suitable DL method depending on the problem at hand. For example, RNN is used to solve time-dependent problems, while CNN is generally used for image-based applications.

### 2.1.1. CNN

CNNs are a kind of deep artificial neural network created using a multi-layered artificial neural structure with deep layers. It learns the features on the image along with the layers without requiring any preliminary feature extraction. The structure of CNN can be divided into two parts in general: feature learning and classification. The first part is formed by the succession of the input layer, the convolution layer, the activation layer, and the pooling layer. After the first part, the classification layer is in the second part. Fully-connected layer, dropout, and softmax are the basic layers in this section. In summary; the filters are shifted through the image and convolution operation is applied in the convolution layers. Feature maps, that is the output of the convolution layer, are passed to the activation function. Dimension reduction is performed on the pooling layer. In the fully-connected layer, the data in the preceding layer is organized as a one-dimensional matrix and each neuron is connected to the next neuron. Finally, the classification is performed in the classification layer.

### 2.1.2. Region-Based CNN

Significant improvement in image-based application due to CNN, faster and more accurate region-based classification and detection approaches such as R-CNN, Fast R-CNN, and Faster R-CNN have been developed. The main idea of these methods is that they attain the candidate region, and then classify and draw the borders for the candidate area. A summary of information on R-CNN and its variants is presented as follows:

*R-CNN (Girshick, Donahue, Darrell, & Malik, 2014)*: This is the first region-based CNN model for the detection and classification of the object. The regions where objects may exist are discovered through a selective search algorithm and some candidate boxes are extracted to determine the boundary of the objects. After that, the features of each box are extracted with designed CNN. Classification is carried out using extracted features with the classifier.

*Fast R-CNN (Girshick, 2015)*: Contrary to R-CNN, Fast R-CNN runs the neural network once on the entire image. Region of Interest (RoI) pooling layer slices out RoI from the output of the network, reshapes it and classifies it. Fast R-CNN operates a selective search algorithm to generate its region proposals.

*Faster R-CNN (Ren, He, Girshick, & Sun, 2015)*: Region Proposal Network (RPN) and Fast R-CNN are the main parts of the model. Firstly, the convolution and pooling operations are applied to obtain image features. Feature maps are transferred to the RPN to perform preliminary border regression and classification and the candidate frame is determined whether it is the background or the object. The RPN gives the position and score information of the candidate frames. Then, a fully-connected layer forwards it to the Fast R-CNN. Finally, the final regression of the frame and the specific object categorization is performed.

All R-CNN models, except Faster R-CNN, use a selective search algorithm that is a slow and time-consuming process. Therefore, it affects the performance of the network to find out the region proposals. Instead of using a selective search algorithm on the feature map to identify the region proposals, a CNN model is used to predict the region proposals. For this study, ResNet50 model was tested as CNN model. The predicted region proposals are then reshaped using a RoI pooling layer.

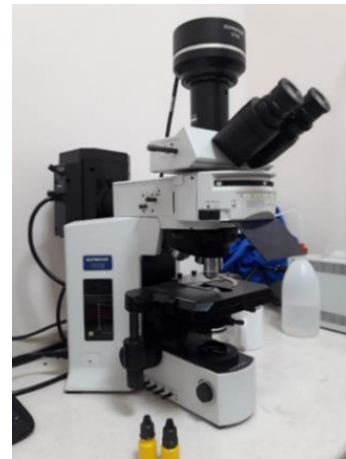
For this study, a novel Faster R-CNN model was designed and used in the experimental studies for classification with detection.

## 2.2. Dataset

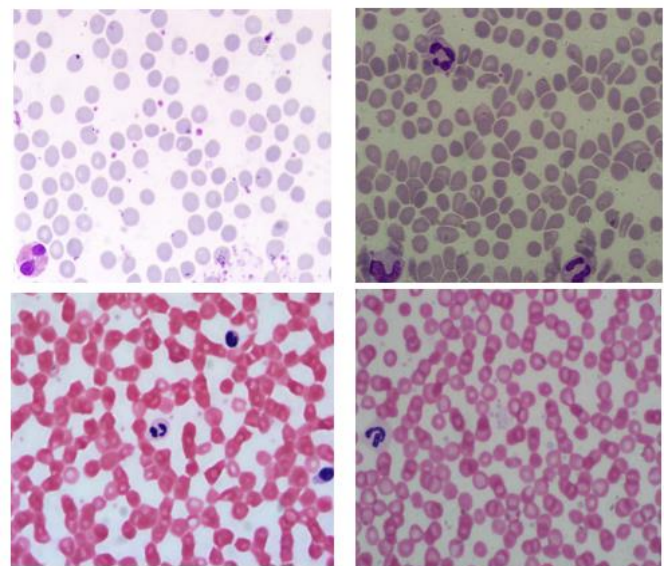
In this study, a novel histological blood dataset was created for the classification and detection task. Histological blood tissue images were transferred to the digital environment at different magnification ratios by using preparations and optical microscopy. The Olympus DP72 camera, as shown in Fig. 1, and the DP2-BSW program was used to take pictures at different magnifications. Sample images of the blood tissues are illustrated in Fig. 2.

The ethics committee report for the experimental studies was taken from the Faculty of Medicine at Selcuk University with the date and number 26.09.2019 and 2019/175 respectively.

As a dataset, 1336 blood tissue images were obtained. Finally, the dataset was separated into training and test set of the classification and detection task.



**Fig. 1.** OLYMPUS BX51 light microscope used in the process of data preparation.



**Fig. 2.** Histological view of blood tissues with different magnifications.

### 2.3. Performance Measures

The success of the proposed model is calculated by the number of accurate estimates across all estimates. However, this information only gives classification accuracy and more performance measures are needed. To determine whether the proposed model is effective enough, a confusion matrix is preferred, which is a table that is often used to describe the performance of the classification model. The measures obtained using the confusion matrix are accuracy, precision, recall, and f1 score. Besides, cross-validation is a method used to increase the validity of the results. Cross-validation randomly separates the dataset into a specified number of identical size sets. After assuming one of the subsets as a test set, the system is trained with the remaining subsets. The processes are repeated until all subsets are tested in the system and the results obtained from these processes are generalized. As shown in Fig. 3, in this study, 5-fold cross-validation was used for the classification task.

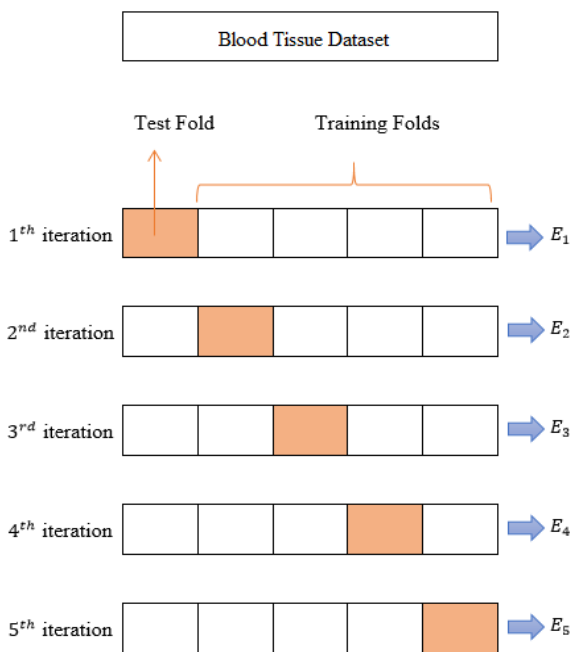


Fig. 3. An example of 5-fold cross-validation.

### 2.4. ResNet50 Model

ResNet (He, Zhang, Ren, & Sun, 2016) is a CNN model deeper than all models designed before it. ResNet, which contains a different logic than its predecessors, where network models are beginning to deepen; is formed by adding the residual block to the model, which feeds residual values to the next layers. With this feature, ResNet has a different structure than classical CNN models such as AlexNet(Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012) and VGG(Simonyan & Zisserman, 2014) created by adding standard layers consecutively. ResNet18, ResNet50, and ResNet101 are different variants of ResNet. Generally, this architecture consists of residual blocks as seen in Fig. 4.

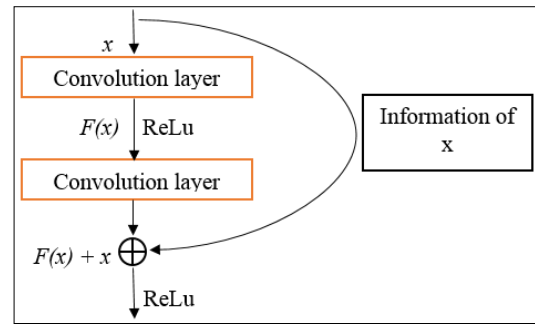


Fig. 4. The general structure of residual blocks.

In the residual block,  $F(x)$  result is obtained after the convolution-ReLu-convolution series of the input  $x$ . This result is then added to the original input  $x$ , and this operation is expressed as  $H(x) = F(x) + x$ . The proposed and designed Faster R-CNN model for object detection and classification was created by modifying the ResNet50 model.

## 3. Results and Discussion

Detailed information about experimental results was presented in this section. The primary motivation of this study is to find an effective model that can explicitly detect and classify leucocyte types in the blood tissue images into the class they belong to lymphocytes or others. To perform this task, a novel ResNet50 modified Faster R-CNN model was designed. The proposed model was tested with 5-fold cross-validation. Detailed information about this study is explained as follows.

### 3.1. Training Parameters

The training parameters of the proposed ResNet50 modified Faster R-CNN model are given in Table 1. The training was terminated after 50 epochs without overfitting the network. The drop factor is 0.9, the drop period is 5, the initial learning rate is 0.001, and the minibatch size is 4. Stochastic Gradient Descent with Momentum (SGDM) optimization algorithm was used in the training process.

Table 1. Parameter values in the training phase of the novel ResNet50 modified Faster R-CNN model.

Parameter	Value
Drop factor	0.9
Drop period	5
Execution environment	Multi GPU
Initial learning rate	0.001
Maximum epoch	50
Minibatch size	4
Optimizer	SGDM

### 3.2. Execution Environment

The training and testing were carried out on a computer with the following specifications: Intel Core i9-10920-X 3.50GHz processor, 128 GB of RAM, and four GeForce RTX 2080Ti graphic cards. The proposed region-based model was implemented on Matlab2020b using Deep Learning Toolbox.

### 3.3. Detection and Classification of Leucocyte Types

Lymphoma is cancer that starts in the infection-fighting cells of the immune system called lymphocytes and is the result of the uncontrolled growth of these cells. All lymphoma types grow at

different rates and give various reactions to treatment. The number of lymphocytes in the blood tissue can be evaluated as a preliminary clinical study in the detection of this cancer. Sample images of leucocyte types are shown in Fig. 5.

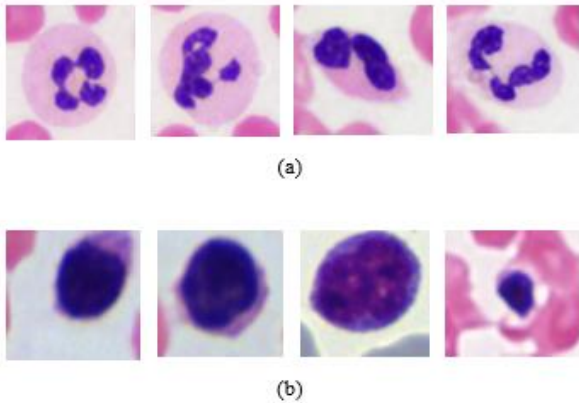


Fig. 5. Leucocyte types (a) Others, (b) Lymphocytes.

### 3.4. Experimental Results

In this study, detection and classification of leucocytes in the blood tissue images were carried out using the proposed ResNet50 modified Faster R-CNN model.

In the histological blood tissue images dataset, there is 1336 image with different magnification ratios. The original image size is 680x512x3 and has been resized depending on the designed CNN architecture. Table 2 lists the dataset with the number of images. At the step of training and test data determination, since 5-fold cross-validation was used, 267 images were separated for testing. After the data were separated into training and test data, both training and test data were shuffled in itself.

Table 2. The dataset with the number of images.

Number of samples in the dataset	Number of training samples	Number of test samples
1336	1069	267

The proposed Faster R-CNN model was obtained by transforming the pre-trained ResNet50 model into a Faster R-CNN object detection model. In order to design a region-based CNN model, RoI pooling layer, bounding box regression layer,

and RPN are embedded in the ResNet50. Fig. 6 illustrates the designed ResNet50 modified Faster R-CNN model with layers.

The Matlab implementation details of the proposed ResNet50 modified Faster R-CNN model can be explained as follows:

1. The pre-trained ResNet50 model is loaded and the last three layers are removed. In addition to this, the number of classes the network should classify depending on the problem at hand is specified.
2. New classification layers are defined and they are added/connected to the network.
3. The number of outputs of the fully-connected layer is defined.
4. The box regression layers are generated and these layers are added to the network.
5. The regression layer is connected to the “avg\_pool” layer.
6. Depending on the selected pre-trained CNN model, the feature extraction layer is determined. For ResNet50 model, feature extraction layer is “activation\_40\_relu”.
7. The layers appended to the selected feature extraction layer are disconnected.
8. RoI max-pooling layer is added and the feature extraction layer is connected to RoI max-pooling layer.
9. The output of the RoI max-pool is connected to the disconnected layers from above.
10. The anchor boxes are identified and the region proposal layer is generated.
11. The convolution layers for RPN are added and they are connected to the feature extraction layer.
12. The RPN classification output layers are added.
13. The classification layers are connected to the RPN.
14. RPN regression output layers are added.
15. The regression layers are connected to the RPN.
16. The classification and regression feature maps are connected to the Region Proposal layer inputs.
17. RoI pooling layer is connected to the region proposal layer output.

ResNet50 model that extracts features with high accuracy was modified. Root mean square error (RMSE) values of the ResNet50 model in the parts of the RPN are illustrated in Fig. 7. Average training accuracy and average training loss values during training are shown in Fig. 8 and Fig. 9 respectively.

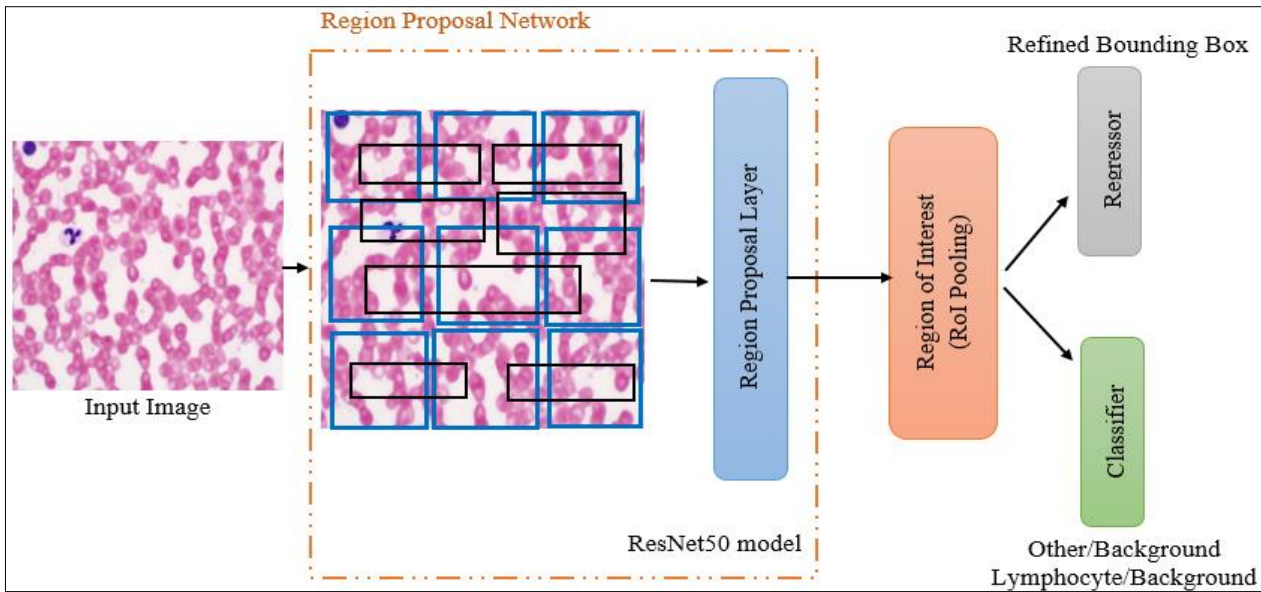


Fig. 6. Simulation of designed Faster R-CNN model structure with layers for detection and classification.

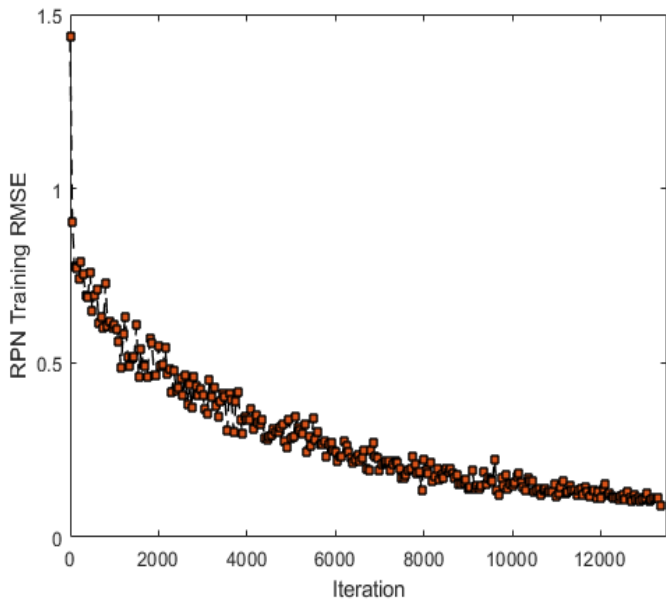


Fig. 7. RPN RMSE values during the training process.

Fig. 8. Average accuracy during the training process.

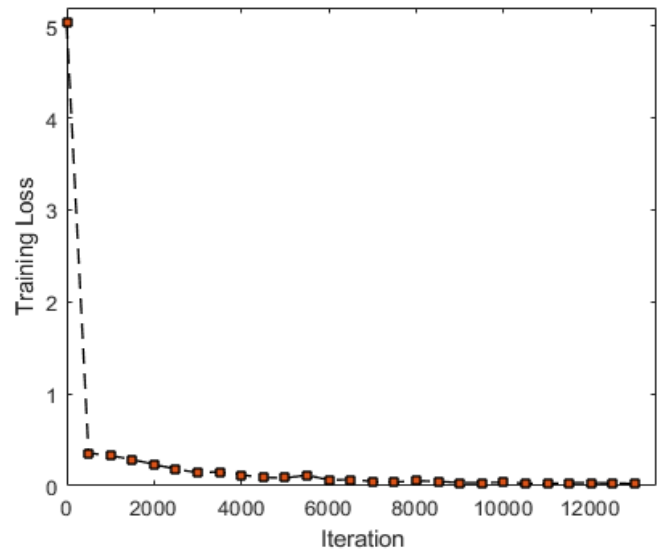
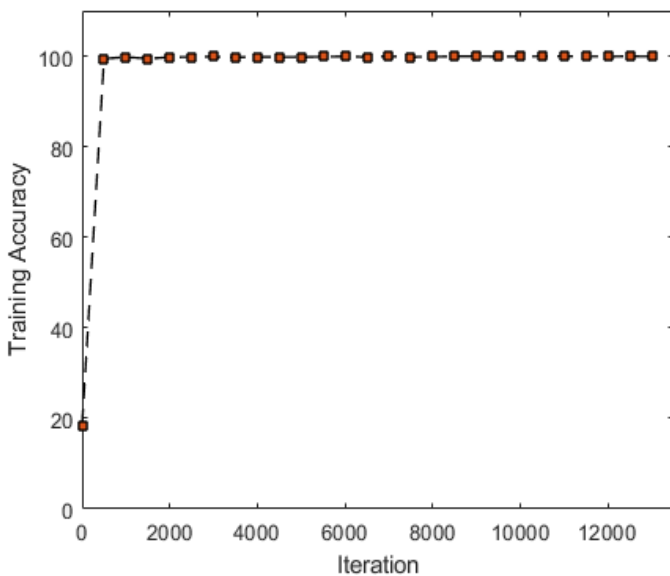


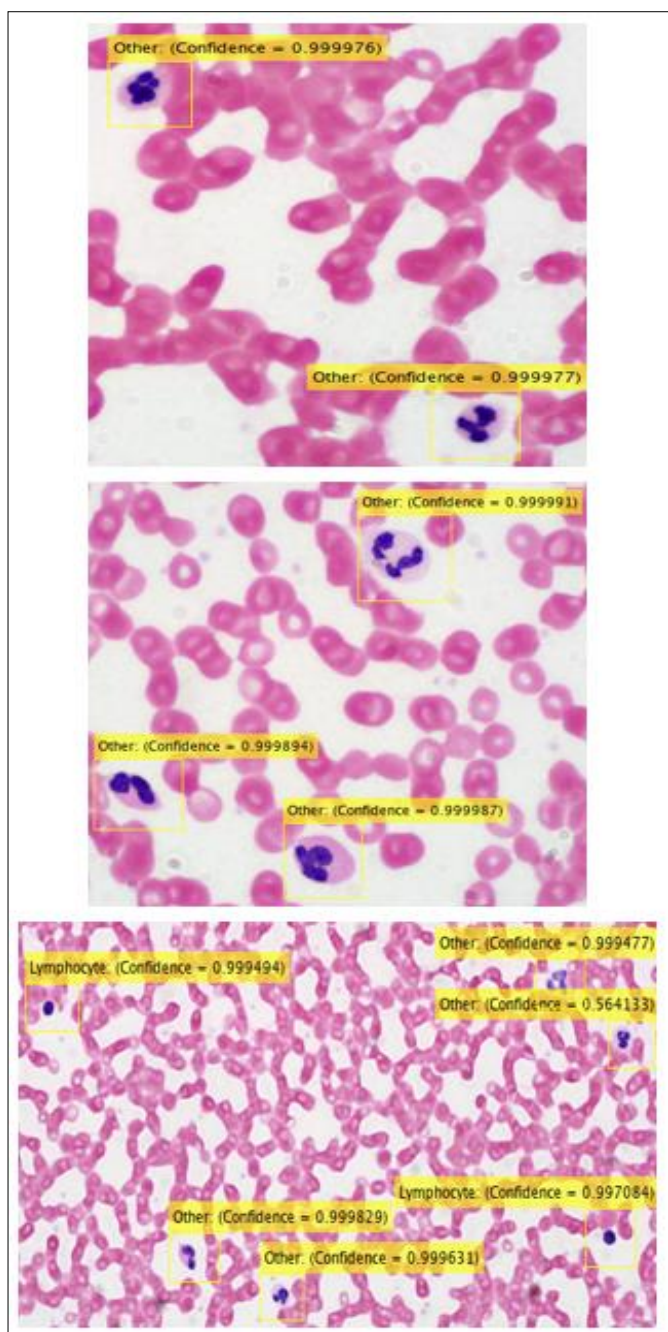
Fig. 9. Average loss during the training process.

The classification accuracy values obtained at the end of the training process are given in Table 3. The average accuracy value of the proposed detection and classification system is 95.81%.

Table 3. Performance values obtained for Faster R-CNN at the end of the test process.

Fold No	Labeled Object	Not Labeled Object	Number of the test images	Accuracy
1	256	11	267	0.9588
2	267	0	267	1
3	267	0	267	1
4	222	45	267	0.8315
5	268	0	268	1
Average Accuracy				0.9581





**Fig. 10.** The detection of leucocyte types and confidence values during the classification process.

As it can be seen in Fig. 10, the proposed ResNet50 modified Faster R-CNN model identifies the bounding box of the leucocytes and labels the region with high confidence scores. At the end of the test process, the class of the object in the bounding box was determined. In addition to this, the number of lymphocytes and other leucocytes can be determined. Considering the results, clinical preliminary evaluation can be made in the diagnosis of lymphoma cancer, taking into account the number and density of lymphocytes in histological image data.

### 3.5. Discussion

Object detection is a significant and challenging problem in image-based applications. Because the designed object detection algorithm searches to locate object instances from a large number of predefined categories in images. DL techniques have emerged

as a powerful technique for learning feature representations directly from raw input data.

In this study, automatic detection and classification were provided without any preliminary feature extraction/selection and pre-processing on the images due to CNN models. The accuracy achieved by the novel Faster R-CNN model after 5-fold cross-validation of the blood tissue images dataset is 95.81%. The proposed ResNet50 modified Faster R-CNN model both finds the location of the leucocytes and classifies them with high accuracy. From the clinical perspective, this model demonstrates the potential to be deployed as a diagnostic tool because the method has been tested on a real-world dataset.

## 4. Conclusions and Recommendations

Within the scope of this study, the detection and classification of leucocyte types on the histological blood tissue images were performed. The positions and types of leucocytes were determined and the classification process was carried out. The purpose of the classification, which is divided into lymphocytes and others, is to analyze the density and number of lymphocytes in a certain part of the image. Because the number of lymphocytes in the blood tissue is an important parameter in detecting lymphoma cancer. The Faster R-CNN structure created by modifying the ResNet50 model gives satisfactory results in object detection and classification. This study, conducted using real-world data, also provides a preliminary outline of clinical experiments. Experimental studies can also be carried out using some other CNN architectures and different medical image datasets.

## 5. Acknowledge

This study was supported by Selcuk University and Coordinatorship of Faculty Member Training Program with Project No: 2017- OYP- 047.

## References

- Anita, & Yadav, A. (2021). An Intelligent Model for the Detection of White Blood Cells using Artificial Intelligence. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 199, 105893. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105893>
- Di Ruberto, C., Loddo, A., & Putzu, L. (2020). Detection of red and white blood cells from microscopic blood images using a region proposal approach. *Computers in Biology and Medicine*, 116, 103530. doi:<https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2019.103530>
- Girshick, R. (2015, 7-13 Dec. 2015). *Fast R-CNN*. Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014, 23-28 June 2014). *Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation*. Paper presented at the 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Gupta, D., Arora, J., Agrawal, U., Khanna, A., & de Albuquerque, V. H. C. (2019). Optimized Binary Bat algorithm for classification of white blood cells. *Measurement*, 143, 180-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.002>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). *Deep Residual Learning for Image Recognition*.



- Hegde, R. B., Prasad, K., Hebbar, H., & Singh, B. M. K. (2019). Comparison of traditional image processing and deep learning approaches for classification of white blood cells in peripheral blood smear images. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(2), 382-392. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bbe.2019.01.005>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Neural Information Processing Systems*, 25. doi:10.1145/3065386
- López-Puigdollers, D., Javier Traver, V., & Pla, F. (2019). Recognizing white blood cells with local image descriptors. *Expert Systems with Applications*, 115, 695-708. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.08.029>
- Nazlibilek, S., Karacor, D., Ercan, T., Sazli, M. H., Kalender, O., & Ege, Y. (2014). Automatic segmentation, counting, size determination and classification of white blood cells. *Measurement*, 55, 58-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.008>
- Patil, A. M., Patil, M. D., & Birajdar, G. K. (2020). White Blood Cells Image Classification Using Deep Learning with Canonical Correlation Analysis. *IRBM*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.08.005>
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *arXiv preprint arXiv:1506.01497*.
- Shahin, A. I., Guo, Y., Amin, K. M., & Sharawi, A. A. (2019). White blood cells identification system based on convolutional deep neural learning networks. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 168, 69-80. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.11.015>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *arXiv 1409.1556*.
- Wang, Q., Chang, L., Zhou, M., Li, Q., Liu, H., & Guo, F. (2016). A spectral and morphologic method for white blood cell classification. *Optics & Laser Technology*, 84, 144-148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2016.05.013>



# Mobil Robotların Yol Planlamasında Doğrusallığın İncelenmesi

Mustafa Yusuf Yıldırım<sup>1\*</sup>, Rüştü Akay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0302-8466), [myyildirim@erciyes.edu.tr](mailto:myyildirim@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3585-3332), [akay@erciyes.edu.tr](mailto:akay@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902932)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım, M. Y., Akay, R. (2021). Mobil Robotların Yol Planlamasında Doğrusallığın İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 138-142.

## Öz

Endüstriyel ortamlarda giderek daha fazla kullanılan mobil robotlar için yol planlanması önemli bir problemdir. Bu problem, engelli bir ortamda başlangıç düğümünden hedef düğüme kadar mesafe ve süre gibi bazı kriterler dikkate alınarak engellere çarpmadan uygun bir yolun bulunmasıdır. Alternatif yolların üretilmesinde doğrusal (düz çizgi) veya doğrusal olmayan (eğri) amaç fonksiyonlarının kullanılması performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, küresel yol planlama için farklı zorluk derecelerine sahip ortamlarda doğrusal ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarının kullanımı karşılaştırılmalı incelenmiştir. Uygun yolların bulunmasında evrimsel algoritmalarından biri olan genetik algoritma (Genetic Algorithm, GA) kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, mobil robotların yol planlamasında doğrusal amaç fonksiyonu kullanılmasının hem mesafe hem de algoritma çalışma süresi açısından avantajlı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil Robot, Yol Planlama, Optimizasyon, Genetik Algoritma, Yol Doğrusallığı.

## Investigation of Linearity in Path Planning of Mobile Robot

### Abstract

Path planning is an important problem for mobile robots, which are increasingly used in industrial environments. This problem is to find a suitable path from a starting node to a target node without colliding obstacles, taking into account some criteria such as distance and time. The use of linear (straight line) or nonlinear (curve) objective functions in the generation of alternative paths significantly affects the performance. In this study, the use of linear and nonlinear objective functions for global path planning in environments with different degrees of difficulty has been comparatively examined. Genetic algorithm (GA), one of the evolutionary algorithms, was used to find suitable paths. The simulation results showed that using the linear objective function in path planning of mobile robots is advantageous in terms of both distance and algorithm running time.

**Keywords:** Mobile Robot, Path Planning, Optimization, Genetic Algorithm, Path Linearity.

\* Sorumlu Yazar: [myyildirim@erciyes.edu.tr](mailto:myyildirim@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde mobil robotların yük taşımacılığında arama - kurtarma, madencilik ve savunma sanayiye kadar birçok sektörde uygulama alanı mevcuttur ve gün geçtikçe kullanımı artmaktadır (Ajeil vd., 2020). Bu robotlara verilen görevlerden biri de yol planlama olarak adlandırılan belirlenen bir hedefe optimum maliyetlerle ulaşmasıdır. Bu hedefe engellere çarpmadan kabul edilebilir sürelerde ulaşması beklenir (Song vd., 2021). Yol planlamada klasik (hücre ayrıştırma, yapay potansiyel alan, hızlı-keşfedilen rastgele ağaçlar vb.) (Liu vd., 2019, Contreras-Cruz vd., 2015) ve evrimsel hesaplamalara dayalı (genetik algoritma, diferansiyel gelişim algoritması vb.) (Saicharan vd., 2017) çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır. Özellikle evrimsel algoritmaların hesaplama açısından daha verimli olması sebebiyle kullanımları her geçen gün daha da artmaktadır ve en büyük avantajlarından biri amaç fonksiyonlarının gradyanlarını hesaplamalarına ihtiyaç duymamalarıdır (Ergezer & Leblebicioğlu, 2011). Bu amaç fonksiyonları yolun uzunluğu, güvenliği, robotun enerjisi gibi kriterlerle oluşturulmaktadır. Ancak bu kriterler kadar yolun doğrusalılığı da ön planda tutulmalıdır. Dolayısıyla yol planlamada doğrusal ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonları da oluşturulabilir. Her iki amaç fonksiyonu da engellere çarpmadan yolun uzunluğunu minimize etmektedir. Ancak doğrusal amaç fonksiyonu yolun bölmelerini düz çizgi şeklinde doğru uydurma yöntemiyle oluştururken, doğrusal olmayan amaç fonksiyonu yolun bölmelerini eğri şeklinde eğri uydurma gibi yöntemlerle oluşturur.

Literatürde evrimsel algoritmaların kullanıldığı yol planlama çalışmalarından bazıları doğrusal ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarının kullanıldığı kategorilerde incelenmiştir. Doğrusal olmayan amaç fonksiyonunun kullanıldığı çalışmalardan; Yu vd. doğal afet durumlarında arama - kurtarma görevi için bir insansız hava aracının üç boyutlu yol planlamasında geliştirilmiş bir diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) algoritması önermişlerdir (Yu vd., 2020). Yu vd. başka bir çalışmada arama - kurtarma görevi için Bezier teorisi tabanlı farklı bir DE algoritması önermişlerdir (Yu vd., 2021). Niu vd. okyanus görevleri için bir insansız yüzey aracına yönelik bir yol planlama yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem voronoi yol haritası, dijkstra algoritması, kıyı şeridi genişletme (Coastline Expanding) ve GA tabanlıdır (Niu vd., 2020). Orozco-Rosas vd. yol planlama problemi için GA ve yapay potansiyel alan yöntemini birleştiren yeni bir yöntem önermişlerdir (Orozco-Rosas vd., 2019). MahmoudZadeh vd. otonom bir su altı aracı için parçacık sürüsü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization), biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (Biogeography-Based Optimization), DE ve ateşböceği algoritması (Firefly Algorithm) bir arada kullanıldığı bir yol planlama yöntemi önermişlerdir (MahmoudZadeh vd., 2018). Doğrusal amaç fonksiyonunun kullanıldığı çalışmalardan; Cai vd. antikor çeşitliliğinin korunduğu bağışıklık evrim algoritmasının (Immune Evolution Algorithm) kullanıldığı bir yol planlama yöntemi önermişlerdir (Cai vd., 2008).

Genetik algoritma, evrimsel algoritmaların en temel ve popüler algoritmalarından biridir ve mobil robotların yol planlama probleminde kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur (Davoodi vd., 2015). Bu çalışmaların da bazıları doğrusal ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarının kullanıldığı kategorilerde incelenmiştir. Doğrusal olmayan amaç

fonksiyonunun kullanıldığı çalışmalardan; Elhoseny vd. çözümlerin çeşitliliğini artıran geliştirilmiş bir GA kullanan Bezier eğrisi tabanlı bir yol planlama yöntemi önermişlerdir (Elhoseny vd., 2018). Patle vd. Sylvester Atalet Yasası (Sylvester Law of Inertia) ve ikili kod kullanan geliştirilmiş bir GA'dan oluşan bir yol planlama yöntemi önermişlerdir (Patle vd., 2018). Raja vd. engebeli arazide hareket eden bir mobil robot için geliştirilmiş bir potansiyel alan yöntemi ve genetik algoritmayı birleştiren bir yol planlama yöntemi önermişlerdir (Raja vd., 2015). Bakdi vd. deneysel çalışma olarak bir iç mekân mobil robot için bir yol planlama yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde optimum yollar GA ile planlanmış, optimum yolu yumuşatmak için parçalı kübik hermite interpolasyon polinomu (Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial) kullanılmış ve robotun izlenmesi için bir uyarlanabilir bulanık mantık denetleyicisi (Adaptive Fuzzy-Logic Controller) tasarlanmıştır (Bakdi vd., 2017). Mohanta vd. birden fazla hedefli olan çoklu bir mobil robot sisteminin yol planlaması için GA'nın kullanıldığı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde navigasyon kontrolü için GA'yı Petri-Net modeline dâhil etmişlerdir (Mohanta vd., 2011). Doğrusal amaç fonksiyonunun kullanıldığı çalışmalardan; Qu vd. çoklu bir mobil robot sistemi için birlikte evrim mekanizmasını (Co-Evolution Mechanism) içeren bir GA önermişlerdir (Qu vd., 2013). Sarkar vd. birden fazla hedef noktası olan bir mobil robot için, dört farklı operatörün dâhil edildiği bir GA önermişlerdir (Sarkar vd., 2020). Tuncer vd. dinamik ortamlarda hareket eden bir mobil robotun yol planlaması için yeni bir mutasyon operatörünün dâhil edildiği geliştirilmiş bir GA önermişlerdir (Tuncer & Yildirim, 2012).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yol planlama problemlerinin çoğunun doğrusal olmayan amaç fonksiyonları ile modellendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı çalışma içerisinde farklı amaç fonksiyonlarının etkilerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple bu çalışmada, mobil robotlar için yol planlamada doğrusal ve doğrusal olmayan yaklaşımların en kısa mesafe ve çalışma süresi açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın bölümlerini şu şekilde sıralamak mümkündür: İkinci bölümde materyal ve yönteme, üçüncü bölümde bulgulara, dördüncü bölümde de sonuca yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Amaç Fonksiyonları

İnceleme için doğrusal ve doğrusal olmayan iki amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. İki amaç fonksiyonunun da temeli aynıdır ve iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım robotun gideceği yolun uzunluğunu hesaplar, ikinci kısım da robot ile engeller arasındaki uygulanabilir mesafeyi (engelden kaçınma kontrolü) hesaplar. Bu fonksiyon Eşitlik 1'de gösterilmektedir.

$$\min F(P_i, O_j) = L(P_i) \cdot [1 + \beta \cdot V(P_i, O_j)], i = 1, \dots, d; j = 1, \dots, o \quad (1)$$

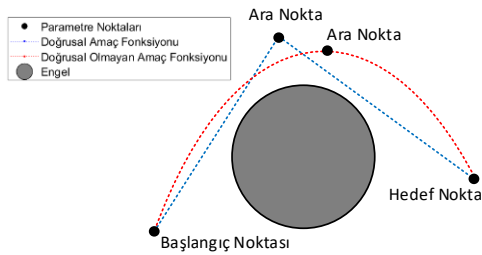
Burada  $F(P_i, O_j)$  minimize edilecek temel fonksiyon,  $P_i$  yol için oluşturulan nokta dizisinde  $i$ . noktanın konumu,  $O_j$   $j$ . engelin konumu,  $L(P_i)$  yol uzunluk denklemi,  $\beta$  engelden kaçınma faktörü,  $V(P_i, O_j)$  engelden kaçınma kontrol denklemi,  $d$  nokta dizisinin boyutu (nokta sayısı) ve  $o$  engel sayısıdır. Yol uzunluk denklemi Eşitlik 2'de gösterilmektedir.

$$L(P_i) = \sum_{i=1}^{d-1} \sqrt{(P_{ix} - P_{(i+1)x})^2 + (P_{iy} - P_{(i+1)y})^2} \quad (2)$$

Burada  $P_{ix}$  ve  $P_{iy}$  nokta dizisindeki  $i$ . noktanın konumu,  $P_{(i+1)x}$  ve  $P_{(i+1)y}$  nokta dizisinde  $(i+1)$ . noktanın konumudur. Engelden kaçınma kontrol denklemi Eşitlik 3'te gösterilmektedir. Engeller dairesel olarak tasarlanmıştır ve burada  $a_i$  engellerin yarıçapını temsil etmektedir (Chołodowicz & Figurovski, 2017).

$$V(P_i, O_j) = \sum_{i=1}^o \left[ \sum_{j=1}^d \max \left( 1 - \frac{\sqrt{(P_{ix} - O_{ix})^2 + (P_{iy} - O_{iy})^2}}{a_i} \right) \right] \quad (3)$$

Robotun takip edeceği yolun belirlenmesi için belli noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada bu noktalara parametre noktaları adı verilmekte ve  $n$  notasyonu ile sembolize edilmektedir. İlk olarak her iki amaç fonksiyonuna da girdi olarak gelen bu parametre noktalarının konumları, planlanacak yolun başlangıç ve bitiş noktaları ile birlikte farklı satır vektörlerine aktarılmaktadır. Ancak doğrusal amaç fonksiyonunda bu vektörlere doğru uydurma (linear interpolation) uygulanarak nokta dizisi elde edilirken; doğrusal olmayan amaç fonksiyonunda bu dizi eğri uydurma (cubic spline interpolation) uygulanarak elde edilmektedir. Bu nokta dizileri ile oluşturulan yolların maliyetleri temel fonksiyonda aynı şekilde hesaplanmaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarının oluşturdukları yollara bir örnek Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Amaç Fonksiyonlarının Oluşturdukları Yollara Birer Örnek

## 2.1. Amaç Fonksiyonları

Genetik algoritma, doğal seçilime dayanan bir evrimsel algoritmadır. İlk olarak 1960'ta Holland tarafından geliştirilmiştir. Bu algortmada temel olarak seçim, çaprazlama ve mutasyon adı verilen üç operatör bulunmaktadır. İlk popülasyon (kromozomlar) rastgele oluşturulmakta ve bunların uygunluk değerleri bir fonksiyon tarafından değerlendirilmektedir. Seçim operatöründe, ebeveynler uygunluk değerlerine göre seçilmektedir. Çaprazlama operatöründe, rastgele bir sayı oluşturulmakta ve bu sayı çaprazlama oranından küçükse seçilen ebeveynler çaprazlanmaktadır, böylece yeni çözümler elde edilmektedir. Mutasyon operatöründe, bazı çözümlerin genetik yapısı bir mutasyon oranına göre değiştirilmekte, böylece popülasyondaki çeşitlilik artırılmaktadır. En iyi çözüm bellekte saklanmakta ve yinelemeli süreç durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir (Lamini vd., 2018). GA algoritmasının genel sözde kodu Algoritma 1'de gösterilmektedir.

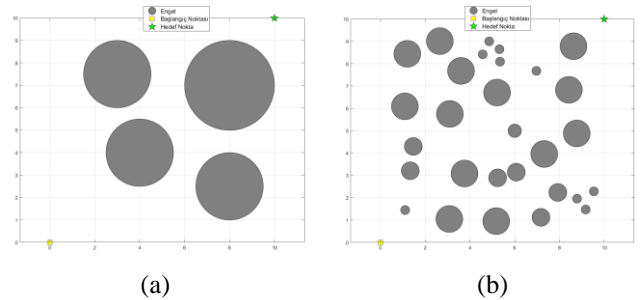
Algoritma 1. GA algoritmasının genel sözde kodu (Lamini vd., 2018)

```

1: maxIt ← maksimum iterasyon sayısı
2: popSize ← popülasyon boyutu
3: pc ← çaprazlama oranı
4: pm ← mutasyon oranı
5: for i = 1 : popSize
6:   xi ← i. kromozom için rastgele çözüm üret
7:   if f(xi) < f(gbest)
8:     gbest ← xi
9:   end if
10: end for
11: for i = 1 : maxIt
12:   Seçim operatörünü çalıştır
13:   Çaprazlama operatörünü çalıştır
14:   Mutasyon operatörünü çalıştır
15:   if f(xi) < f(gbest)
16:     gbest ← xi
17:   end if
18: end for
19: gbest ve f(gbest) değerlerini göster
    
```

## 3. Bulgular

İnceleme MATLAB 2019 programlama dilinde kodlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme için Windows 10 işletim sistemi, INTEL CORE i7 işlemcisi, 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Ortam, 10 x 10 cm boyutlu bir karesel alan olarak tasarlanmıştır. Robotun başlangıç konumu ortam ekranının sol alt köşesi, hedef konumu ise sağ üst köşedir. Engelsiz en kısa mesafe 14.142 cm'dir. Engel ihlali faktörü ve nokta dizisinin boyutu 100'dür. Her iki amaç fonksiyonu için parametre noktalarının sınır değerleri  $x$  ve  $y$  için  $[0, 10]$  olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan iki ortam Şekil 2'de gösterilmektedir.

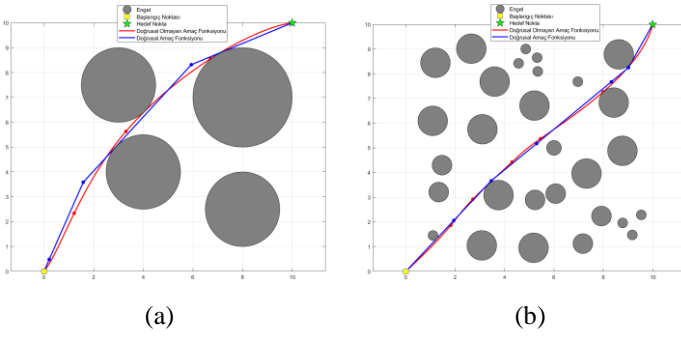


Şekil 2. Çalışmadaki ortamlar: (a) Ortam 1, (b) Ortam 2.

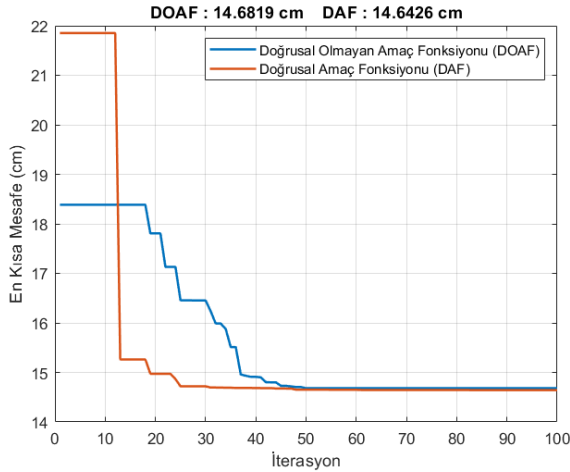
İnceleme için Heris (2020)'in geliştirdiği GA, kontrol parametreleri değiştirilmeden (çaprazlama oranı 1, mutasyon oranı 0,1) kullanılmış, sadece maksimum iterasyon sayısı 100 ve popülasyon boyutu 50 için çalıştırılmıştır. Problemin parametre sayısı ( $n$ ) ortam 1 için 3, ortam 2 için 5 olarak belirlenmiştir. İnceleme sonucunda her iki ortam için elde edilen ortalama en kısa mesafeler, algoritmanın çalışma süreleri ve doğrusal fonksiyonun doğrusal olmayan fonksiyona göre azalma oranları Tablo 1'de, örnek bir çalışma için her iki ortamda elde edilen yollar Şekil 3'te, ilgili örnek için yakınsama grafikleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

Tablo 1. Her iki ortam için elde edilen ortalama en kısa mesafeler, algoritmanın çalışma süreleri ve doğrusal fonksiyonun doğrusal olmayan fonksiyona göre azalma oranları (Bu bulgular 30 koşmanın ortalamasıdır.)

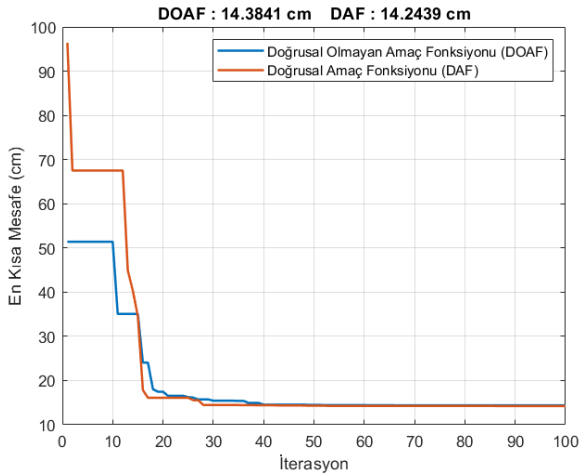
	Ortam 1		Ortam 2	
	En Kısa Mesafe (cm)	Çalışma Süresi (sn)	En Kısa Mesafe (cm)	Çalışma Süresi (sn)
Doğrusal olmayan amaç fonksiyonu	16,0859	6,4720	15,4002	13,5104
Doğrusal amaç fonksiyonu	15,7853	5,3828	14,8258	12,5183
Azalma oranı (%)	1,87	16,83	3,73	7,34



Şekil 3. Örnek bir çalışma için her iki ortamda elde edilen yollar: (a) Ortam 1, (b) Ortam 2.



(a)



(b)

Şekil 4. Örnek çalışma için her iki ortamda elde edilen yakınsama grafikleri: (a) Ortam 1, (b) Ortam 2.

Tablo 1 genel olarak incelendiğinde, her iki ortam için de doğrusal amaç fonksiyonu ile elde edilen en kısa mesafeler ve algoritma çalışma sürelerinde doğrusal olmayan amaç fonksiyonuna göre bir azalma görülmektedir. Azalma oranları dikkate alındığında, en kısa mesafeler açısından ortam 1'deki oranın ortam 2'ye göre daha düşük seviyelerde olduğu söylenebilir. Çünkü her iki amaç fonksiyonu da kolay problemleri yüksek performansla çözebilir, bu yüzden birbirine yakın sonuçların elde edilmesi kaçınılmazdır. Ancak problem zorlaştıkça doğrusal amaç fonksiyonun bu farkı artırdığı görülmektedir. Algoritma çalışma süreleri açısından, ortam 2'deki oranın ortam 1'e göre daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu azalma oranlarındaki düşüş problemin zorlaşmasından kaynaklanmaktadır, ancak yine de her iki ortamda doğrusal amaç fonksiyonun daha hızlı çalıştığı söylenebilir. Şekil 4'teki yakınsama grafikleri ele alındığında, ortam 1'de doğrusal amaç fonksiyonun ortam 2'ye göre daha hızlı yakınsadığı, problem zorlaştıkça bu yakınsama hızında bir düşüş olduğu görülmektedir. Ancak her iki ortam için de doğrusal amaç fonksiyonu ile elde edilen maliyetin daha az olduğu söylenebilir. Genel olarak bu iki fonksiyon en kısa mesafeler, algoritma çalışma süreleri ve problemin zorluğu açılarından değerlendirildiğinde doğrusal amaç fonksiyonunun yol planlama problemini daha az maliyetle çözdüğü sonucuna varılmıştır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, mobil robotların yol planlamasında doğrusallığının incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için doğru ve eğri uydurma tabanlı oluşturulan amaç fonksiyonları GA kullanılarak optimize edilmiştir. Farklı zorluk derecelerine sahip ortamlardan elde edilen sonuçlar, doğrusal amaç fonksiyonu ile elde edilen yolların doğrusal olmayan amaç fonksiyonuna göre daha kısa olduğu ve daha hızlı sonuç ürettiğini göstermiştir. Bu sebeple mobil robotların küresel yol planlamasında doğrusal amaç fonksiyonunun kullanılması hem en kısa mesafe hem de algoritma çalışma süresi açısından avantajlı olduğu söylenebilir.

Sonraki çalışmalarda, GA yerine diğer evrimsel veya sürü tabanlı algoritmalar tercih edilerek GA ile karşılaştırılabilir. Ortam ve engel karakteristikleri (engellerin şekli, boyutu, sayısı vb.) değiştirilerek amaç fonksiyonlarının performansları değerlendirilebilir.

#### Kaynakça

Ajeil, F. H., Ibraheem, I. K., Sahib, M. A., & Humaidi, A. J. (2020). Multi-objective path planning of an autonomous mobile robot using hybrid PSO-MFB optimization

- algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 89, 106076. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106076>
- Bakdi, A., Hentout, A., Boutami, H., Maoudj, A., Hachour, O., & Bouzouia, B. (2017). Optimal path planning and execution for mobile robots using genetic algorithm and adaptive fuzzy-logic control. *Robotics and Autonomous Systems*, 89, 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.12.008>
- CAI, Z., YU, L., XIAO, C., & LIU, L. (2008). Path Planning for Mobile Robots in Irregular Environment Using Immune Evolutionary Algorithm. In *IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 41, Issue 2). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20080706-5-kr-1001.00395>
- Chołodowicz, E., & Figurowski, D. (2017). Mobile Robot Path Planning with Obstacle Avoidance using Particle Swarm Optimization. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 21(3), 59–68. [https://doi.org/10.14313/par\\_225/59](https://doi.org/10.14313/par_225/59)
- Contreras-Cruz, M. A., Ayala-Ramirez, V., & Hernandez-Belmonte, U. H. (2015). Mobile robot path planning using artificial bee colony and evolutionary programming. *Applied Soft Computing*, 30, 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.01.067>
- Davoodi, M., Panahi, F., Mohades, A., & Hashemi, S. N. (2015). Clear and smooth path planning. *Applied Soft Computing Journal*, 32, 568–579. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.04.017>
- Elhoseny, M., Tharwat, A., & Hassanien, A. E. (2018). Bezier Curve Based Path Planning in a Dynamic Field using Modified Genetic Algorithm. *Journal of Computational Science*, 25, 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.08.004>
- Ergezer, H., & Leblebicioğlu, K. (2011). Planning unmanned aerial vehicle's path for maximum information collection using evolutionary algorithms. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 44(1 PART 1), 5591–5596. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02977>
- Heris M. K. (2020). Practical Genetic Algorithms in Python and MATLAB - Video Tutorial (URL: <https://yarpiz.com/632/ypga191215-practical-genetic-algorithms-in-python-and-matlab>)
- Lamini, C., Benhlina, S., & Elbekri, A. (2018). Genetic algorithm based approach for autonomous mobile robot path planning. *Procedia Computer Science*, 127, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.01.113>
- Liu, X., Du, X., Zhang, X., Zhu, Q., & Guizani, M. (2019). Evolution-algorithm-based unmanned aerial vehicles path planning in complex environment. *Computers and Electrical Engineering*, 80, 106493. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106493>
- MahmoudZadeh, S., Yazdani, A. M., Sammut, K., & Powers, D. M. W. (2018). Online path planning for AUV rendezvous in dynamic cluttered undersea environment using evolutionary algorithms. *Applied Soft Computing Journal*, 70, 929–945. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.10.025>
- Mohanta, J. C., Parhi, D. R., & Patel, S. K. (2011). Path planning strategy for autonomous mobile robot navigation using Petri-GA optimisation. *Computers and Electrical Engineering*, 37(6), 1058–1070. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2011.07.007>
- Niu, H., Ji, Z., Savvaris, A., & Tsourdos, A. (2020). Energy efficient path planning for Unmanned Surface Vehicle in spatially-temporally variant environment. *Ocean Engineering*, 196(April 2019), 106209. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106209>
- Orozco-Rosas, U., Montiel, O., & Sepúlveda, R. (2019). Mobile robot path planning using membrane evolutionary artificial potential field. *Applied Soft Computing Journal*, 77, 236–251. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.01.036>
- Patle, B. K., Parhi, D. R. K., Jagadeesh, A., & Kashyap, S. K. (2018). Matrix-Binary Codes based Genetic Algorithm for path planning of mobile robot. *Computers and Electrical Engineering*, 67, 708–728. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.12.011>
- Qu, H., Xing, K., & Alexander, T. (2013). An improved genetic algorithm with co-evolutionary strategy for global path planning of multiple mobile robots. *Neurocomputing*, 120, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.04.020>
- Raja, R., Dutta, A., & Venkatesh, K. S. (2015). New potential field method for rough terrain path planning using genetic algorithm for a 6-wheel rover. *Robotics and Autonomous Systems*, 72, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.06.002>
- Saicharan, B., Tiwari, R., & Roberts, N. (2017). Multi Objective optimization based Path Planning in robotics using nature inspired algorithms: A survey. 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853442>
- Sarkar, R., Barman, D., & Chowdhury, N. (2020). Domain knowledge based genetic algorithms for mobile robot path planning having single and multiple targets. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.10.010>
- Song, B., Wang, Z., & Zou, L. (2021). An improved PSO algorithm for smooth path planning of mobile robots using continuous high-degree Bezier curve. *Applied Soft Computing*, 100, 106960. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106960>
- Tuncer, A., & Yildirim, M. (2012). Dynamic path planning of mobile robots with improved genetic algorithm. *Computers and Electrical Engineering*, 38(6), 1564–1572. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2012.06.016>
- Yu, X., Li, C., & Yen, G. G. (2021). A knee-guided differential evolution algorithm for unmanned aerial vehicle path planning in disaster management. *Applied Soft Computing*, 98, 106857. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106857>
- Yu, X., Li, C., & Zhou, J. F. (2020). A constrained differential evolution algorithm to solve UAV path planning in disaster scenarios. *Knowledge-Based Systems*, 204, 106209. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106209>



## Kararlı Çoklu Bayes Hipotez Testi Üzerine Bir Not

Uğur Yıldırım<sup>1\*</sup>, Hüseyin Afşer<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendislik Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1131-8893), [uyildirim@atu.edu.tr](mailto:uyildirim@atu.edu.tr)

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendislik Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6302-4558), [afser@atu.edu.tr](mailto:afser@atu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899254)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım U. & Afşer H. (2021). Kararlı Çoklu Bayes Hipotez Testi Üzerine Bir Not. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 143-148.

### Öz

Çoklu Bayes hipotez testinde olasılık dağılımlarının bilindiği durumlar için optimum yöntemler bulunmasına karşın gerçek hayata uygulanması zordur. Bu yüzden gerçek dünyada iletişim sırasında kolaylıkla oluşabilecek gürültü vb. kaynaklı veri bozulmalarına karşı esneklik kazandıran kararlı algoritmalar kullanılmak zorunludur. Ayrıca kararlılık özelliği, optimal testlerin uygulanabilmesi için kullanılacak kesin bilinmek zorunda olan olasılık dağılımlarına olan bağımlılığı azaltıp, bu olasılık değerlerinin tahmin edilmiş değerlerinin kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada kararlı Bayes çoklu hipotez test problem analizleri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, olasılık dağılımları birbirinden bağımsız ve eşit dağılıma sahip gözlemlerle incelendi. Çoklu Bayes hipotez testi için en yaygın olarak bilinen kararlı yöntem DGL (Devroye, Gyorfı ve Lugasi) metodudur. Bu yöntemde gerçek olasılık dağılımları bilinmediği fakat nominal dağılımlar ve gerçek dağılımlar arasındaki uzunluğun  $\epsilon$  değerinden küçük olduğunun bilindiği varsayılmıştır. Bu tanım üstel bir hata olasılığını da doğurmuştur ve buradaki hata olasılığının hipotezler arasındaki minimum ikili Chernoff bilgisinden daha düşük olamayacağı da bilinmektedir. DGL yöntemi, tipler metoduna dayalı Afşer tarafından sunulmuş bir analiz ile süreksiz durum için karşılaştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Bayes hipotez testi, Tipler metodu, Kararlı hipotez testi, Chernoff bilgisi, Çoklu hipotez testi.

## A Note On Robust Multiple Bayesian Hypothesis Testing

### Abstract

There are exist optimum methods for multiple Bayesian hypothesis testing with known probability distributions but applying this methods to real world is troublesome. Because this tests could gives inaccurate results under small distortions which can easily occur in real world. Also property of robustness gives usage of estimated distributions instead of exact real distributions. In this paper, Bayesian multiple hypothesis problem with independent and identically distributed observations are considered. Robust algorithms are significantly important for solving this kind of problems. The most recognised robust analysis is DGL (Devroye, Gyorfı ve Lugasi) method for multiple Bayesian hypothesis testing. DGL method analyze the case where true distributions of the hypothesis are not known, but the distance between true distributions and nominal distributions are bounded with  $\epsilon$ . As a consequence of the problem, the achievable error exponent is the minimum pairwise Chernoff information between isolated hypothesis distributions in this setup. In discrete case, DGL method is compered with fresh presented method by Afşer.

**Keywords:** Bayesian hypothesis testing, Method of types, Robust hypothesis testing, Chernoff information, Multiple hypothesis testing.

\* Sorumlu Yazar: [uyildirim@atu.edu.tr](mailto:uyildirim@atu.edu.tr)

## 1. Giriş

Çoklu hipotez test problemi uzunluğu  $n$  olan  $X^n$  vektörü gözlemlenerek, bu vektörün dağılımını açıklayan  $M$  hipotezden,  $\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_2, \dots, \mathcal{H}_M$ , birinin seçilmesidir. Bu problemde  $X^n$  vektörünün elemanları  $\mathcal{X} = 1, 2, \dots, M$  alfabesindedir, birbirlerinden bağımsızdır ve aynı dağılıma sahiptir. Bu olasılık dağılımları  $\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_2, \dots, \mathcal{H}_M$  hipotezleri altında  $P_1, P_2, \dots, P_M$ 'dir [1]. Bu problemde amaç verilen  $X^n = x^n$  gözleminden olasılık dağılımı en benzer olan hipoteze  $\mathcal{H}_i, i = 1, 2, \dots, M$  karar veren bir test geliştirmektir. Bu makalede olasılık dağılımları  $\mathcal{X}$  alfabesine göre tanımlanmıştır, sayılabilir sonludur ve ayrıktır. Testlerin uygulanabilmesi için olasılık uzayı,  $M$  ayrışık ve birlikte kapsayıcı bölümlere  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_M$  şeklinde bölünmüştür. Bu bölümlerde eğer  $\vec{x} \in \Omega_i$  ise  $\mathcal{H}_i$  hipotezi seçilir. Bu karar mekanizması beraberinde hata olasılığında oluşturur. Bu hata olasılığı,  $P(e|\mathcal{H}_i)$ ,  $\mathcal{H}_i$  doğru kabul edildiği ama testin diğer hipotezlerden birisine karar verdiği durum şeklinde tanımlanabilir. Bayes düzeneğinde,  $M$  hipotez için hata olasılıkları  $P(\mathcal{H}_1), P(\mathcal{H}_2), \dots, P(\mathcal{H}_M)$  toplamı aşağıdaki denkleme eşittir.

$$P(e) = \sum_{i=1}^M P(e|\mathcal{H}_i)P(\mathcal{H}_i)$$

Yukarıdaki olasılıklara göre minimizasyon yapan kural sonuçların maksimum sonsal karar kuralıdır.  $n$  yeteri kadar büyük olduğunda, önsel efektler ortadan kayboluyor ve maksimum sonsal karar kuralı en yakın komşu kuralına aşağıdaki şekilde dönüşmektedir.

$$\{\mathcal{H}_i \text{ hipotezini seç}\}, i = \operatorname{argmin}_{j \in \{1, 2, \dots, M\}} D(P_{\vec{x}}|P_j). \quad (1)$$

Üstteki testte,  $P_{\vec{x}}$  deneysel dağılımı ve  $D(P_{\vec{x}}|P_j)$  ise  $P_{\vec{x}}$ 'den  $P_j$ 'ye olan Kullback-Leibler(KL) uzaklığını ifade etmektedir. Olasılık uzayı,  $M$  ayrık bölüme ağırlık merkezleri  $P_j, j = 1, 2, \dots, M$  olacak şekilde ayrılmıştır. Karar kuralı  $P_{\vec{x}}$  ile  $P_j$  arasındaki KL uzaklığını ölçer ve  $\vec{x}$ 'nin en yakın olduğu bölgeye seçilir.

Bu probleme sunulan en yakın komşu kuralı teorik olarak optimal olmasına rağmen gerçek dünyadaki gürültü, verinin kaybolması gibi dağılımları olumsuz etkileyecek durumlara karşı oldukça duyarlıdır. Bu duyarlılık gerçek hayata uygulanmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Duyarlılığa karşı sunulan çözümler, olasılık dağılımının bilinmesine duyulan gereğin azaltılmasını sağlayan algoritmalar ile mümkün kılınmıştır. Bu makalede olasılık dağılımlarının bilinmediği fakat bu olasılık dağılımları ile arasındaki uzaklığın  $\epsilon$  değerinden küçük olduğunun bilindiği durum için sunulan iki metodun karşılaştırılması ikinci bölümde incelenmiştir.

En yakın komşu kuralının kararlı olmadığı dağılımlarda önemsiz küçük değişimlerin sonuçlarında felakete sürüklediği Devroye'nin [2] gösterdiği örnekte basit bir şekilde görülebilir.  $M = 2$  iken özel bir durum olan, Huber'in metodunun sonuçları [3] en yakın komşu kuralında ufak bir değişiklik ve optimal minimax sezinlemesiyle en kötü durumdaki hata olasılıklarını minimize eden bir model aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

$$\prod_{l=1}^n \max \left[ c, \min \left\{ \left( c', \frac{f^{(1)}(X_l)}{f^{(2)}(X_l)} \right) \right\} \right]$$

Yukarıdaki testte  $c$  değeri sabit olup,  $c'$  değeri nominal yoğunluğa göre değişmektedir. Huber'in testinin dezavantajı verilen sabit değerlerin tam olarak belirlenmek zorunda olması ve bu sabit değerleri belirlemenin problem olabilmesi, özellikle  $d > 1$  için. Ayrıca, Huber'in sonuçları alfabenin ikiden büyük olduğu durumları kapsamamaktadır ve asimptotik olmayan hata olasılıklarını desteklememektedir.

Bayes kararlı hipotez testine sunulan bir başka yöntem ise Levy [4], [5] tarafından simetrik dağılımlar için sunulmuştur. Levy'nin kararlı testi yanlış alarm ve hatalı tespit hatalarını, tek bir örnek üzerinden hata olasılığını minimize etmiştir. Daha sonra ise Gül bu çalışmaları ikili hipotez testi için geliştirmiştir [6]. Bu yöntemlerin dezavantajları ise çoklu hipotez testine uygulanamaması ve dağılımların simetrik olma zorunluluğudur.

Klasik  $P(e|\mathcal{H}_i)$  ile  $P(e)$  hata analizleri Sanov'un teoremine ve büyük sayıların sapma teorisine dayanmaktadır [7]-[9]. Bu analiz hangi dağılımın hata olasılığının,  $P(e)$ , üstsel azalma hızının minimum Chernoff uzaklık çiftine eşit olacağını ve hangi hipotez dağılımından geldiğini belirlemeye dayanmaktadır. Bu üstsel azalma hızının Chernoff uzunluğundan daha fazla olamayacağı bilinmektedir [7], [10]. Chernoff uzunluğu

$$C(P, Q) = - \min_{\lambda \in [0, 1]} \log \left( \sum_{x \in \mathcal{X}} Q^\lambda(x) P^{1-\lambda}(x) \right).$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Bu makalede DGL metodu ve tipler metoduna dayalı analiz ön hazırlık bölümünde teorik olarak tanımlanıp, benzetimler bölümünde Monte Carlo simülasyonlarının hata olasılıkları karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Sunulan analiz metodu için uygulama olarak, hipotezlere ait dağılımların bilinmediği fakat bu dağılımlarla ilişkisi olan nominal dağılımlar kümesinin,  $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_M\}$ , bilindiği durum seçildi. Nominal dağılımların gerçek dağılımlarla olan değişimli uzaklık ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$V(P_j, Q_j) \leq \epsilon_j, j = 1, 2, \dots, M$$

Bu denklemde  $\epsilon_j$  kararlılık parametreleridir.

Bayes çoklu hipotez test problemi doğası gereği bir hata olasılığı doğurmaktadır. Bu test için ulaşılabilecek minimum üstsel hata olasılığı, bilindiği üzere ayrık hipotez dağılımları arasındaki minimum ikili Chernoff bilgisidir. İki yöntem incelenirken hata olasılıklarındaki azalma hızlarına göre incelenmiştir.

Sunulan problem, genel olarak klasik kararlı hipotez testi olarak incelenmektedir. Bu problemde alfabe  $\mathcal{X}$  sürekli veya süreksiz olabilir. Kullanılan genel yöntem minimax yaklaşımdır ve bu yaklaşımda tüm olasılık uzayı için oluşabilecek en kötü senaryodaki hata olasılığı kullanılan uzaklığa göre minimum edilmeye çalışılmıştır [3], [5], [11], [12]. Ama bu yaklaşım çoklu



hipotez testi için yeterli değildir ve sadece  $M = 2$  için kullanılabilir.

### 2.1. DGL Metodu

DGL metodu, tanımlanmış problem için hata olasılığına asimptotik üstel homojen dağılımlı bir sınır sunmaktadır [2]. DGL testinin temel tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

$$A_{i,j} = \{x: f^{(i)}(x) > x: f^{(j)}(x)\}, 1 \leq i < j \leq k.$$

Burada  $A$  Borel kümesidir.  $\mathcal{A}$  ise sayısı  $k(k-1)/2$  olan Borel kümeleri koleksiyonu olarak tanımlanmıştır ve bu koleksiyonun formu yukarıdaki formüldeki gibidir.

Testi tanımlamak için, deneysel ölçümler aşağıdaki gibi sunulmuştur.

$$\mu_n(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Psi_{X_i \in A}$$

$\Psi$ , gösterge fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu fonksiyon deneysel gözlem vektör dağılımını  $\mathcal{A}$  setine göre her bir hipotez için karşılaştırmasını yapar. Bir sonraki aşamada ise bu karşılaştırmalara aşağıdaki test kuralı uygulanıp hipotez seçimi yapılır.

$$\max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int_A f^{(j)} - \mu_n(A) \right| = \min_{i=1, \dots, k} \max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int_A f^{(i)} - \mu_n(A) \right|$$

Bu test yöntemi için sunduğu hata olasılığının üstel sınırı ise aşağıdaki gibidir [2].

$$P(e) \leq 2k(k-1)^2 e^{-n\epsilon^2/2}.$$

DGL testi, uzunluk ölçüsü olarak  $l_1$  uzunluğu kullanmıştır. Bilindiği üzere  $l_1$  uzunluğu ile değişimli uzaklık arasında bir bağ vardır. Simülasyonlarda karşılaştırılma yapılırken  $l_1$  yerine değişimli uzaklık kullanılmıştır. Bu uzunluğun kullanılma nedeni ise diğer olasılıksal uzunluklarla arasındaki bağın daha geniş bir ağı sahip olmasıdır.

Literatürde çoklu hipotez testi için kullanılabilecek en uygun yöntem DGL metodudur [2]. DGL metodunda dağılımdaki belirsizlikler  $Q_j \rightarrow P_j, j = 1, 2, \dots, M$  şeklinde azaldığında algoritmanın hala kararlı olduğu fakat yeterli şekilde optimal duruma yaklaşmadığı Biglieri ve Gyorfi [13] tarafından gösterilmiştir. Bu sonuca DGL yöntemini sürekli ikilik alfabe için olabilirlik oran testi ile karşılaştırarak ulaşılmıştır. Kullandıkları olabilirlik oran testi ise aşağıdaki gibidir.

$$T_N \triangleq \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log \frac{f_1(x_n)}{f_2(x_n)}$$

burada  $\log \frac{f_1(x_n)}{f_2(x_n)}$  değerinin 0 değerinden büyük yada küçük olduğuna bakılarak karar kuralı uygulanmıştır.

### 2.2. Tipler Metodu

Temelinde tipler metodu olup Afşer tarafından sunulan testte [15],  $V(P_j, Q_j) \leq \epsilon_j$  koşulu altında klasik çoklu hipotez test probleminde süresiz girdiler için genellenme olarak alınmıştır.  $Q_j \rightarrow P_j$  koşulu altında testin performansı optimal test performansına yaklaşmaktadır. Afşer tarafından sunulan analizin [15] temelinde tipler yöntemi [7, Bölüm 11] bulunmaktadır. Bu yönteme dair bazı tanımlamalar ve yapılan analiz için önemli noktalar aşağıda verilmiştir.

$$P_{x^n}(a) \triangleq \frac{1}{n} N(a|x^n), \quad \forall a \in X.$$

Burada  $N(a|x^n)$  terimi,  $a$  sembolünün  $x^n$  vektöründe görülme sayısını ifade eder. Tip sınıfı  $T_P^n$  ise tipi  $P$  olan tüm  $x^n$  vektörlerinin kümesidir.

Önsav 1:  $T_P^n$  kümesinin eleman sayısı,  $|T_P^n|$ , aşağıdaki eşitsizliğe uyar.

$$(n+1)^{-|X|} 2^{nH(P)} \leq |T_P^n| \leq 2^{nH(P)}.$$

Burada  $H(P)$  terimi  $P$  dağılımının entropisini gösterir.

$$H(P) = - \sum_{x \in X} P(x) \log P(x)$$

$P^n \triangleq \{P: T_P^n \neq \emptyset\}$  ise uzunluğu  $n$  olan tüm tip sınıflarının kümesidir.

Önsav 2:  $P^n$  kümesinin eleman sayısı,  $|P^n|$ , aşağıdaki eşitsizliğe uyar.

$$|P^n| \leq (n+1)^{|X|}.$$

Önsav 3: Aynı tipe sahip tüm vektörler aynı olasılığa sahiptir. Eğer  $x^n$  gözleminin elemanları  $P$  dağılımından geliyorsa

$$Pr[X^n = x^n] = 2^{-n(H(P_{x^n}) + D(P_{x^n} || P))}.$$

Burada  $D(Q || P)$  terimi  $Q$  dan  $P$ 'ye Kullback Leibler (KL) uzaklığını ifade eder.

$$D(Q || P) = \sum_{x \in X} \log \frac{Q(x)}{P(x)}.$$

#### 2.1.1. Klasik Tipler Metodu

En yakın komşu kuralında, olasılık kabul bölgeleri  $\Omega_1, \Omega, \dots, \Omega_M$  ve bu bölgelerin tümüleri  $\Omega_i^c$  olarak tanımlanır ise Sanov'un teoremi aşağıdaki hata olasılığını gösterir.

$$P_e \leq 2^{(-nD(P_i^*, P_i) + \frac{(|X|-1) \log(n+1)}{n})},$$

$$P_i^* \triangleq \operatorname{argmin}_{p \in \Omega_i^c} D(p | P_i),$$

Yukarıdaki sonuçları kullanarak toplam hata olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} P(e) &= \sum_{i=1}^M P(e | \mathcal{H}_i) P(\mathcal{H}_i), \\ &\leq \sum_{i=1}^M 2^{(-nD(P_i^*, P_i) - \frac{(|X|-1) \log(n+1)}{n})}, \\ &\leq M \max_i 2^{(-nD(P_i^* | P_i) - \frac{(|X|-1) \log(n+1)}{n})}, \\ &= 2^{-n(\min_i (D(P_i^* | P_i) - \frac{(|X|-1) \log(n+1)}{n}) \frac{\log(M)}{n})}, \\ &\leq 2^{-n(\min_{i \neq j} C(P_i, P_j) - \frac{(|X|-1) \log(n+1)}{n} \frac{\log(M)}{n})} \\ & \quad i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, M, \end{aligned}$$

Ayrıca denklemlerin son adımında  $\min_i D(P_i^* | P_i)$  değeri  $P_i^*$  aşağıdaki formda iken  $\min_{i \neq j} C(P_i, P_j)$  değerine eşit kabul edilmiştir.

$$P_i^* = \frac{P_i(x)^\lambda P_j(x)^{1-\lambda}}{\sum_{x \in X} P_i(x)^\lambda P_j(x)^{1-\lambda}}$$

Yukarıdaki denklemde  $\lambda$  değeri  $D(P_i^*|P_i) = D(P_i^*|P_j)$  olarak seçilmiştir [9].

### 2.1.2. Kararlı Tipler Metodu

Haberleşme sistemlerinde performans analizi için yapılan genel yöntem, verilen girdiler için hata olasılığının hesaplanması şeklindedir. Sistemin performansı verilen bütün girdiler için ortalama hata olasılığı hesaplanarak bulunur. Burada verilmiş  $\vec{x}$  olasılık tipi için,  $P_{\vec{x}}$ , durumu incelenmiştir. Bu bağlamda  $\vec{x} \in T(P_{\vec{x}})$  için  $P(e|P_{\vec{x}})$  ortalama hata olasılığı olarak tanımlandı.

$$P(e|P_{\vec{x}}) \triangleq \sum_{\vec{x} \in T(P_{\vec{x}})} P(e|P(\vec{x}))P(\vec{x}),$$

Ortalama hata olasılıkları  $\vec{x} \in \mathcal{X}^n$  üzerinden hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} P(e) &= \sum_{\vec{x} \in \mathcal{X}^n} P(e|P(\vec{x}))P(\vec{x}), \\ &= \sum_{T(P_{\vec{x}}) \in \mathcal{P}^n} \sum_{\vec{x} \in T(P_{\vec{x}})} P(e|P(\vec{x}))P(\vec{x}), \\ &= \sum_{T(P_{\vec{x}}) \in \mathcal{P}^n} P(e|P(\vec{x})). \end{aligned}$$

Eğer  $P(e|P(\vec{x}))$  teriminin  $P(\vec{x})$ 'e bağlı belirli azalan üssel parçaları varsa, aralarından minimum olanı  $P(e)$  değerini domine eder. İlerleyen savlarda, bu durumu içeren olayı kanıtlyor.

Önsav 4:

$$P(e|P(\vec{x})) \leq 2^{-n(\min_{i \neq j} \max\{D(P(\vec{x})||P_i), D(P(\vec{x})||P_j)\}) - \frac{\log M}{n}}.$$

Önsav 5:

$$\min_{T(P_{\vec{x}}) \in \mathcal{P}^n} \max\{D(P(\vec{x})||P_i), D(P(\vec{x})||P_j)\} = C(P_i, P_j).$$

$P_{\vec{x}}$  aşağıdaki formda minimize edilmiştir.

$$P_{\vec{x}}^\lambda = \frac{P_i(x)^\lambda P_j(x)^{1-\lambda}}{\sum_{x \in \mathcal{X}} P_i(x)^\lambda P_j(x)^{1-\lambda}}$$

$\lambda$  değeri  $D(P_{\vec{x}}^\lambda|P_i) = D(P_{\vec{x}}^\lambda|P_j)$  seçildi.

$P(e|P_{\vec{x}})$  ifadesinin,  $\min_{i \neq j} \max\{D(P(\vec{x})||P_i), D(P(\vec{x})||P_j)\}$  üstsel ifadesine bağlı olarak azalmakta olduğu Önsav 4'te gösterildi. Önsav 5 ise belirlenmiş tipler üstündeki bu terimin ulaşabileceği en küçük değer için  $\min_{i \neq j} C(P_i, P_j)$  olduğu sunuldu.

Sonuç olarak,  $x \in \mathcal{X}$  için ortalama hata olasılığına üst sınır aşağıdaki gibi konuldu.

$$\begin{aligned} P(e) &\leq |\mathcal{P}^n| \max_{T(P_{\vec{x}}) \in \mathcal{P}^n} P(e|P_{\vec{x}}), \\ &\leq 2^{-n \left( \min_{i \neq j} \min_{T(P_{\vec{x}}) \in \mathcal{P}^n} \max\{D(P(\vec{x})||P_i), D(P(\vec{x})||P_j)\} - \frac{\log M}{n} \right)}, \\ &\leq 2^{-n \left( \min_{i \neq j} C(P_i, P_j) - \frac{|X-1| \log(n+1)}{n} - \frac{\log M}{n} \right)}, \\ &i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, M. \end{aligned}$$

Tipler metoduna dayalı analiz, gerçek dağılımları edinmek amacıyla nominal dağılımların üstünde yapılan yuvarlama operasyonuna dayanmaktadır. Gerçek dağılımlar yerine onları simgeleyen  $\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_M$  terimleri,  $Q_1, Q_2, \dots, Q_M$  terimlerinden aşağıdaki gibi türetildi.

$$\bar{P}_j(x) = \frac{Q_j(x) + \epsilon_j}{1 + |X|\epsilon_j} \quad \forall x \in \mathcal{X}.$$

$\bar{P}_j$ 'nin uygun bir dağılım olduğu,  $\mathcal{X}$  alfabeti üstüne yapılan toplama işlemiyle görülür.

$$\sum_{x \in \mathcal{X}} \bar{P}_j(x) = \frac{\sum_{x \in \mathcal{X}} (Q_j(x) + \epsilon_j)}{1 + |X|\epsilon_j} = \frac{1 + |X|\epsilon_j}{1 + |X|\epsilon_j} = 1$$

Eğer  $P_j(x) \leq 1$  ise  $\forall x \in \mathcal{X}$  için yukarıdaki denklem sağlanır.  $\mathcal{X}$  alfabeti için eş oranlı bir dağılıma sahip  $U$  dağılımı aşağıdaki gibi tanımlanırsa,

$$U(x) \triangleq \begin{cases} \frac{1}{|X|} & x \in \mathcal{X}, \\ 0 & x \notin \mathcal{X}, \end{cases}$$

Bu tanımlama ışığında,  $\bar{P}_j(x)$ 'in  $Q_j(x)$  etrafında yuvarlanmış versiyonu olduğu ve  $\epsilon_j$  arttıkça  $U$  dağılımına genişlediği görülebilir. Bunu göstermek için,  $\bar{P}_j(x) > Q_j(x)$  koşulunun sağlandığı aşağıdaki denklemlerde gösterildi.

$$\frac{Q_j(x) + \epsilon_j}{1 + |X|\epsilon_j} > Q_j(x),$$

$$Q_j(x) + \epsilon_j > Q_j(x) + Q_j(x)|X|\epsilon_j,$$

$$\frac{1}{|X|} > Q_j(x).$$

Böylece,  $Q_j(x) < \frac{1}{|X|}$  koşulunda,  $\bar{P}_j(x) > Q_j(x)$  eşitsizliğinin sağlandığı gözlemlendi. Benzer şekilde  $Q_j(x) > \frac{1}{|X|}$  koşulunda  $\bar{P}_j(x) < Q_j(x)$  sağlanıyor. Sonuç olarak  $\epsilon_j$  değeri arttığı sürece,  $\bar{P}_j(x)$  değerinin  $Q_j(x)$  değerinden uzaklaşıp  $U$  değerine yaklaşmakta olduğu ve  $\epsilon_j$  değeri azaldığı durumda ise  $Q_j(x)$  değerine yaklaştığı gözlemlendi.

$$\lim_{\epsilon_j \rightarrow \infty} \bar{P}_j(x) = \lim_{\epsilon_j \rightarrow \infty} \frac{Q_j(x) + \epsilon_j}{1 + |X|\epsilon_j} = U(x).$$

Öte yandan,  $\epsilon_j$  değeri düşerken  $\bar{P}_j(x)$  değeri  $P_j(x)$  değerine yaklaşmaktadır.

$$\lim_{\epsilon_j \rightarrow 0} \bar{P}_j(x) = \lim_{\epsilon_j \rightarrow 0} \frac{Q_j(x) + \epsilon_j}{1 + |X|\epsilon_j} = Q_j(x) = P_j(x). \quad (2)$$

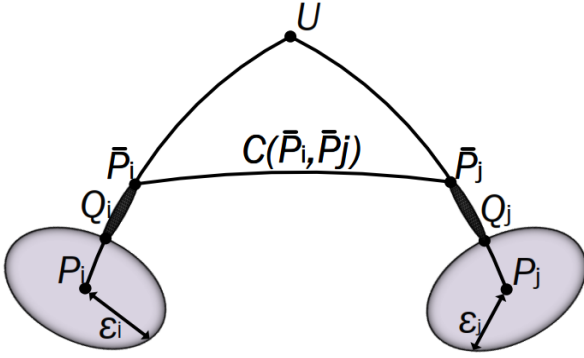
$\bar{P}_j(x)$  dağılımının kullanılmasındaki ana neden;  $P_j$  üzerinden üretilen  $\vec{x}$  için  $P(\vec{x})$  değerine üst sınır sağlamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumu Önsav 6'da gösterildi.

Önsav 6:  $\forall \vec{x} \in T(P_{\vec{x}}), V(P_j, Q_j) \leq \epsilon_j$  olduğu biliniyorsa ve  $P_j$ 'den bağımsız ise,

$$P_j(x) \leq 2^{-n(HP(\vec{x}) + D(P(\vec{x})||\bar{P}_j) - \log(1+|X|\epsilon_j))}.$$

$\vec{x}$ 'nün tam olarak bilinmediği  $P_j$  gerçek dağılımlarından üretilmiş dağılım altında Önsav 6, Önsav 3'ün genellenmiş halidir. Fakat bu genelleme  $V(P_j, Q_j) \leq \epsilon_j$  koşulunun bilindiği durum için geçerlidir. Ayrıca  $\epsilon_j \rightarrow 0$  durumunda Önsav 6'nın Önsav 3 ile eşleştiğinden önemsenmelidir. Çünkü en kötü durumdaki hata üstünün hipotez çiftleri arasındaki Chernoff bilgisine eşit olduğunu göstermektedir.

Afşer'in sunduğu test ve hata olasılığına getirilen üst sınır aşağıdaki teorem de gösterildi.



Şekil 1. Tipler metoduna dayalı analizin geometrik gösterimi.

**Teorem 1:** Bayes çoklu hipotez test problemi için, karar kuralının toplam hata olasılığı

$$\text{Seç } \mathcal{H}_j, j = \text{argmin}_{i \in \{1,2,\dots,M\}} D(P_{\bar{x}} | \bar{P}_i).$$

Üst sınırı ise,

$$P(e) \leq 2^{-n \left( \min_{i \neq j} C(P_i, P_j) - \log(1 - |\mathcal{X}| \epsilon) \right) - \frac{|\mathcal{X}-1| \log(n+1) - \log M}{n}} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, M.$$

şeklindedir. Denklemdaki seçilen  $\epsilon$  ise aşağıdaki kurala göre seçilmektedir,

Tablo 1. Simülasyonda kullanılan değişkenler ve olasılık dağılımları

Simülasyon	$\epsilon = 0.10$	$\epsilon = 0.03$	$\epsilon = 0.003$	$\epsilon = 0.0003$
$Q_1$	[0.04, 0.76, 0.2]	[0.11, 0.82, 0.07]	[0.102, 0.801, 0.097]	[0.1003, 0.7997, 0.1]
$Q_2$	[0.24, 0.3, 0.46]	[0.29, 0.23, 0.48]	[0.303, 0.198, 0.499]	[0.3001, 0.2002, 0.4997]
$Q_3$	[0.7, 0.05, 0.25]	[0.63, 0.09, 0.28]	[0.599, 0.098, 0.303]	[0.600, 0.1003, 0.2997]
$Q_4$	[0.37, 0.5, 0.13]	[0.38, 0.43, 0.19]	[0.398, 0.403, 0.199]	[0.3999, 0.3998, 0.2003]
$Q_5$	[0.34, 0.5, 0.16]	[0.32, 0.57, 0.11]	[0.301, 0.602, 0.097]	[0.3003, 0.5998, 0.0999]
$\min_{i \neq j} C(P_i, P_j)$	0.0016	0.0169	0.0327	8.996e - 04
$\log(1 +  \mathcal{X}  \epsilon)$	0.2624	0.0862	0.0090	0.0050

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Benzetimler

Bu makalede gerçek olasılık dağılımları bilinmediği durum için, gösterilmiş iki metodun Monte Carlo simülasyon performansları optimal durumdaki performanslarıyla karşılaştırılmıştır. Bu benzetimlerde  $n$  değeri artırılarak  $\log(P_e)$ 'nin azalışı gözlemlendi. Ayrıca tipler metoduna dayalı analizin performansı  $P_i$  dağılımlarının bilindiği ideal test performansı ile, denklem 1, Şekil 2'de kıyaslandı. Yapılan simülasyonlarda karşılaştırılan hipotez sayısı beş,  $M = 5$ , ve alfabedeki elaman sayısı üç olarak alınmıştır,  $|\mathcal{X}| = 3$ . Hipotezlere ait olasılık dağılımları aşağıdaki gibi alınmıştır.

$$P_1 = [0.1, 0.8, 0.1], P_2 = [0.3, 0.2, 0.5], P_3 = [0.6, 0.1, 0.3]$$

$$P_4 = [0.4, 0.4, 0.2], P_5 = [0.3, 0.6, 0.1]$$

Bu dağılımlardan rastgele olarak üretilmiş deneysel dağılımlar,  $Q_i$  ve simülasyon parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Sunumu basitleştirmek için  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \dots = \epsilon_5 = \epsilon$  alınmıştır. Ayrıca sunulan metodların serbestlik derecesi beştir. Simülasyonlarda,  $\bar{x}$  rastgele şekilde  $P_i$  dağılımlarına göre oluşturuldu ve hipotezlerin her birinin seçilme olasılıkları eşit şekilde  $\mathcal{H}_i = 0.2, i = 1, 2, \dots, 5$  alındı.  $P(e | \mathcal{H}_i), i = 1, 2, \dots, 5$

$$\epsilon \triangleq \max_k \epsilon_k, k = 1, 2, \dots, M.$$

Bu problemin geometrik açıklaması Şekil 1'de gösterilmiştir.  $V(P_j, Q_j) \leq \epsilon_j$  kısıtlaması  $Q_j$  nominal dağılımı için belirsizlik bölgesi yaratıyor. Bu bölgenin merkezinde  $P_j$  olduğu varsayılıyor. Bu yapı  $\epsilon_j$  küçüldükçe,  $Q_j$  dağılımını  $P_j$  dağılımına yaklaştırıyor. Benzer şekilde  $\epsilon_j$  küçüldükçe  $\bar{P}_j$  değerini ise  $Q_j$  değerine yaklaştırıyor. Denklem 3'teki  $\min_{i \neq j} C(P_i, P_j) - \log(1 - |\mathcal{X}| \epsilon)$  terimde  $\epsilon \ll 0$  için  $\log(1 - |\mathcal{X}| \epsilon) \rightarrow 0$  olur. Böylece tipler metoduna dayalı analiz için üst sınır yaklaşık olarak hipotezler arasındaki Chernoff bilgisine eşit oluyor.

$$\min_{i \neq j} C(P_i, P_j) \geq \min_{i \neq j} -\frac{1}{2} \ln(1 - V(Q_i, Q_j)^2) \quad (4)$$

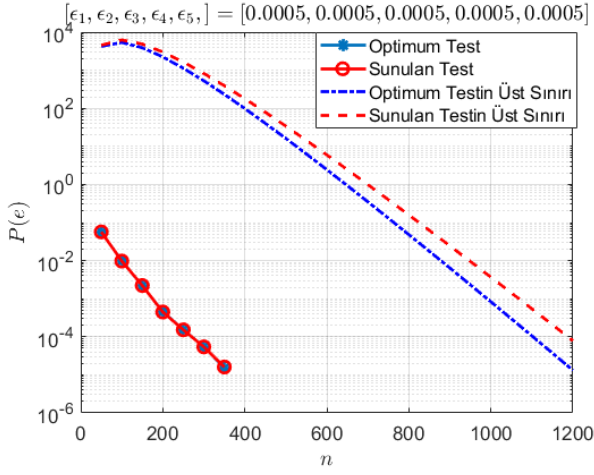
$$\geq \min_{i \neq j} \frac{1}{2} V(Q_i, Q_j)^2 \quad (5)$$

Üstteki eşitliklerde sol taraf dağılımlar için minimum ikili Chernoff bilgisini ifade ediyor. Denklem 4'ün sağ tarafı ise DGL testinde [2] dağılımlarda belirsizliğin olmadığı durum için,  $P_j = Q_j, j = 1, 2, \dots, M$ , hata üst sınırını ifade ediyor.  $\ln(z) \leq z - 1, z \geq 0$  eşitsizliğine göre düzenlenerek elde edilen Denklem 5 ise bize tipler metoduna dayalı analizin  $\epsilon \ll 0$  durumda hata üstel sınırının, DGL metoduna göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

değerleri her hipotez için 100 hata gözlemlene kadar devam ettirildi ve hesaplandı.

DGL metodu ve tipler metoduna dayalı analizin, simüle edilmiş hata olasılıklarının  $n$ 'in artırılması ile olan ilişkisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu şekilde, bulunan değerlerin negatif eğrisinin  $\epsilon$  değeri azaldıkça optimum duruma yaklaştığı görülmektedir. Aynı zamanda tipler metoduna dayalı metodun, DGL metoduna göre  $\epsilon < 0.03$  için üstel azalma hızında daha iyi performans sunduğu gözlemlendi.

Afşer'in önerdiği metodun hata olasılıkları Şekil 2'de üst sınırlarıyla beraber sunulmuştur. Buradaki negatif eğri toplam hata olasılığı ve üst sınırlar  $\epsilon = 0.0005$  için gösterilmektedir. Aynı zamanda, sunulmuş metodun teorik sınırlarla örtüştüğü kanıtlanmıştır. Sunulan düzenekte  $\min_{i \neq j} C(P_i, P_j) = 0.0329$  dur ve sunulan testin  $\epsilon < 0.03$  için kabul edilebilir bir performans sergilediği gösterilmiştir.



Şekil 2.  $\epsilon = 0.0005$  için, optimum ve deneysel hata olasılıklarının  $n$  ile olan ilişkisi.

#### 4. Sonuç

DGL metodunun hızının  $n \rightarrow \text{inf}$  durumunda tipler metoduna dayalı analiz yöntemine göre hızının yavaşladığı gösterildi. Tipler metoduna dayalı analizin, gerçek hipotez dağılımlarının bilinmediği fakat nominal dağılımlarla ilişkisinin değişimli uzaklığı,  $\epsilon$ , bilindiği durumda çoklu Bayes hipotez problemi için bir genelleme olduğu yapılan simülasyonlarla deneysel olarak gösterildi. Ek olarak, Afşer tarafından sunulan yöntemdeki yuvarlamanın operasyonu  $\epsilon$  azaldıkça,  $\bar{P}_M \rightarrow Q_M \rightarrow P_M$  durumunu sağladığı için önemlidir.

Tipler metoduna dayanan analizin performansının, DGL metodunu geçtiği aralık tam olarak  $0.015 < \epsilon < 0.02$ 'dir. Buradaki epsilon değeri yapılan simülasyonlarla bulundu. Nominal dağılımlar ve gerçek dağılımlar arasındaki uzunluk değişimli uzaklık olarak varsayıldı. Çünkü değişimli uzaklık  $l_1$ , Hellinger, Wassertein,  $X^2$  ve KL uzaklıkları ile sınırlanabiliyor [14]. Bu sınırlandırmalar testin uygulanabilirliğini arttırmaktadır.

#### Kaynakça

[1] E. L. Lehmann and J. P. Romano, Testing statistical hypothesis (Springer Texts in Statistics), Springer-Verlag, 2005.

[2] L. Devroye, L. Györfi and G. A. Lugosi, A note on robust hypothesis testing, IEEE Transactions on Information Theory, 48 (7), 2111-2014, 2002.

[3] P. J. Huber, Peter J. "A Robust Version of the Probability Ratio Test", Ann. Math. Statist. 36 (1965), no. 6, 1753--1758.

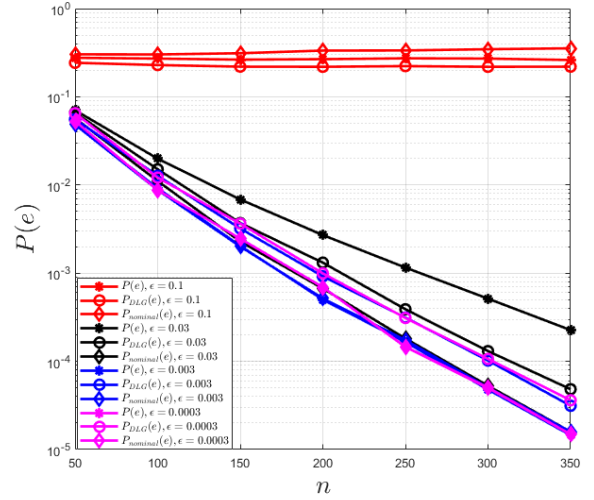
[4] B. C. Levy, "Robust Hypothesis Testing With a Relative Entropy Tolerance," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 55, no. 1, pp. 413-421, Jan. 2009.

[5] C. Levy, Principles of signal detection and parameter estimation, Springer Publishing Company, 2008.

[6] G. Gül and A. M. Zoubir, "Minimax Robust Hypothesis Testing," in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 63, no. 9, pp. 5572-5587, Sept. 2017, doi: 10.1109/TIT.2017.2693198.

[7] T. Cover M. and J. Thomas A., Elements of Information Theory, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2012.

[8] C. C. Leang and D.H.Johnson On the asymptotic of M-hypothesis Bayesian detection, IEEE Transactions on Information Theory, 43 (1): 280-282, 1997.



Şekil 3. Hata olasılıklarının  $n$  ile olan ilişkisi.

Denklem 2'de bulunan  $\min_{i \neq j} C(P_i, P_j) - \log(1 + |X| \epsilon)$  teriminin negatif olması durumunda, sunulan testin ulaşılabilir bir üst sınır sunamamasına rağmen testin kabul edilebilir bir performans sunduğu Tablo 1'de ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 3'te hata olasılıkları görülmektedir. Burada  $n$  artırılarak, tipler metoduna dayalı analizin yuvarlama operasyonu yapılmış logaritmik hata olasılığını  $P(e)$ , yuvarlama operasyonu yapılmamış logaritmik hata olasılığını  $P_{nominal}(e)$  ve DGL metodunun logaritmik hata olasılıkları  $P_{DGL}(e)$  görülmektedir.  $\epsilon$  değeri azaldıkça tipler metoduna dayalı yöntemin daha iyi çalıştığı görülmüştür. Ayrıca yuvarlanma operasyonu yapılmış dağılımların performansının, yapılmamış nominal dağılım performansını  $\epsilon < 0.0003$  durumunda geçtiği gözlemlenmiştir.

[9] M. B. Westover, Asymptotic geometry of multiple hypothesis Testing, IEEE Transactions on Information Theory, 54 (7), 3327-3329, 2008.

[10] Chernoff, Herman. "A Measure of Asymptotic Efficiency for Tests of a Hypothesis Based on the sum of Observations", Ann. Math. Statist. 23 (1952), no. 4, 493--507.

[11] P. J. Huber and V. Strassen, "Robust confidence limits," Z. Wahrchein- lichkeitstheorie verw. Gebiete, vol. 10, pp. 269-278, 1968.

[12] P. J. Huber, Robust Statistics, New York J. Wiley, 1981.

[13] E. Biglieri and L. Györfi, Some remarks on robust binary hypothesis testing, IEEE International Symposium on Information Theory, 566-570, 2014.

[14] A. L. Gibbs and F. E. Su, On Choosing and bounding the probability metrics, International Statistical Review, 70 (3), 419-435, 2002.

[15] H. Afşer, Some Remarks on Bayesian Multiple Hypothesis Testing, Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics, under revision.



# Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti

Ferhat Bozkurt<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0003-0088-5825), [fbozkurt@atauni.edu.tr](mailto:fbozkurt@atauni.edu.tr)  
(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898385)

**ATIF/REFERENCE:** Bozkurt, F. (2021). Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 149-156.

## Öz

COVID-19 salgını tüm dünyada hızla yayılarak küresel bir pandemi haline gelmiştir. Bu salgın, günlük yaşamda hem halk sağlığı hem de küresel ekonomi üzerinde yıkıcı bir etkiye sahip olmuştur. Bu salgının daha fazla yayılmasını önlemek ve etkilenen hastaları hızla tedavi etmek için pozitif vakaları olabildiğince erken tespit etmek çok önemlidir. COVID-19 enfeksiyonunun hızlı bir şekilde ve yüksek doğrulukta teşhisini sağlayan herhangi bir yardımcı araç uzmanlar için faydalıdır. Bu anlamda, X-Ray tomografik görüntüleme COVID-19 teşhisinde kolay erişilebilir alternatif bir araçtır. Radyoloji görüntüleme teknikleri kullanılarak elde edilen son bulgular, bu tür görüntülerin COVID-19 virüsü hakkında çarpıcı bilgiler içerdiğini göstermektedir. Radyolojik görüntülemeyle birlikte gelişmiş yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin uygulanması, bu hastalığın doğru tespiti için yardımcı olabilir. X-ray görüntüleri şüpheli vakaların erken tespitine yardımcı olabilse de, çeşitli viral ve bakteriyel pnömoni (zatürre) görüntüleri COVID-19 ile benzerdir ve benzer özellikler içermektedir. Dolayısıyla radyologların viral ve bakteriyel pnömoni gibi benzer akciğer hastalıklarını COVID-19'dan ayırt etmesi zordur. Bu bağlamda, COVID-19 semptomlarının viral pnömoneye benzer olması, yanlış tanımlara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, kurulan farklı modeller ile akciğer X-Ray görüntülerini COVID-19, normal ve viral pnömoni (zatürre) hastalar olarak sınıflandırabilen derin öğrenme tekniklerinin bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmada, 11 farklı derin öğrenme tekniği üzerinde çalışılmıştır. Günümüzde popüler olan evrişimli sinir ağları tabanlı farklı tekniklerin aynı veri kümesi üzerinde deneysel çalışmaları yapılarak her bir tekniğin performans değerlendirilmesi yapılmış ve en iyi tahminleme yöntemi belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, en yüksek doğruluk değeri %97.17 ile DenseNet121 modeli ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, Evrişimli sinir ağları, Sınıflandırma, Akciğer X-Ray görüntüleri, COVID-19.

## COVID-19 Detection from Chest X-Ray Images Using Deep Learning Techniques

### Abstract

COVID-19 has spread rapidly all over the world and has become a global pandemic. This epidemic has a devastating impact on both public health and the global economy in everyday life. Detecting positive cases as early as possible is crucial to prevent the further spread of this epidemic and to treat affected patients quickly. Any tool that provides a fast and highly accurate diagnosis of COVID-19 infection is useful to experts. In this context, X-Ray tomographic imaging is an easily accessible alternative tool in the diagnosis of COVID-19. Recent developments using radiology imaging techniques show that such images contain interesting information about the COVID-19. The application of advanced artificial intelligence and machine learning techniques combined with radiological imaging can assist to accurate detection of this disease. Although X-Ray images can help to diagnose suspected cases early, various viral and bacterial pneumonia images are similar to COVID-19 and include similar features. Therefore, it is difficult for radiologists to distinguish similar lung diseases like viral and bacterial pneumonia from COVID-19. In this context, the similarity of COVID-19

\* Corresponding Author: [fbozkurt@atauni.edu.tr](mailto:fbozkurt@atauni.edu.tr)

symptoms to viral pneumonia can lead to misdiagnosis. In this study, deep learning techniques that can classify chest X-Ray images as COVID-19, normal and viral pneumonia are compared. In this study, 11 different deep learning techniques have been studied. Experimental studies of different techniques based on convolutional neural networks, which are popular today, have been studied on the same dataset to evaluate the performance of each technique and the best prediction method has been determined. In experimental studies, the highest accuracy value is obtained with the DenseNet121 model with 97.17%.

**Keywords:** Deep learning, Convolutional neural network, Classification, Chest X-ray images, COVID-19.

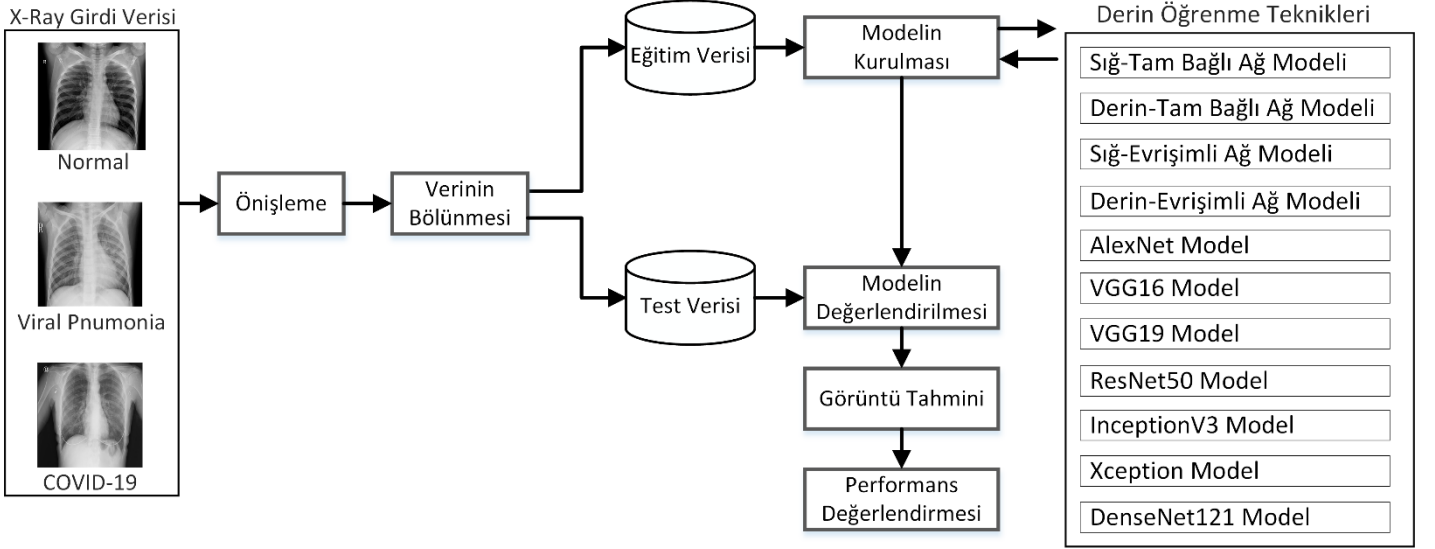
## 1. Giriş

Göğüs röntgeni görüntüleri tüberküloz, infiltrasyon, ateletazi, pnömoni ve fitik gibi çeşitli akciğer hastalıklarının izlenmesinde ve incelenmesinde kullanılmaktadır. Üst solunum yolu ve akciğer enfeksiyonu olarak ortaya çıkan COVID-19, ilk olarak 2019'un sonlarında Çin'in Wuhan eyaletinde ortaya çıktı. Çoğunlukla hava yolu ve temas ile bulaşmakta olup, enfekte olanların akciğerlerini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Virüs o zamandan beri hızla yayıldı ve küresel bir salgın haline geldi. Vaka sayısı ve buna bağlı ölümler her gün artmaya devam etmektedir (WHO, 2020). X-Ray ile akciğer görüntüleme, akciğer koşullarının hızlı incelenmesi için en yaygın kullanılan ve erişilebilir yöntemlerden biridir. Akciğer X-Ray görüntüleri hızlı bir şekilde radyologlar tarafından analiz edilmeye hazırdır. Göğüs röntgeni görüntülerinin, COVID-19'un akciğer dokusuna neden olduğu etkilerin izlenmesinde faydalı olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla göğüs röntgeni görüntüleri, COVID-19'un teşhisinde kullanılabilir (Ismael & Şengür, 2021). X-Ray ile akciğer grafisi, hastane kaynaklarını verimli bir şekilde tahsis etmek için COVID-19 olmayan hastaları triyaj (hastaların tıbbî olarak sınıflandırılma) yapmakta etkin bir araçtır. Bununla birlikte, COVID-19'un tıbbî görüntüleri ile yaygın grip gibi diğer viral enfeksiyonların neden olduğu pnömoni arasında birçok ortak özellik vardır. Bu benzerlik, uzman radyologların COVID-19 vakalarını ayırmada tanı koymalarını zorlaştırmaktadır. COVID-19 ve COVID-19 olmayan akciğer X-Ray görüntülerinin sınıflandırılması için güvenilir bir yöntem, COVID-19 olmayan vakaların triyaj sürecini hızlandırabilir ve hastane kaynaklarının COVID-19 vakalarına tahsis edilmesini en üst düzeye çıkarabilir (Dai vd., 2020).

Literatürde, hastalık tespiti için göğüs röntgeni görüntülerini kullanan çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerine dayalı yaklaşımlar mevcuttur. Pathak vd. (2020), COVID-19 hastalığını tespit etmek için bir transfer öğrenme yaklaşımı kullanan önceden eğitilmiş ResNet32 modeline dayalı bir yaklaşım sundular. Çalışmada, 852 görüntü (413 COVID-19 ve 139 normal) içeren bir veri kümesinde bulunan akciğer BT taraması görüntüleri kullanılarak testler yaptılar. Deneysel çalışmalarında önerilen model ile sırasıyla %96.22 ve %93.01'e varan eğitim ve test doğruluğu elde ettiler. Zhao vd. (2020), COVID-19 tespiti için önceden eğitilmiş DenseNet modeline dayalı bir yöntem geliştirdiler. COVID-BT veri seti kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda %84,7 doğruluk elde ettiler. Oğuz ve Yağanoğlu (2021), derin öğrenme tekniklerini kullanarak akciğer BT görüntülerinden COVID 19 vakası tespiti için çeşitli sınıflandırma yöntemlerinin performansları değerlendirdiler. En iyi sonucu % 95.18 başarı oranı ile ResNet-50 ve SVM sınıflandırma yöntemleri ile elde ettiler. Li vd. (2020), çalışmalarında 3.322 hastadan alınan 4.356 göğüs BT görüntüsünü içeren bir veri seti üzerinde COVID-19 hastalığını tespit etmek için önceden eğitilmiş ResNet50 mimarisine dayanan COVNet modeli kullanılarak %90 duyarlılık elde ettiler. Asnaoui vd. (2020), X-Ray ve BT görüntüleri kullanarak

pnömoninin sınıflandırılması için derin öğrenme tekniklerini kullandılar. Çalışmalarında, önceden eğitilmiş transfer öğrenme yaklaşımına dayalı çeşitli derin öğrenme (VGG16, VGG19, InceptionV3, DenseNet201, Xception, ResNet50, Inception ResNetV2 ve MobileNetV2) tekniklerinin performansları incelendiler. Deneysel sonuçlarında en yüksek doğruluk %96.61 ile ResNet50 modelinden elde ettiler. Xu vd. (2020), BT tarama görüntülerinden potansiyel olarak enfekte olmuş bölgeleri çıkarmak için önceden eğitilmiş bir üç boyutlu evrişimli sinir ağı (ESA) önerdiler. Deneysel sonuçlarda, Viral pnömoni, COVID-19 ve sağlıklı denekler kullanılarak gerçekleştirilen tahminlemede %86,7 doğruluk elde ettiler. Wang vd. (2020), göğüs radyografisi görüntülerinden COVID-19 hastalığının sınıflandırılması için önceden eğitilmiş ResNet50 mimarisini kullandılar. Çalışmalarında, COVIDx veri seti sağlıklı, pnömoni ve COVID-19 deneklerinden alınan verileri içerir. Deneysel sonuçlarına göre, ortalama %93.4 doğruluk değeri elde ettiler. Narin vd. (2020), COVID-19 hastalığının sınıflandırılmasında X-ışını görüntüleri için derin ESA tabanlı modeller kullandılar. ESA tabanlı modeller, (InceptionResNetV2, ResNet50 ve InceptionV3) göğüs röntgeni radyografilerini kullanarak koronavirus pnömonisi ile enfekte olmuş denekleri tespit etmek için kullanıldı. Deneysel sonuçlara göre, en yüksek doğruluk %98 ile ResNet50 modeliyle elde edildi. Kesim vd. (2019), akciğer X-Ray görüntü sınıflandırması için yeni bir ESA modeli önerdiler. Yazarlar önceden eğitilmiş ESA modellerinin pratik uygulamalarda zorluklar yarattığı bilinmesi nedeniyle küçük boyutlu bir ESA mimarisi geliştirdiler. Çalışmalarında 12 sınıflı bir akciğer görüntü veri seti kullanılmış ve testlerinde %86 doğruluk elde etmişlerdir. Chouhan vd. (2020), bir topluluk modeli olarak uygulanan beş yeni derin transfer-öğrenme tabanlı modeli kullanarak göğüs röntgeni görüntülerinde pnömoni tespit ettiler. Yazarlar, geliştirdikleri topluluk derin modelini kullanarak % 96.4 doğruluk değeri rapor ettiler. Bhandary vd. (2020), akciğer X-Ray görüntülerinden akciğer anormalliklerinin tespiti için AlexNet modelini değiştirdiler. Yeni bir "eşik filtresi" ve öznelik topluluğu stratejisi ile %96 sınıflandırma doğruluğu elde ettiler. Ho ve Gwak (2019), 14 göğüs hastalığının etkin sınıflandırılması için derin özellikler ve dört yerel doku tanımlayıcısı (SIFT, GIST, LBP ve HOG) kullanan özellik birleştirme yöntemini tercih ettiler. Farklı sınıflandırıcılar ile en yüksek %84.62 doğruluk değeri elde ettiler.

Bu çalışmada, akciğer X-Ray görüntülerini COVID-19, normal ve viral pnömoni hastalar olarak sınıflandırabilen 11 farklı derin öğrenme tekniğinin aynı veri kümesi üzerinde performans değerlendirmesi ve karşılaştırması yapılmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada en basit sinir ağından başlayarak en karmaşığa doğru sinir ağları ile en iyi tahminleme yöntemi araştırılmıştır. Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de materyal ve metottan bahsedilmiştir. Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan veri setinden ve uygulaması yapılan derin öğrenme tekniklerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3'de deneysel çalışmalar, Bölüm 4'de ise çalışmanın tartışma ve sonuçlar kısmına yer verilmiştir.

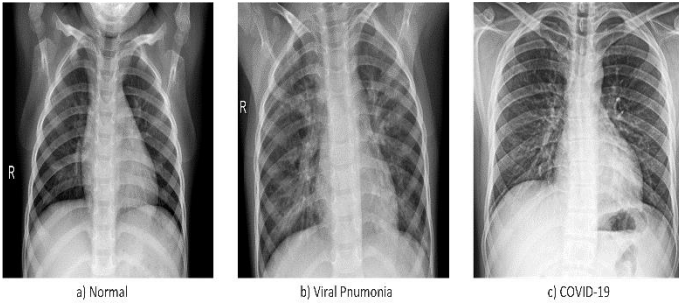


Şekil 1. Derin öğrenme teknikleri ile COVID-19 tespitinde farklı modellerin karşılaştırılmasında kullanılan mimari

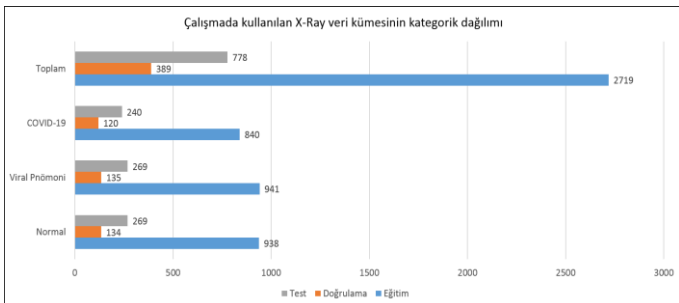
## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada popüler veritabanı Kaggle'nin COVID-19 radyografi veritabanından elde edilen akciğer röntgeni görüntülerini kullanıldı (Chowdhury vd., 2020). Bu veri kümesi, COVID-19, viral pnömoni (zatürre) ve sağlıklı (normal) insanlara ait göğüs röntgen görüntüleri olmak üzere üç farklı sınıfa ait görüntülerden oluşturulmuştur. Toplam 3886 göğüs röntgeni görüntüsü olup, 1200 adet COVID-19 görüntüsü, 1345 adet viral pnömoni görüntüsü ve 1341 adet normal görüntü mevcuttur. Şekil 2'de bu veri kümesinden COVID-19, viral pnömoni ve normal vakaya ait görüntü örnekleri gösterilmektedir. Şekil 3'de çalışmada kullanılan X-Ray verisinin %70 eğitim, %10 doğrulama ve %20 test için ayrılmış hali üzerinden kategorik dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2. Veri kümesindeki örnek Normal, Viral Pnömoni ve COVID-19 akciğer X-Ray görüntüleri



Şekil 3. Çalışmada kullanılan X-Ray veri kümesinin kategorik dağılımı

COVID-19 hastalarının röntgen görüntülerinde aşağıdaki bulgular görülmektedir. (1) Buzlu cam dansiteleri. (2) Hava-boşluğu konsolidasyonu. (3) Buzlu cam görünümü ile crazy paving(kaldırım taşı) paterni. (4) Traksiyonel bronşiektaziler. COVID-19 ile benzer şekilde Pnömoni hastalarının röntgen görüntülerinde de aşağıdaki bulgular gözlenmektedir. (1) Retiküler opaklık (2) Buzlu cam görünümü. (3) Peribronkovasküler interstisyel kalınlaşma (4) Vasküler kalınlaşma (5) Bronşiyal duvar kalınlaşması (Ouchicha vd., 2020). Bu yönleriyle, COVID-19 ile Pnömoni akciğer röntgeni görüntüleri benzerdir ve benzer özellikler içermektedir. Dolayısıyla, bu görüntülere bakarak hastalıkların teşhisi noktasında yanlış tanı konulması ihtimali bulunmaktadır.

### 2.2. Metod

Derin öğrenme, makine öğrenimi tekniklerinin bir alt kümesidir. Günümüzde etkili bir makine öğrenimi tekniği olarak birçok uygulamada kullanılmaktadır. Derin öğrenmenin başarıyla kullanıldığı başlıca alanlar bilgisayarla görme, ses tanıma ve doğal dil işlemedir. Derin öğrenmenin yaygın başarısının nedeni, çıktıyı hesaplama yöntemidir. Derin öğrenmenin geleneksel tekniklere göre önemli bir avantajı, açık bir öznitelik çıkarma aşaması gerektirmemesidir. Ağ, ham girdiyi alır ve istenen çıktıya eşler. Özellikler, manuel müdahale olmaksızın ağ tarafından otomatik olarak öğrenilir. Bu modeller her ne kadar yüksek işlem gücü gerektirse de, günümüzde işlemci güçlerinin artmasıyla birlikte bu artık bir sorun olarak görülmemektedir. Derin öğrenme modelleri, artan sayıda gizli katmana sahip geleneksel ağların bir ilerlemesidir. Gizli katmanlar, bu ağların performansını büyük ölçüde artırır. Derin öğrenme teknikleri, orijinal görüntülerden görünmeyen görüntü özniteliklerini otomatik olarak ortaya çıkarabilir. Özniteliklerin çıkarılmasında herhangi bir insan müdahalesi ya da el ile özniteliklerin belirlenmesi yapılmaz. Derin öğrenme son zamanlarda, örüntü tanıma ve görüntü sınıflandırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır (Singh vd., 2020).

Bu çalışmada, akciğer X-Ray görüntülerini COVID-19, normal ve viral pnömoni (zatürre) hastalar olarak sınıflandırabilen farklı modeller ile derin öğrenme tekniklerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada, 11 farklı derin öğrenme tekniği üzerinde çalışılmıştır. Bu teknikler; Sığ-Tam Bağlı Ağ Modeli (Shallow-Fully Connected Network

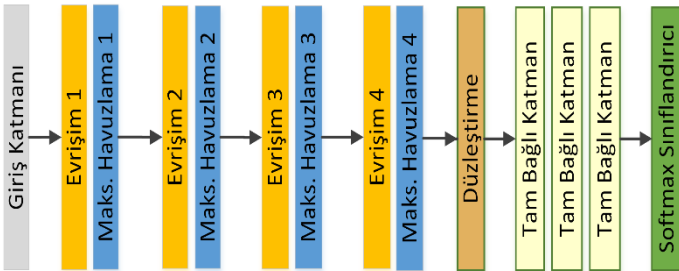
Model), Derin-Tam Bağlı Ağ Modeli (Deep-Fully Connected Network Model), Sığ-Evrişimli Ağ Modeli (Shallow-Convolutional Network Model), Derin-Evrişimli Ağ Modeli (Deep-Convolutional Network Model), VGG16, VGG19, ResNet50, InceptionV3, Xception, AlexNet, DenseNet121 modelidir. Bu aşamada, veri kümesi üzerinde deneysel çalışmaları ve karşılaştırmaları yapılan her bir modele ait daha fazla bilgiye yer verilmiştir.

### 2.2.1. Sığ ve Derin-Tam Bağlı Ağ Modelleri

Sinir Ağının birçok gizli katmandan oluştuğu bilinmektedir. Sığ sinir ağları yalnızca bir kaç gizli katmandan oluşur. Sığ bir sinir ağını anlamak, derin bir sinir ağının içinde tam olarak neler olup bittiğine dair bir fikir vermektedir. Bu çalışmada da öncelikle bir sığ sinir ağı modeli kurulmuş daha sonra daha fazla gizli katmanlar ile derin bir sinir ağı modeli uygulanmış ve sonuçlar alınmıştır. Bu aşamada, oluşturulan sığ sinir ağında dört gizli katman, derin sinir ağında ise dokuz gizli katman ve daha fazla nöron bulunmaktadır.

### 2.2.2. Sığ ve Derin Evrişimli Ağ Modelleri

Evrişimli sinir ağı (ESA), derin öğrenmede yaygın olarak bilgisayarla görme (Hassaballah & Awad, 2020) ve doğal dil işleme (Otter vd., 2020) çalışmalarına uygulanan bir derin sinir ağı sınıfıdır. ESA, esasında çok katmanlı algılayıcıların (multilayer perceptron) düzenli bir versiyonudur. Bir ESA, bir giriş katmanından, birden çok gizli katmandan ve bir çıktı katmanından oluşur. ESA, evrişim (convolution) ve havuzlama (pooling) olmak üzere iki temel işlem içerir. Gizli katmanlar yapısal olarak evrişimli katmanlar, ReLU (aktivasyon işlevi) katmanları, havuz katmanları, tamamen bağlı katmanlar ve normalleştirme katmanlarını içerir. Çoklu filtre kullanan evrişim işlemi, veri setinden ilgili uzamsal bilgilerin korunabileceği özellikleri (özellik haritası) çıkarabilir. Alt örnekleme olarak da adlandırılan havuzlama işlemi, evrişim işleminden öznelik haritalarının boyutluluğunu azaltmak için kullanılır. Maksimum havuzlama ve ortalama havuzlama, ESA'da kullanılan en yaygın havuzlama işlemleridir. ESA'nın karmaşıklığı nedeniyle RELU, eğitimdeki gradyanı geri yayılım yoluyla aktarmak için kullanılan bir aktivasyon işlevidir. Diğer sınıflandırma algoritmaları ile karşılaştırıldığında, ESA çok daha az ön işlem gerektirir ve eğitim sayısı arttıkça daha iyi sonuçlar verebilir.



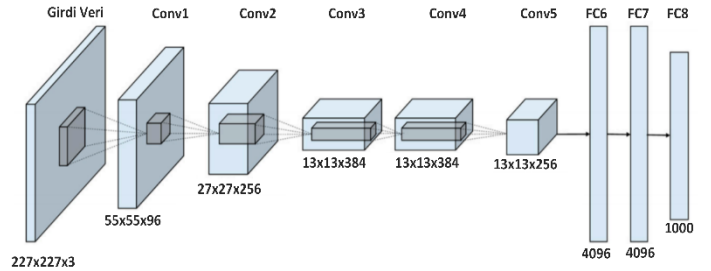
Şekil 4. Bu çalışmada oluşturulan derin ESA modelinin mimarisini

Bu çalışmada, ESA'ya daha az ve daha fazla gizli katmanlar ekleyerek sığ ve derin evrişimli sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Evrişimli katmanlar, havuz katmanları ve tam bağlı katmanlar art arda getirilerek bir ESA modeli kurulmuştur. Bu çalışmada oluşturulan derin ESA modeli, Şekil 4'te görüldüğü gibi dört küme evrişim havuzlama ağı, bir düzleştirilmiş (flatten) katmanı, üç tam bağlı katman (fully connected layer) ve bir sınıflandırıcıdan oluşur. Model

39,361,539 parametreye sahiptir ve tam mimari yapısı Şekil 4'te gösterilmiştir.

### 2.2.3. AlexNet Model

Bu çalışmada, Krizhevsky vd. (2012) tarafından geliştirilen evrişimsel sinir ağı olan Alexnet kullanıldı. AlexNet, ESA'ların popüler hale gelmesinde etkili olan bir modeldir. Daha sonra Visual Geometry Group (VGG- Oxford Üniversitesi) tarafından VGG16 modeli geliştirilmiştir (Toraman & Bihter, 2020). AlexNet, beş konvolüsyonel (evrişim) katman ve üç tam bağlı katman içerir (Şekil 5). Son tam bağlı katman 1000 sınıfa bağlanır ve ağın geri kalanı bir öznelik çıkarıcı olarak kabul edilir. AlexNet, çıkış katmanından hemen önce gizli katmanın aktivasyonlarını içeren her görüntü için 4096 boyutlu öznelik vektörünü sağlar (Abd Almisreb vd., 2018; Özbilgin & Cengiz, 2020).



Şekil 5. AlexNet mimarisini (Han vd., 2017)

### 2.2.4. VGG16 Modeli

Simonyan ve Zisserman (2014) tarafından mevcut ESA'nın derinliği artırılarak VGGNet adında yeni model önerilmiştir. VGG16, 2014 yılında Imagenet yarışmasını kazanmak için kullanılan bir ESA mimarisidir. Ön eğitimsiz bir modeldir. VGG16 orijinal olarak 100000 görüntü içeren ImageNet veri seti kullanılarak eğitilmiştir. Bu model, bu tarihe kadar önerilen mükemmel görüntü modeli mimarilerinden biri olarak kabul edildi. VGG16, 13 evrişimsel, 5 adet havuzlama ve 3 tam bağlantılı katmandan oluşmaktadır. Bu model, her bir katmanında evrişim, maksimum havuzlama ve tam bağlı katmanların olduğu 16 gizli katmandan ve 3x3'lük filtrelerden oluşmaktadır. Bu ağ oldukça büyük bir ağıdır, ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır ve yaklaşık 138 milyon parametreye sahiptir.

### 2.2.5. VGG19 Modeli

AlexNet ile karşılaştırıldığında, VGG-19, daha fazla katmana sahip daha derin bir ESA'dır. VGG19, 16 evrişimsel, 5 adet havuzlama ve 3 tam bağlantılı katmandan oluşmaktadır. VGG19'da, VGG16'ya benzer şekilde 5 havuzlama ve son katman olarak SoftMax (sınıflandırıcı)'tan oluşmaktadır. VGG16, 138 milyon parametre içerirken, VGG19 yaklaşık 144 milyon parametre içermektedir (Gopalakrishnan vd., 2017; Toraman & Bihter, 2020). Bu ESA ağındaki parametre sayısını azaltmak için, tüm evrişimli katmanlarda 3x3'lük küçük filtreler kullanılmıştır. 2014 yılında Imagenet yarışmasında VGG-19, bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmiştir. Sonuç olarak, model geniş bir görüntü yelpazesi için zengin öznelik temsilini öğrenmiştir (Zheng vd., 2018).

### 2.2.6. ResNet50 Model

2014 yılında, 14 milyon resmin olduğu (20 binden fazla kategoride olan) ImageNet görüntü veritabanı kullanılarak görüntü tanıma yarışması yapılmıştır (Szegedy vd., 2015).



Resnet50, bu yarışmada veri kümesi üzerinde eğitimi tamamlanmış 50 katmanlı bir ağıdır. ResNet iki adet 3x3'lük evrişim katmanı yerine 1x1, 3x3 ve 1x1'lik evrişim katmanları kullanır. ResNet50, 50 katmana sahip kısa bir kalıntı (residual) ağ biçimidir. Resnet50, VGG16 ile karşılaştırıldığında ek bir kimlik (identity mapping) eşleme özelliğine sahiptir. ResNet, bir katmandan diğerine nihai tahmine ulaşmak için gereken delta'yı tahmin eder. ResNet50 modeli ESA ağındaki performans düşümü (degradation) problemini çözmeyi amaçlamaktadır. Bozulma problemi, derin ağlar yakınsamaya doğru gittikçe ortaya çıkar. Bu anlamda, doğruluk (accuracy) ağıın derinliğine paralel olarak doygunluğa ulaşır ancak daha sonra düşüş eğiliminde hızlanma gözlenir. Dolayısıyla ResNet, katmanlar arası kısa yollar ekleyerek bu problemi çözmeye çalışır. ResNet, gradyanın ilerlemesi için bu alternatif kısa yol yoluna izin vererek kaybolan gradyan problemini azaltır. ResNet'te kullanılan kimlik eşleme, mevcut katman gerekli değilse modelin bir ESA ağırlık katmanını atlmasına izin verir. Bu sayede ağıın derinleşmesiyle oluşan bozulmanın önüne geçilmiş olur. Bu, eğitim setine aşırı öğrenme (over-fitting) sorununu önlemeye yardımcı olur (He vd., 2016; Theckedath & Sedamkar, 2020).

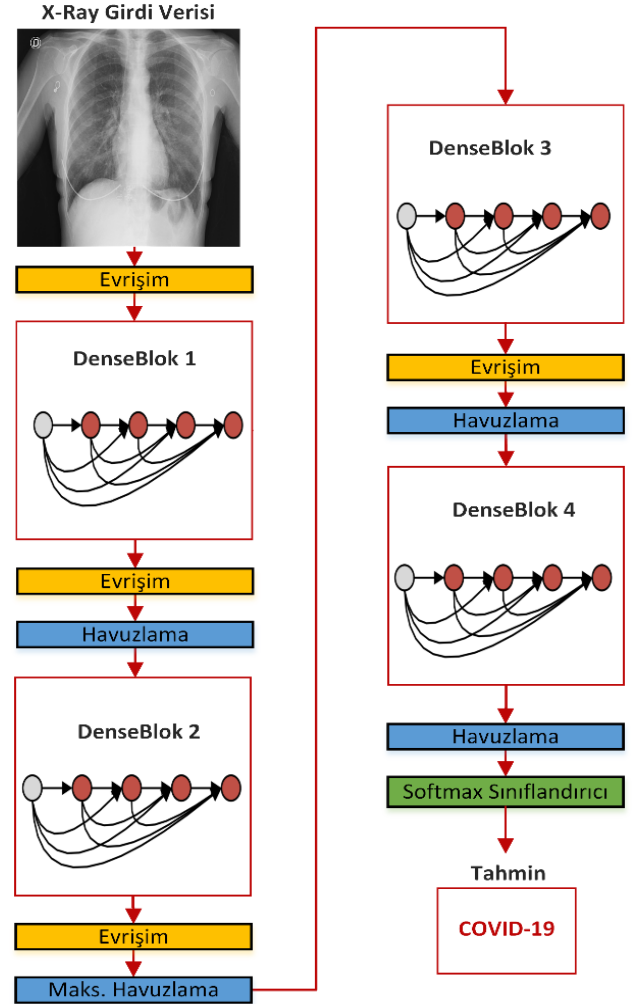
### 2.2.7. Inception V3 Model

Inception V1 (veya GoogLeNet), ILSVRC 2014'teki yarışmada derin ESA son teknoloji mimarisidir (Rawat & Wang, 2017). Bu model, ILSVRC 2014 görüntü sınıflandırma yarışmasının galibi olmuştur. ImageNet veri kümesi üzerinde, sınıflandırmada en yüksek başarı ve en düşük hata eldesi kayıtlara geçmiştir. Önceki kazanan AlexNet (ILSVRC 2012 kazananı) ve ZF-Net (ILSVRC 2013 kazananı) ile karşılaştırıldığında hata oranında önemli bir düşüş sağladı ve VGG'den (2014 ikincisi) önemli ölçüde daha az hata oranı sağladı. Ancak doğruluğu iyileştirmek ve karmaşıklığı azaltmak için modelde iyileştirmeler yapılabilecek bazı noktalar olduğu anlaşılmıştır. Basit Inception (Inception V1)'de ağ ile ilgili en büyük problem görüntü boyutuna göre değişen 5x5'lik evrişimin çok sayıda olması hesaplama açısından maliyeti artırmaktadır. Bunun her bir aşamada evrişim katmanının ve havuzlama katmanının çıktısında birleşerek olması çıktı boyutunda büyümeye sebep olur. Bundan dolayı, Inception V2 mimarisinde 5x5'lik evrişim, iki 3x3'lük evrişim ile değiştirilir. Bu hesaplama süresini azalttığı gibi, dolayısıyla hesaplama hızını da artırır. Çünkü 5x5'lik evrişim, 3x3'lik evrişimden 2.78 kat daha pahalıdır. Dolayısıyla 5x5 yerine iki 3x3 katman kullanmak mimarinin performansını artırmaktadır. Inception V3, Inception V1'i temel alır ve doğruluğu daha da artırır. Noktasal evrişim, yığın normalizasyon ve evrişim çarpanlarına ayırma kullanır. VGGNet'e göre daha verimlidir. InceptionV3, 48 katman derinliğindedir ve 1x1, 3x3 ve 5x5 evrişimli birleştirilmiş katmandan oluşan inception modüllerini kullanır. 5x5 ve 7x7 boyutlarında evrişimler yerine iki ya da üç tane 3x3 boyutlu evrişimler kullanılmaktadır. Bunu yaparak parametre sayısı azalmış ve eğitim hızı artırılmıştır. Inception V3'te amaç, ağıın derinlik ve genişliğini eniyileyerek ağıdan en yüksek bilgi akışının sağlanması olmuştur. Ağıın derinliği arttıkça genişliği de beraberinde artmaktadır (Szegedy vd., 2016).

### 2.2.8. Xception Model

Xception, Google tarafından Inception'ın extreme sürümü olarak sunulmuştur. Xception, 71 katman derinliğinde evrişimli bir sinir ağıdır. Xception, derinlikte ayrılabilir evrişim ve ResNet'teki gibi evrişim blokları arasındaki kısa yollar şeklinde

iki ana noktaya dayanan verimli bir mimaridir. Değiştirilmiş derinlemesine ayrılabilir bir evrişim ile hem ImageNet ILSVRC hem de JFT veri kümeleri için InceptionV3 ile daha iyi performans elde edilmiştir. Xception model; VGGNet, ResNet ve InceptionV3'ten daha iyi performans gösterir. Xception modeli ile derinlemesine ayrılabilir evrişim uygulanmıştır. Bu önemli ölçüde evrişim işlem maliyetini azaltabilir (Chollet, 2017).



Şekil 6. Bu çalışmada kullanılan DenseNet121 mimarisi

### 2.2.9. DenseNet121 Model

DenseNet (Huang vd., 2017), kaybolan gradyan problemini hafifleterek, özneteliğin yeniden kullanımını artırarak ve parametre kullanımını azaltarak derin öğrenme modellerinin eğitimini yönetilebilir hale getirmiştir. Çeşitli bilgisayarlı görme problemlerinde önemli ölçüde performans vermiştir. DenseNet121'in ana yapı taşı dense bloklardır (DenseBlock). Bu DenseBlock'lar, evrişim katmanlarından oluşur. DenseNet121, nihai çıktı katmanı olarak 1000 birimlik tam bağlı (fully-connected) bir katmana sahip 121 tane bağlanmış evrişimli katmandan oluşur. Genel olarak, ESA mimarileri hiyerarşiktir, bu nedenle  $l-1$ .katmanın öznetelik haritaları (feature maps)  $l$ . katmana girdi olarak verilir. Ancak DenseNet'te, önceki tüm katmanların öznetelik haritaları birleştirilir ve herhangi bir belirli katman için girdi olarak kullanılır. Ayrıca, sonraki tüm katmanlar için girdi olarak kendi öznetelik haritaları kullanılır. Dolayısıyla,  $l$ .katman için, önceki tüm  $X_0, X_1, \dots, X_{l-1}$  katmanlarının öznetelik haritaları birleştirilir ve girdi olarak kullanılır (Sarker vd., 2021).

Table 1. Farklı Derin Öğrenme Tekniklerini Performans Değerlendirmesi

Model	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1-Skoru (%)	Doğruluk (%)
Sığ-Tam Bağlı Ağ Modeli	90.72	90.82	90.67	90.62
Derin-Tam Bağlı Ağ Modeli	92.03	92.20	92.08	92.03
Sığ-Evrişimli Ağ Modeli	94.85	94.78	94.78	94.73
Derin-Evrişimli Ağ Modeli	96.12	96.02	96.07	96.02
AlexNet Model	95.78	95.88	95.81	95.76
VGG16 Model	95.90	95.90	95.84	95.76
VGG19 Model	95.67	95.62	95.59	95.50
ResNet50 Model	93.50	93.50	93.41	93.32
InceptionV3 Model	93.70	93.88	93.75	93.70
Xception Model	95.88	95.57	95.58	95.50
DenseNet121 Model	<b>97.31</b>	<b>97.23</b>	<b>97.26</b>	<b>97.17</b>

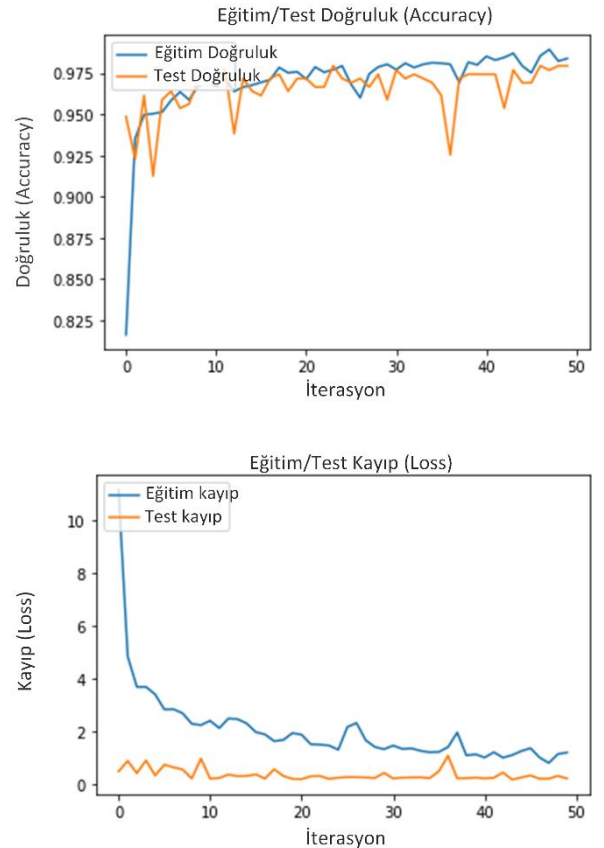
Bu özel model, ağ üzerinden bilgi akışını iyileştirir ve kaybolan gradyan problemini hafifletir. Ayrıca, DenseNet özneteliğinin yeniden kullanımını ve parametre verimliliğini geliştirir ve her bir katmana ağırlık toplu bilgisini sağlar (Kumar vd., 2020). Mimarimiz olarak DenseNet'i seçmemizin en önemli nedeni, yoğun bağlantının düzenleme etkisine sahip olması ve çok büyük olmayan veri üzerinde eğitimde aşırı öğrenmeyi azaltmasıdır. DenseNet121, dört Dense bloğa ve her iki Dense blok arasında bir geçiş katmanına sahiptir (Şekil 6). Her Dense blok birkaç evrişim katmanından oluşur ve her geçiş katmanı bir yığın normalizasyon, bir evrişim ve bir ortalama havuz katmanından oluşur. Doğrusal olmamayı artırmak için DenseNet'te ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Modelimizde, DenseNet121'in son katmanı, giriş görüntüsünden öznetelikleri üreten global bir ortalama havuzlama katmanıdır. Bu öznetelikler sınıflandırıcı tarafından nihai tahmini yapmak için kullanılır. Sınıflandırıcı için, tam bağlı bir katman ve ardından bir softmax aktivasyon işlevi kullanılmıştır. Üç sınıflı (COVID-19, Viral Pnömonili ve Normal) sınıflandırma için, tam bağlı üç birimlik bir katman kullanılmıştır. Softmax aktivasyonu, tam bağlı katmanın çıktısını normalleştirir ve tahmin edilen çıktı sınıfları üzerinde bir olasılık dağılımı oluşturur.

### 3. Deneysel Çalışmalar

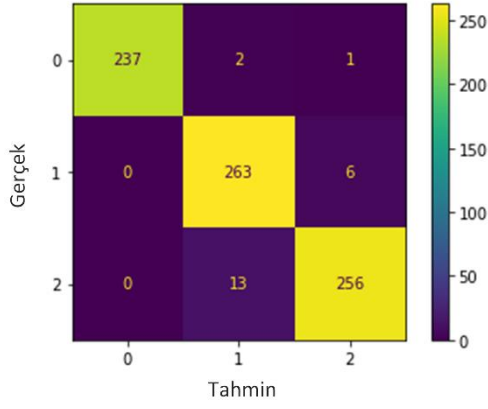
Bu çalışmadaki deneysel çalışmalar, Intel (R) Core (TM) i7 8700U CPU @ 3.20 GHz işlemcili, 4 GB NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti ekran kartlı ve 16GB birincil belleğe sahip masaüstü bilgisayarında gerçekleştirildi. Python 3.7 ve ilgili kütüphaneleri kullanılarak yazılım gerçekleştirildi. Deneysel çalışmada veriler %70 eğitim, %10 doğrulama ve %20 test için ayrılmıştır.

Bu aşamada farklı derin öğrenme tekniklerinin performansı farklı değerlendirme ölçütleri ile yapıldı. Farklı tekniklerin performansı, kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1-skoru, doğruluk (accuracy) olmak üzere dört performans ölçütü kullanılarak değerlendirildi. Bu değerler, her bir sınıf için hata matrisleri üzerinden hesaplanır (Bozkurt vd., 2020; Erdem & Bozkurt, 2021; Yağanoğlu & Irmak, 2021). Tablo 1'de değerlendirme sonuçlarında verildiği gibi, basit yapay sinir ağı Sığ-Tam bağlı ağ model (Bozkurt vd., 2015) ile başlayarak derin öğrenmeye giden süreçte günümüzde popüler olan derin evrişimli sinir ağları kullanıldı. Aynı veri üzerinde farklı sinir

ağları ve evrişimli sinir ağları tabanlı modelleri koşturularak her birinin performansı kayıt altına alınmıştır. Diğer yöntemlere göre en basit sinir ağı modeli olan Sığ-tam bağlı ağ modelinde dört gizli katman ve her bir katmanda sırasıyla 128,256,128 ve 64 nöron kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, en düşük doğruluk değeri %90.62 olarak bu modelden elde edilmiştir. Doğruluk performansını daha da iyileştirmek için evrişim sinir ağları kullanarak ağı daha fazla gizli katmanlar ve evrişimli katmanlar eklenmiştir. Örneğin Derin-Evrişimli sinir ağı (ESA) modeli, dört küme evrişim havuzlama ağı, bir düzleştirilmiş katmanı, üç tam bağlı katman ve bir sınıflandırıcıdan oluşur. Model 39,361,539 parametreye sahiptir.



Şekil 7. DenseNet121 modelinin eğitim/test doğruluk ve eğitim/test kayıp grafikleri



Şekil 8. DenseNet121 modelinden elde edilen hata matrisi

Tablo 1’de görüldüğü gibi, yapılan deneysel çalışmada Derin-Evrişimli ağ modeli ile %96.02 doğruluk değeri elde edilmiştir. Benzer şekilde ESA’nın gelişmiş sürümlerinden olan ve günümüzde popüler yöntemlerden biri DenseNet121 modeli ile benzer deneysel çalışma yapılmıştır. Bu model ile bu çalışmada en yüksek doğruluk değeri olan %97.17’ye ulaşılmıştır. Bu modelin diğer tekniklere göre daha performanslı olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 7’de DenseNet121 modelinin 50 iterasyon için eğitim/test doğruluk ve eğitim/test kayıp grafikleri verilmiştir. Hem test hem de eğitim doğruluk eğrileri, iterasyon sayısı arttıkça yükselen bir eğim gösterir. Kayıp eğrisi, Şekil 7’de gösterildiği gibi hata oranındaki düşüşü göstermektedir. Eğitim sürecinin ve ağın öğrenilmesinin iyi bir öğrenme oranında olduğunu göstermektedir. Şekil 7’de görüldüğü gibi her iterasyonda kayıp değeri azalırken verilen eğitim seti ile doğruluk oranı artar ve öğrenme gerçekleşir. Şekil 8’de en yüksek doğruluk değeri elde edilen DenseNet121 modelinin hata (confusion) matrisi verilmiştir. Bu tabloda 0=COVID-19, 1=Viral Pnömoni ve 2=Normal sınıfı temsil etmektedir. Örneğin test verisi için ayrılmış 240 COVID-19 görüntüsünden 237 adet görüntüye ait tahminin doğru yapıldığı görülmektedir. Benzer şekilde tüm modellerin hata matrisleri çıkarılmış olup bu matrisler üzerinden Tablo 1’deki performans değerleri hesaplanmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Akciğer X-Ray görüntüsü, COVID-19 olmayan pnömoni hastalar için birinci basamak triyaj (hastaların tıbbi olarak sınıflandırılması) işlemi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, COVID-19’un akciğer X-Ray görüntüsü görüntülerinin özellikleri ile diğer enfeksiyonların neden olduğu pnömoni arasındaki benzerlik, radyologların hastalığın tanısını koymada işini zorlaştırmaktadır. Derin öğrenme tabanlı sınıflandırıcıların, COVID-19 hastalarının akciğer X-Ray görüntülerini diğer pnömoni türlerinden güvenilir bir şekilde ayırt edebileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, akciğer X-Ray görüntülerini COVID-19, normal ve viral pnömoni hastalar olarak sınıflandırabilen 11 farklı derin öğrenme tekniğinin aynı veri kümesi üzerinde performans değerlendirmesi ve karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmada en basit sinir ağından başlayarak en karmaşığa doğru sinir ağları ile en iyi tahminleme yöntemi araştırılmıştır. Diğer yöntemlere göre en basit sinir ağı modeli olan Sığ-tam bağlı ağ modeli ile en düşük doğruluk değeri %90.62 olarak elde edilmiştir. Doğruluk performansını daha da iyileştirmek için evrişim sinir ağları kullanarak ağa daha fazla gizli katmanlar ve evrişimli katmanlar eklenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada Derin-Evrişimli sinir ağ modeli ile %96.02

doğruluk değeri elde edilmiştir. Ayrıca ESA’nın gelişmiş sürümlerinden olan ve günümüzde popüler yöntemlerden biri DenseNet121 modeli ile benzer deneysel çalışma yapılmıştır. Bu model ile bu çalışmada en yüksek doğruluk değeri olan %97.17’ye ulaşılmıştır. DenseNet121 modelinin diğer tekniklere göre daha performanslı olduğu gözlemlenmiştir. İleri çalışmalarda derin öğrenme tabanlı diğer güncel yaklaşımlar araştırılacak olup, popüler derin öğrenme teknikleri, hibrit yöntemler ve daha fazla veri üzerinde çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

#### Kaynakça

- Abd Almisreb, A., Jamil, N., & Din, N. M. (2018). Utilizing AlexNet deep transfer learning for ear recognition. In 2018 Fourth International Conference on Information Retrieval and Knowledge Management (CAMP) (pp. 1-5). IEEE.
- Asnaoui, K. E., Chawki, Y., & Idri, A. (2020). Automated methods for detection and classification pneumonia based on x-ray images using deep learning. arXiv preprint arXiv:2003.14363.
- Bhandary, A., Prabhu, G. A., Rajinikanth, V., Thanaraj, K. P., Satapathy, S. C., Robbins, D. E., ... & Raja, N. S. M. (2020). Deep-learning framework to detect lung abnormality—A study with chest X-Ray and lung CT scan images. Pattern Recognition Letters, 129, 271-278.
- Bozkurt, F., Altay, Ş. Y., Yaganoğlu, M., (2015). Yapay Sinir Ağları İle Ankara İlinde Hava Kalitesi Sağlık İndeksi Tahmini, 2.Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, Erzurum.
- Bozkurt, F., Köse, C., & Sarı, A. (2020). A texture-based 3D region growing approach for segmentation of ICA through the skull base in CTA. Multimedia Tools and Applications, 79(43), 33253-33278.
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1251-1258).
- Chouhan, V., Singh, S. K., Khamparia, A., Gupta, D., Tiwari, P., Moreira, C., ... & De Albuquerque, V. H. C. (2020). A novel transfer learning based approach for pneumonia detection in chest X-ray images. Applied Sciences, 10(2), 559.
- Chowdhury, M. E., Rahman, T., Khandakar, A., Mazhar, R., Kadir, M. A., Mahbub, Z. B., ... & Islam, M. T. (2020). “Can AI help in screening viral and COVID-19 pneumonia?”, IEEE Access, 8, 132665-132676.
- Dai, W. C., Zhang, H. W., Yu, J., Xu, H. J., Chen, H., Luo, S. P., ... & Lin, F. (2020). CT imaging and differential diagnosis of COVID-19. Canadian Association of Radiologists Journal, 71(2), 195-200.
- Erdem, E., & Bozkurt, F. (2021). A comparison of various supervised machine learning techniques for prostate cancer prediction. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 610-620.
- Gopalakrishnan, K., Khaitan, S.K., Choudhary, A., Agrawal, A. (2017). Deep Convolutional Neural Networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection, Constr. Build. Mater. 157, 322–330.
- Han, X., Zhong, Y., Cao, L., & Zhang, L. (2017). Pre-trained alexnet architecture with pyramid pooling and supervision for high spatial resolution remote sensing image scene classification. Remote Sensing, 9(8), 848.

- Hassaballah, M., & Awad, A. I. (Eds.). (2020). Deep learning in computer vision: principles and applications. CRC Press.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 770-778.
- Ho, T. K. K., & Gwak, J. (2019). Multiple feature integration for classification of thoracic disease in chest radiography. *Applied Sciences*, 9(19), 4130.
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 4700-4708.
- Ismael, A. M., & Şengür, A. (2021). Deep learning approaches for COVID-19 detection based on chest X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 164, 114054.
- Kesim, E., Dokur, Z., & Olmez, T. (2019). X-ray chest image classification by a small-sized convolutional neural network. In 2019 scientific meeting on electrical-electronics & biomedical engineering and computer science (EBBT) (pp. 1-5). IEEE.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 1097-1105.
- Kumar, S., Mishra, S., & Singh, S. K. (2020). Deep Transfer Learning-based COVID-19 prediction using Chest X-rays. medRxiv.
- Li, L., Qin, L., Xu, Z., Yin, Y., Wang, X., Kong, B., ... & Xia, J. (2020). Artificial intelligence distinguishes COVID-19 from community acquired pneumonia on chest CT. *Radiology*.
- Narin, A., Kaya, C., & Pamuk, Z. (2020). Automatic detection of coronavirus disease (covid-19) using x-ray images and deep convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:2003.10849.
- Oğuz Ç. & Yağanoğlu, M. (2021). Determination of Covid-19 Possible Cases by Using Deep Learning Techniques, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 7-17.
- Otter, D. W., Medina, J. R., & Kalita, J. K. (2020). A survey of the usages of deep learning for natural language processing. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*.
- Ouchicha, C., Ammor, O., & Mekkassi, M. (2020). CVDNet: A novel deep learning architecture for detection of coronavirus (Covid-19) from chest x-ray images. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140, 110245.
- Özbilgin, F., & Cengiz, T. E. P. E. (2020). Robotik Uygulamalar İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tespiti ve Sınıflandırması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 205-213.
- Pathak, Y., Shukla, P. K., Tiwari, A., Stalin, S., & Singh, S. (2020). Deep transfer learning based classification model for COVID-19 disease. *Irbm*.
- Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural computation*, 29(9), 2352-2449.
- Sarker, L., Islam, M. M., Hannan, T., & Ahmed, Z. (2021). Covid-densenet: A deep learning architecture to detect covid-19 from chest radiology images.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Singh, K. K., Siddhartha, M., & Singh, A. (2020). Diagnosis of Coronavirus Disease (COVID-19) from Chest X-ray images using modified XceptionNet. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 23(657), 91-115.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 1-9.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 2818-2826.
- Theckedath, D., & Sedamkar, R. R. (2020). Detecting Affect States Using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 Networks. *SN Computer Science*, 1(2), 1-7.
- Toraman, S., & Bihter, D. A. Ş. (2020). Evrimsel sinir ağları kullanılarak normal ve göğüs kanseri hücreleri içeren genomların sınıflandırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 81-90.
- Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- WHO. (2020). Coronavirus disease (COVID-19) Pandemic. Erişim: 15 Şubat 2021. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>.
- Xu, X., Jiang, X., Ma, C., Du, P., Li, X., Lv, S., ... & Li, L. (2020). A deep learning system to screen novel coronavirus disease 2019 pneumonia. *Engineering*, 6(10), 1122-1129.
- Yağanoğlu, M., & Irmak, E. (2021). Separation of Incoming E-Mails Through Artificial Intelligence Techniques. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 690-696.
- Zhao, J., Zhang, Y., He, X., & Xie, P. (2020). Covid-ct-dataset: a ct scan dataset about covid-19. arXiv preprint arXiv:2003.13865.
- Zheng, Y., Yang, C., & Merkulov, A. (2018). Breast cancer screening using convolutional neural network and follow-up digital mammography. In *Computational Imaging III*, Vol. 10669, p.1066905, International Society for Optics and Photonics.



# Security Analysis of Java SecureRandom Library

Kenan İnce

İnönü University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4709-9557), [kenanince@gmail.com](mailto:kenanince@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900956)

**ATIF/REFERENCE:** İnce, K. (2021). Security Analysis of Java SecureRandom Library. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 157-160.

## Abstract

Java is one of the most used programming languages. Developers use java language in all of their projects, embedded systems or as a background service provider for different frontend applications. In today's world where security gains importance day by day, the reliability of security libraries of programming languages is also gaining importance.

One of the common research area of computer security is random number generation. Most of the cryptographic applications require random numbers. Many different approaches exist for secure random number generation. However, most of them are academic for today. For this reason, it is more common to use libraries that are available in programming languages. In this study, a comprehensive analysis of Java SecureRandom library by means of security is presented. NIST 800-22 test suit is used for randomness tests.

**Keywords:** SecureRandom, Java Security, NIST 800-22, Randomness Tests.

## Java SecureRandom Kütüphanesinin Güvenlik Analizi

### Öz

Java en çok kullanılan programlama dillerinden biridir. Geliştiriciler java dilini projelerinin tamamında, gömülü sistemlerde veya farklı arayüz projeleri için servis katmanında kullanmaktadırlar. Güvenliğin her geçen gün önem kazandığı günümüzde, programlama dillerinin güvenliğinin bütünlüğü önem kazanmaktadır.

Rasgele sayı üretimi, bilgisayar güvenliğinin en önemli araştırma alanlarından biridir. Bir çok kriptografik uygulama rasgele sayılara ihtiyaç duyar. Güvenli rasgele sayı üretimi konusunda bir çok çalışma yapılmıştır. Fakat bunların bir çoğu günümüz için akademik seviyede kalmaktadır. Bu sebeple programlama dillerinin içerisinde hazır bulunan kütüphanelerin kullanımı daha yaygındır. Bu çalışmada, Java SecureRandom kütüphanesinin güvenlik anlamında detaylı bir analizi sunulmuştur. Rassallık testleri için NIST 800-22 Rev1a test ortamı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SecureRandom, Java Güvenliği, NIST 800-22, Rassallık Testleri.

## 1. Introduction

According to Tiobe Index of January 2021, Java is the second highest rated programming language. Also, same study shows that java always in the top three programimng language after the year 2001 (TIOBE 2021). It is expected that such a widely used rogramming language will be able to meet the needs of time. Security is an important requirement as well as reliability and platform independence. For his reason, various studies carried out on security analysis of java and java related applications.

Feng et al (2011), in his article, he presents a new approach by java byte-level flow analysis. By doing this, he claims this method can be used as an assistant to reveal byte code vurnelabilities.

Martínez et al (2017) investigate Java EE Access control mechanism on web security due to misconfiguration. They propose a reverse engineering model for analyzing anomalies and they share this application on Github.

Paul & Evans (2006) compare two major platform by means of security which are Java and .NET. Basically, they show how .NET prevent vulnerabilities that are exists in Java. They also mentioned that .NET benefited from past experiences of Java. By shielding some details from developers, they prevent mis configuration on policies.

Another study on Java security is done by Herzog & Shahmehri in 2005. They explore the slowness of Java security manager. Because, especially thinking the time they investigate the performance of Java security manager, time and space complexity of programming language mechanism is important by any means. They present 20 execution times in a table format. They find out that the when the resource Access done under security manager, the execution time increase approximately 100% by comparing to resource access without security manager.

Another Java related security study is evaluation of Java Scure Socket Extention (JSSE) usage. They point out due to the complexity of the application programming interface (API) of transport level security (TLS) leads developers to mis use of security mechanism and this result in vulnerabilities in their application. They study with 11 developers to identify usability issues of JSSE and they show that the abbsraction layer is the main reason of misuse (Wijayarathna & Arachchilage, 2019).

The main motivation of this study withstands to following facts:

1. Random number generation is a crucial task in cryptography.
2. Although there exist many secure random number generators (SRNGs), they recuire extra investigation and implementation.
3. Java is the second highest rated programming language today.

Considering the above acceptances, it is evaluated that security anaylsis of SecureRandom library (which extends default Java.util.Random library) of Java programming language is very important and required. Furthermore, according to out investigation, no study exists on SecureRandom library.

## 2. Material and Method

### 2.1. Random Number Generation

Random number generators (RNG) categorized in to two main classes, deterministic and non-deterministic. Determinism means that is it possible or not to reproduce same sequence of random numbers which is generated previously. As a result, if an RNG does not depends on physical events the randomness of the generator must be tested.

Nondeterministic methods also can be divided into two main categories which are physical and computational RNGs (Saldamli & Koc 2009). Java SecureRandom library is in the computational non-deterministic RNG category. In theory SecureRandom library is cryptographically strong RNG (Oracle JavaSE-8, 2021).

In literature there exists many RNG studies focus on chaos theory (Katz et al, 2008; Stojanovski and Kocarev, 2001), FPGA (Thomas and Lok, 2013; Akçay et al, 2017), electron transistor (Uchida et al, 2007) etc. All these studies focus on more secure and reliable random number generation. However, while all programming languages have random libraries, many developers rely their applications' security, if needed, on these standart libraries. Because, it is hard to implement thecniques on many academic studies for developers. Besides, random libraries are ready and easy to use.

### 2.2. Randomness Test Suites

There exist some statistical test suites for testing a sequence is random or not. Most commonly used test suites are NIST 800-22 (Lawrence et al, 2010), Diehard and Dieharder (Brown, 2021), ENT Utility (Walker, 2008) and TestU01 (L'ecuyer & Simard, 2007). The most prefered test suite in literature is NIST. NIST test suite consist of 15 different statistical test which is shown in Table 1. Table 1 also shows relative minimum bit length requirement to be able to produce meaningfull results according to suite documentation.

Table 1: NIST Tests and Relative Minimum Bit Length Recommendation

#	Test Name	Min Len
1	Frequency (Monobit)	100
2	Block Frequency	100
3	Runs	100
4	Longest Run of Ones	128
5	Binary Matrix Rank	38912
6	Discrete Fourier	1000
7	Non-Overlapping Template Matching	1000000
8	Overlapping Template Matching	106
9	Universal Statistical	387840
10	Linear complexity	1000000
11	Serial	32
12	Approximate Entropy	127
13	Cumulative Sums	100
14	Random Excursions	1000000
15	Random Excursions Variant	1000000

### 2.1. Random Number Generation Algorithm

It is known that standard random number generation libraries in widely used programming languages are use system time. As a result, if an attacker finds out the generation time of random number, he/she may generate same random number or sequence. To overcome this problem, standard RNG libraries in programming languages uses seed. A seed is the initial starting point of generation. If a complex seed is given, more secure number generation will be acquired.

In addition to standard random number libraries, SecureRandom library gives developers to select some generation predefined algorithms. Table 2 shows algorithm that are present in Java Cryptography Architecture Standards.

Algorithm Name	Platform
NativePRNG	Linux, Mac
NativePRNGBlocking	Linux, Mac
NativePRNGNonBlocking	Linux, Mac
PKCS11	-
SHA1PRNG	Linux, Mac, Windows
Windows-PRNG	Windows

In this study, it is preferred to use SHA1PRNG due to platform independence. PKCS11 library is dependent on installing the related libraries separately. Other algorithms run under stated platforms without any other requirement except JDK 8 or higher.

### 2.3. Application

The application developed in Mac Big Sur operation system. Also, relative percentages tested on Windows 10 machine. The presented results are mean of both platforms. Simple activity diagram of the application presented in Figure 1.

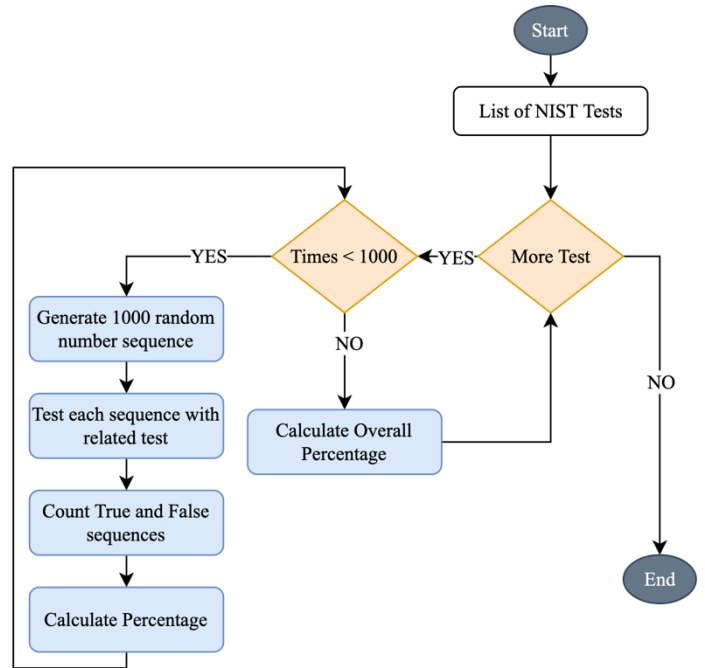


Figure 1: Block diagram of the test algorithm

In order for the application results to be valid, a random number sequence consisting of 1000 samples was tested 1000 times and the average rate was obtained. Obtained results presented in Table 3.

Table 3: Application result percentages

#	Test Name	True Percentage
1	Frequency (Monobit)	98.9
2	Block Frequency	99.51
3	Runs	98.81
4	Longest Run of Ones	99.23
5	Binary Matrix Rank	99.19
6	Discrete Fourier	98.55
7	Non-Overlapping Template Matching	24.4
8	Overlapping Template Matching	84.98
9	Universal Statistical	98.82
10	Linear complexity	99.02
11	Serial	97.77
12	Approximate Entropy	98.9
13	Cumulative Sums	99.03
14	Random Excursions	57.64
15	Random Excursions Variant	57.77

### 3. Results and Discussion

According to the results, the library generates cryptographically secure sequences. However, while the sequence length increase, the reliability percentage drops.

Both “Random excursions” and “Random excursions variant” tests rely on cumulative sum random walk. They test some arbitrary fixed length sequence cumulative sums repeats or not. Also “Non-Overlapping template matching test” rely on aperiodic patterns. It analyzes the existing of these patters. As a result, it can be said that SecureRandom library shows weak security requirements with pattern tests.

## 5. Acknowledge

This work was supported by the projects of the İnönü University Scientific Research Projects Department (SRPD) numbered FBG-2018-1107 and FBG-2020-2143. The author would like to thank İnönü University SRPD for their valuable feedback.

## References

- TIOBE 2021, TIOBE Index for January 2021, <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>, Last accessed: Jan 17 2021.
- Z. L. Feng, T. Hong, H. M. Huan, K. X. Hui and J. Qi (2011), "Checking Java Bugs by Data Propagation Analysis," *2011 First International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, Beijing, 2011, pp. 861-864, doi: 10.1109/IMCCC.2011.217.
- Salvador Martínez, Valerio Cosentino, Jordi Cabot (2017), Model-based analysis of Java EE web security misconfigurations, *Computer Languages, Systems & Structures*, Volume 49, 2017, Pages 36-61, ISSN 1477-8424, <https://doi.org/10.1016/j.cl.2017.02.001>.
- Nathanael Paul, David Evans (2006), Comparing Java and .NET security: Lessons learned and missed, *Computers & Security*, Volume 25, Issue 5, 2006, Pages 338-350, ISSN 0167-4048, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2006.02.003>.
- Almut Herzog, Nahid Shahmehri (2005), Performance of the Java security manager, *Computers & Security*, Volume 24, Issue 3, 2005, Pages 192-207, ISSN 0167-4048, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2004.08.006>.
- Chamila Wijayarathna, Nalin Asanka Gamagedara Arachchilage (2019), Why Johnny can't develop a secure application? A usability analysis of Java Secure Socket Extension API, *Computers & Security*, Volume 80, 2019, Pages 54-73, ISSN 0167-4048, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.09.007>.
- Saldamli G. and Koc C. K. (2009), Random Number Generators for Cryptographic Applications, in *Cryptographic Engineering*, Springer.
- Oracle JavaSE-8 (2021), Class SecureRandom, <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/security/SecureRandom.html>, Last Accessed: Jan 17 2021.
- Lawrence E. Bassham, Andrew L. Rukhin, Juan Soto, James R. Nechvatal, Miles E. Smid, Elaine B. Barker, Stefan D. Leigh, Mark Levenson, Mark Vangel, David L. Banks, Nathanael Alan Heckert, James F. Dray, and San Vo. (2010). *SP 800-22 Rev. 1a. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications*. Technical Report. National Institute of Standards & Technology, Gaithersburg, MD, USA.
- Robert G. Brown (2021), Robert G. Brown's General Tools Page, <https://webhome.phy.duke.edu/~rgb/General/dieharder.php>, Last Accessed: Jan 17 2021.
- John Walker (2008), A Pseudorandom Number Sequence Test Program, <https://www.fourmilab.ch/random/>, Last Accessed: Jan 17 2021.
- L'ecuyer, P. and Simard, R. (2007). TestU01: A C library for empirical testing of random number generators. *ACM Trans. Math. Softw.* 33, 4, Article 22 (August 2007), 40 pages. DOI=10.1145/1268776.1268777 <http://doi.acm.org/10.1145/1268776.1268777>
- O. Katz, D. A. Ramon and I. A. Wagner, (2008), "A Robust Random Number Generator Based on a Differential Current-Mode Chaos," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 16, no. 12, pp. 1677-1686, Dec. 2008, doi: 10.1109/TVLSI.2008.2001731.
- T. Stojanovski and L. Kocarev, "Chaos-based random number generators-part I: analysis [cryptography]," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 48, no. 3, pp. 281-288, March 2001, doi: 10.1109/81.915385.
- D. B. Thomas and W. Luk, "The LUT-SR Family of Uniform Random Number Generators for FPGA Architectures," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 21, no. 4, pp. 761-770, April 2013, doi: 10.1109/TVLSI.2012.2194171.
- L. Akçay, E. Çil, A. Vardar, İ. Yaman, R. Yeniçeri and M. E. Yalçın, "Implementation of a chaotic time-delay RNG based secure communication system on FPGA," *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, 2017, pp. 1277-1280.
- Ken Uchida, Tetsufumi Tanamoto, Shinobu Fujita, Single-electron random-number generator (RNG) for highly secure ubiquitous computing applications, *Solid-State Electronics*, Volume 51, Issues 11-12, 2007, Pages 1552-1557, ISSN 0038-1101, <https://doi.org/10.1016/j.sse.2007.09.015>.





# Tetra Kiral ve İçe Girintili Çarpışma Kutularının Çarpışma Performanslarının İncelenmesi

Cüneyt Aktaş<sup>1\*</sup>, Prof.Dr. Erdem Acar<sup>2</sup>, Prof.Dr. Mehmet Ali Güler<sup>3,4</sup>, Doç.Dr. Murat Altın<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> TOBB ETU, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3971-3257), [c.aktas@etu.edu.tr](mailto:c.aktas@etu.edu.tr)

<sup>2</sup> TOBB ETU, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3661-5563), [acar@etu.edu.tr](mailto:acar@etu.edu.tr)

<sup>3</sup> College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Kuwait, [mehmet.guler@aum.edu.kw](mailto:mehmet.guler@aum.edu.kw)

<sup>4</sup> TOBB ETU, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1159-556X), [mguler@etu.edu.tr](mailto:mguler@etu.edu.tr)

<sup>5</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2404-2614), [maltin@gazi.edu.tr](mailto:maltin@gazi.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901494)

**ATIF/REFERENCE:** Aktaş, C., Acar, E., Güler, M.A. & Altın, M. (2021). Tetra Kiral ve İçe Girintili Çarpışma Kutularının Çarpışma Performanslarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 161-168.

## Öz

Çarpışma kutuları; taşıtlarda kullanılan, kaza anında ortaya çıkan enerjiyi sönümleyen pasif güvenlik sistemleridir. Bu enerji sönümleme kabiliyeti sayesinde yolcuların çarpışmadan mümkün olduğu kadar az etkilenmesini sağlar. Bu çalışmada, negatif Poisson oranına sahip yapılardan olan "Tetra Kiral" ve "İçe Girintili" tasarımlar ele alınmış, bu tasarımlardan silindir ve kare kesite sahip çarpışma kutuları oluşturularak çarpışma performansları incelenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle, çarpışma kutusu üretiminde kullanılacak olan 6061-T6 alüminyum malzemenin özelliklerini belirlemek için çekme testleri yapılmıştır. Ardından, çarpışma kutularının performanslarını belirlemek için LS-DYNA yazılımı ile sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre; kare kesite sahip içe girintili çarpışma kutusunun en yüksek özgül enerji emilimine sahip olduğu, kare kesite sahip tetra kiral çarpışma kutusunun ise en küçük tepe ezilme kuvveti değerine ve en yüksek ezilme kuvveti verimi değerine sahip olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çarpışma kutusu, negatif Poisson oranı, tetra kiral yapı, içe girintili yapı, sonlu elemanlar analizi.

## An Investigation of the Crashworthiness Performance of Tetra Chiral and Re-entrant Crush Boxes

### Abstract

Crash boxes are passive safety systems that are used in vehicles to absorb the energy generated in the event of an accident. Due to their energy absorption capability, they ensure that passengers are affected as little as possible. In this study, "Tetra Chiral" and "Re-entrant" designs, which are structures with negative Poisson's ratio, are discussed, collision performances are investigated by forming collision boxes with cylindrical and square sections from these designs. In this study, first tensile tests are carried out to determine the properties of 6061-T6 aluminum material to be used in crash box production. Then, finite element analyses are performed by using LS-DYNA software to determine the performances of the crash boxes. The results shows that the re-entrant crush box with square cross section has the highest specific energy absorption, while the tetra chiral crush box with square cross-section has the smallest peak crushing force value and the highest crushing force efficiency value.

**Keywords:** Crash box, negative Poisson's ratio, tetra chiral structure, re-entrant structure, finite element analysis.

\* Sorumlu Yazar: [c.aktas@etu.edu.tr](mailto:c.aktas@etu.edu.tr)

## 1. Giriş

Otomobil, icadıyla birlikte günlük yaşantıda önemli bir yer almış ve insan yaşamını kolaylaştırdığı için günümüzün vazgeçilmez ulaşım araçlarından biri olmuştur. Otomobil kazalarının büyük bir kısmı önden çarpma şeklinde gerçekleşmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak tasarımcılar, araçlara çarpışma kutusu adı verilen bir yapıyı entegre etmiştir. Bu yapı sayesinde hayati tehlikeye neden olan kazaların önüne geçmek ve yüksek maliyetli zararları ortadan kaldırmak hedeflenmiştir. Otomobillerde ön tamponda bulunan çarpışma kutuları, kaza anında meydana gelen çarpışma etkisinden kaynaklanan enerjiyi sönmüleyerek yolcu ve araç ekipmanlarını korumaktadır.

Çarpışma sırasında oluşan ezilme kuvvetleri, çarpışma kutusu tasarımı dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. Bir çarpışma kutusu için, emilen enerjiyi en üst düzeye çıkartmak yeterli olmamak ile birlikte çarpışma sonucu ortaya çıkan tepe kuvvetlerini de minimum seviyeye düşürmek çok önemlidir. Bu nedenle, çarpışma kutusu verimliliğinin belirlenmesi için çarpışma performansı metrikleri detaylı bir şekilde incelenmelidir.

Çarpışma kutularının enerji sönmüleme kapasitelerinin artmasına yönelik, günümüze kadar birçok farklı tasarım yapılmış ve halen de yeni yapılar üzerine çalışmalar devam etmektedir. Yapılan bu tasarımlar, genellikle çarpışma kutularının geometrik özellikleri üzerinedir. Geometrik özellikler değiştirilerek daha iyi enerji sönmüleme kabiliyetine sahip çarpışma kutuları imal edilmektedir. Çarpışma kutuları genellikle; dairesel, kare, dikdörtgen ve koniklik açılara sahip ince cidarlı borular şeklinde tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada negatif Poisson oranına sahip olan birim hücre mekanizması; içe girintili (Harkati vd., 2017) ve tetra kiral (Grima vd., 2006) olarak adlandırılan tasarımlardan oluşan silindirik ve kare kesite sahip çarpışma kutularının çarpışma performansları değerlendirilecektir.

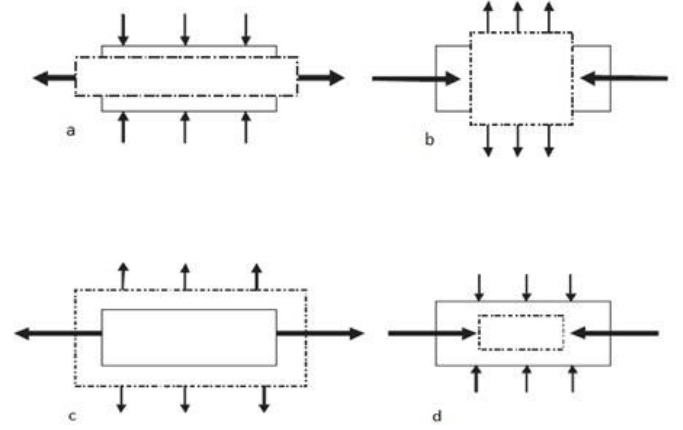
## 2. Problem Tanımı

### 2.1. Geometrik Parametreler

Poisson oranı birçok mühendislik alanında malzemelerin yapısını belirlemeye yarayan önemli bir mühendislik yaklaşımıdır. Poisson oranı, bir malzemede kuvvetin uygulandığı yöndeki kısalma miktarı ile diğer yöndeki uzama miktarı arasındaki bağıntıdır. Mühendislik alanında kullanılan malzemelerin birçoğu pozitif Poisson oranına sahiptir. Son yıllardaki teknolojik ilerlemeler sayesinde negatif Poisson oranına sahip yapılar üzerine olan ilgi artmaktadır. Negatif Poisson oranına sahip malzemelere "Oksetik (*Auxetic*)" malzemeler denilmektedir. Oksetik malzemeler negatif Poisson oranı sayesinde sürtünme dayanımı, akustik davranış, enerji emme, kopma dayanımı ve kayma modülü gibi daha iyi mekanik özelliklere sahiptir (Ma vd., 2018).

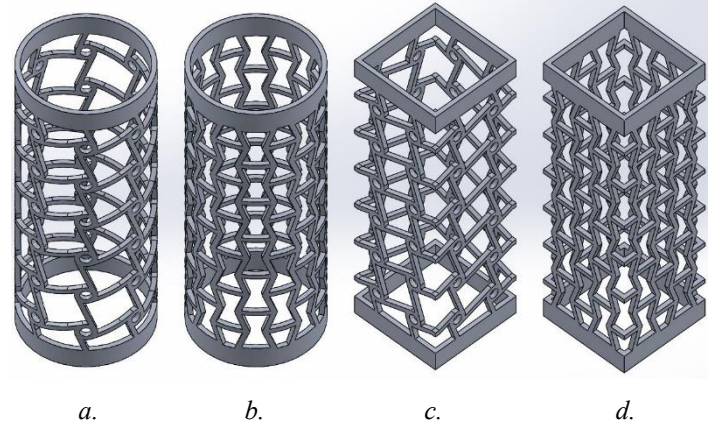
Şekil 1.' de pozitif ve negatif Poisson oranına sahip yapılar arasındaki fark görülmektedir. Şekil 1.a. ve 1.b.' de pozitif Poisson oranına sahip malzemelerin çeki ve bası etkisi altındaki tepkileri görünürken, Şekil 1.c. ve 1.d.' de negatif Poisson oranına sahip malzemelerin tepkisi görülmektedir. Şekil 1.c.'de çekilen

malzemenin incilmesi beklenirken kalınlaşmakta ve Şekil 1.d.' de basınç etkisi altındaki malzeme daralmaktadır.



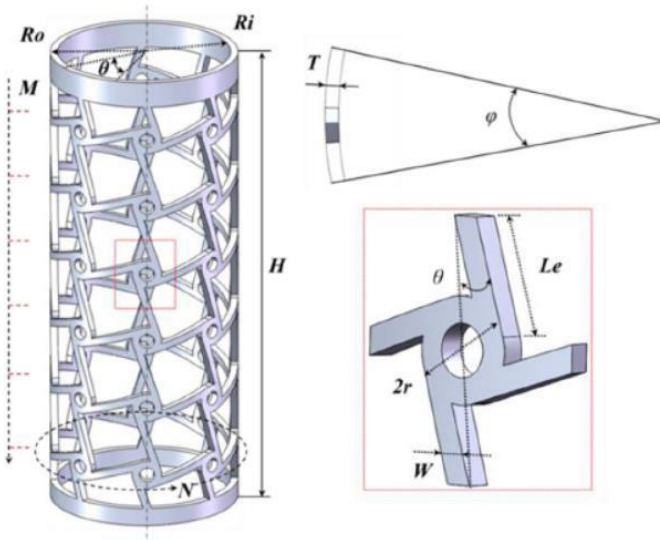
Şekil 1. Negatif ve pozitif Poisson oranına sahip yapıların çeki ve bası etkisi altındaki tepkileri.

Oksetik hücre yapıları, birim hücrelerin geometrik ilişkilerine ve deformasyon mekanizmalarına göre dört ana kategoride incelenebilir; içe girintili (Harkati vd., 2017), faz dönüştürücülü (Liu vd., 2018), sabit mafsallı dönüşlü (Grima vd., 2006) ve hiyerarşik yapılar (Lakes, 1993; Wu vd., 2018). Bu çalışmada Şekil 2.a. ve 2.c.'de ki sabit mafsallı dönüşlü kategoriye giren "Tetra Kiral (*Tetra Chiral*) ile Şekil 2.b. ve 2.d.'de ki girintili kategoriye giren "İçe Girintili (*Re-entrant*) yapılarından yararlanılarak tasarlanmış çarpışma kutuları üzerine çalışılacaktır. Bu yapıların seçilmesindeki nedenler; klasik yapılara göre daha iyi sürtünme dayanımı, yüksek kırılma dayanımı, burkulma direnci, akustik davranış, kopma dayanımı, kayma modülü ve en önemlisi yüksek enerji emme kabiliyetlerinin olmasıdır (Lu vd., 2019).



Şekil 2. Tetra Kiral ve İçe Girintili Çarpışma Kutuları (a.Tetra Kiral Silindirik, b.İçe Girintili Silindirik, c.Tetra Kiral Kare, d.İçe Girintili Kare)

Ma ve diğerlerine (2018) ait çalışmada ki tetra kiral yapıya ait geometrik parametrelere (Şekil 3.) bağlı kalınarak eşit ölçülere sahip tetra kiral ve içe girintili çarpışma kutuları tasarlanmıştır. Her bir yapının birim hücrelerini belirleyen geometrik ölçüler ve tüp sınır ölçüleri aynı değerleri almıştır.



Şekil 3. Tetra Kiral Tüp Geomtrik Parametreler

Tetra kirali çarpışma kutusunun sahip olduğu geometrik parametreler aşağıda sunulmuştur:

- $w = 2 \text{ mm}$  (Kiriş genişliği)
- $Le = 8.6 \text{ mm}$  (Kiriş kolu uzunluğu)
- $r = 4 \text{ mm}$  (Rijit düğüm dış yarı çapı)
- $T = 2 \text{ mm}$  (Tüp kalınlığı)
- $\theta = 0.33 \text{ rad}$  (Kiriş kolu eksenel yönler arasında ki açı)
- $N = 8$  (Çevresel birim hücre sayısı)
- $M = 6$  (Eksenel birim hücre sayısı)
- $Ri = 48 \text{ mm}$  (Tüp iç yarıçapı)
- $Ro = 52 \text{ mm}$  (Tüp dış yarıçapı)
- $H = 130 \text{ mm}$  (Tüp yüksekliği)

## 2.2. Analiz Gereksinimleri

Bu dört ayrı silindirik ve kare çarpışma kutularının çarpışma performansını incelemek için sonlu elemanlar yazılımı LS-DYNA kullanılacaktır. Çarpışma kutularının tasarımında kullanılacak olan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve yarı-statik çarpışma analizlerini doğrulamak için basma testi ihtiyacı duyulmuştur.

## 2.3. Çarpışma Performansı Metrikleri

Sonlu elemanlar analizi doğrulamasından sonra yapılacak çarpışma analizleri sonuçlarına göre dört farklı yapıdaki çarpışma kutularının performansları belirlemek için aşağıda açıklamaları yapılmış olan çarpışma performansı metrikleri kullanılacaktır (Wu vd., 2016; Acar vd., 2019).

### 2.3.1. Toplam Sönümlenen Enerji

Toplam sönümlenen enerji (Energy Absorption – EA), çarpışma sırasında ortaya çıkan enerjinin yaptığı iş olarak tanımlanabilir. Kuvvet – yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan, yani eşitlik (1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$EA(d) = \int_0^d F(x)dx \quad (1)$$

### 2.3.2. Ortalama Ezilme Kuvveti

Ortalama ezilme kuvveti (Mean Crushing Force – MCF), eşitlik (2) de gösterildiği gibi çarpışma anında sönümlenen toplam enerjinin toplam yer değiştirmeye bölünmesiyle hesaplanan ortalama kuvvettir.

$$MCF(d) = \frac{EA(d)}{d} \quad (2)$$

### 2.3.3. Özgül Enerji Emilimi

Özgül enerji Emilimi (Specific Energy Absorption – SEA), toplam sönümlenen enerjinin yapısal kütleye (m) bölümü ile elde edilen, birim malzemenin enerji sönümleme kabiliyetini ölçmek için kullanılan önemli bir kriterdir (bkz. eşitlik (3)). Yüksek SEA değeri daha yüksek enerji sönümleme kabiliyetini ifade eder.

$$SEA = \frac{EA}{m} \quad (3)$$

### 2.3.4. Tepe Ezilme Kuvveti

Tepe ezilme kuvveti (Peak Crushing Force – PCF), araç içine gelen tepe kuvvetlerinin en az seviyede olması için ideal bir enerji sönümleyici için minimum seviyede olmalıdır.

### 2.3.5. Ezilme Yüğü Verimliliği

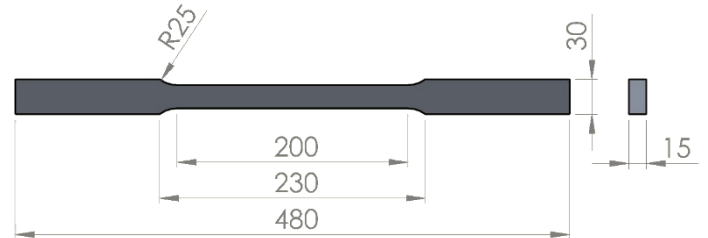
Ezilme yüğü verimliliği (Crash Load Efficiency – CLE), eşitlik (4) te belirtildiği gibi ortalama çarpışma kuvvetinin, tepe ezilme kuvveti değerine bölümü ile elde edilen ve enerji sönümleyiciler için yüksek (Song vd., 2013) CLE değerinin tercih edildiği diğer önemli bir çarpışma metriğidir.

$$CLE = \frac{MCF}{PCF} \quad (4)$$

## 3. Çözüm Metodu

### 3.1. Malzeme Mekanik Özellikleri

Bu çalışmada, çarpışma kutusu tasarımında 6061-T6 Alüminyum malzeme kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak malzeme kartı mekanik özelliklerini elde etmek için standart test metodu ASTM-E8 göre Şekil 4.'deki ölçülere ait üç adet test numunesi hazırlanmıştır. Test numuneleri, kimyasal ve mekanik özelliklerinin bozulmaması için CNC su jeti makinesinde hazırlanmıştır.

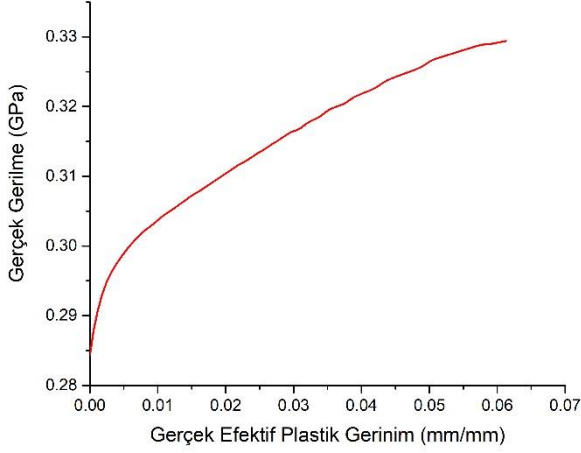


Şekil 4. 6061-T6 çekme numunesi geometrik ölçüleri.

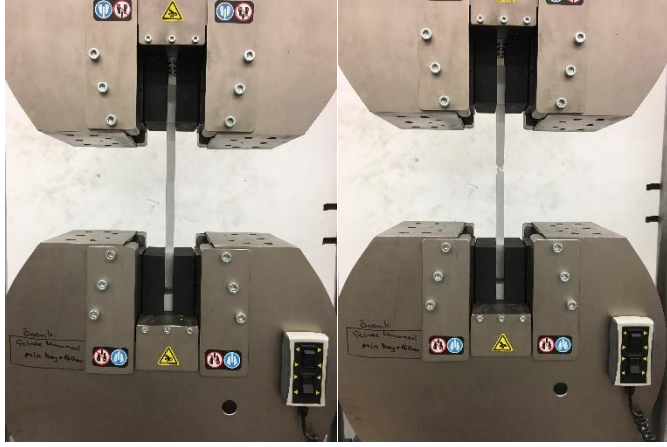
Çekme testleri TOBB ETÜ Mekanik Laboratuvarında bulunan Instron 600 kN kapasiteli universal test makinesinde yapılmıştır (Şekil 5.). Çekme hızı standartlarda belirtildiği gibi 5 mm/dk alınmıştır. Çekme testinden elde edilen kuvvet yer değiştirme verilerine göre hesaplanan 6061-T6 malzeme mekanik özellikleri Tablo 1.'de, gerilme – gerinim grafiği Grafik 1.'de görülmektedir.

Tablo 1. 6061-T6 Alüminyum Mekanik Özellikleri

Yoğunluk ( $kg/mm^3$ )	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (GPa)
$2,7 \times 10^{-6}$	0,33	68,85	0,2845



Grafik 1. 6061-T6 Gerilme-Gerinim Grafiği



a. Çekme testi öncesi. b. Kırılma sonrası.

Şekil 5. Universal test makinesi düzeneği.

### 3.2. Çarpışma Analizi

#### 3.2.1. Basma Testleri Doğrulaması

Çarpışma kutularının yarı-statik çarpışma analizlerini doğrulayabilmek için çekme numunelerinin hazırlandığı 15 mm kalınlığındaki plakadan Şekil 6.a.'daki tetra kiral ve Şekil 6.b.'deki içe girintili plakalar su jetinde hazırlanmıştır. Basma hızının 2 mm/dk alındığı testler 600 kN kapasiteli Instron universal test makinesinde yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinin doğrulaması için basma testinden çıktı olarak kuvvet – deplasman verileri elde edilmiştir.



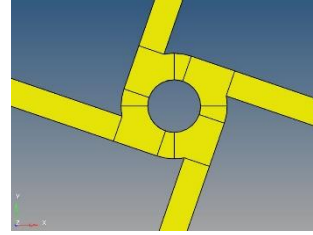
a. Tetra kiral plaka.



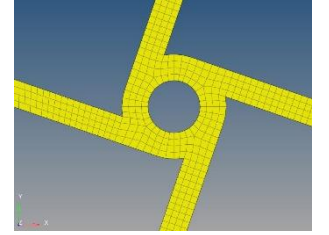
b. İçe girintili plaka.

Şekil 6. Validasyon plakaları.

Ls-Dyna analizi ön hazırlığı için katı modeller hazırlandıktan sonra HyperMesh yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar çözümü (Mesh) oluşturulmuştur. Geometrinin karmaşık yapısı nedeniyle ile mesh ağları oluşturulmadan önce her iki yapı içinde çözüm ağı geometrisi hazırlanmıştır (Şekil. 7 ve Şekil. 8). Bu yaklaşım daha sonra yapılacak olan dört farklı çarpışma kutusunun çözüm ağı ön hazırlığında da kullanılacaktır. 0.5 mm mesh boyutu kullanılarak her iki yapının da çözüm ağı modelleri hazırlanmıştır.

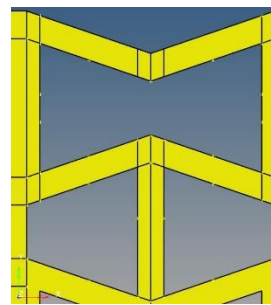


a. Çözüm ağı ön hazırlık.

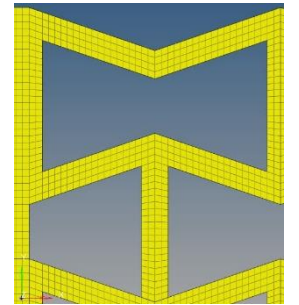


b. Çözüm ağı modeli.

Şekil 7. Tetra kiral plaka çözüm ağı modeli.



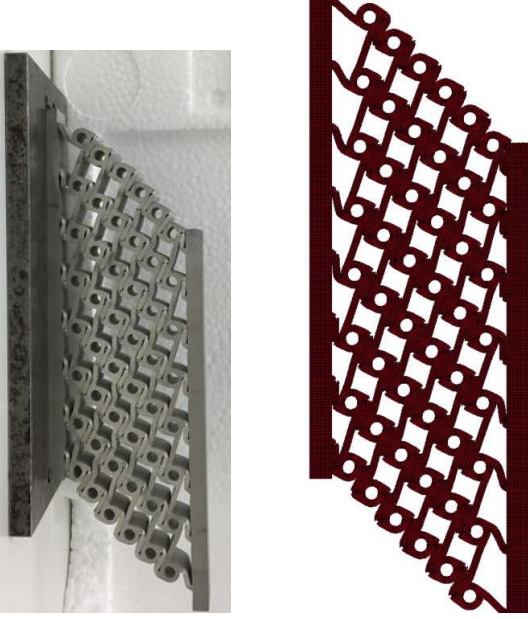
a. Çözüm ağı ön hazırlık.



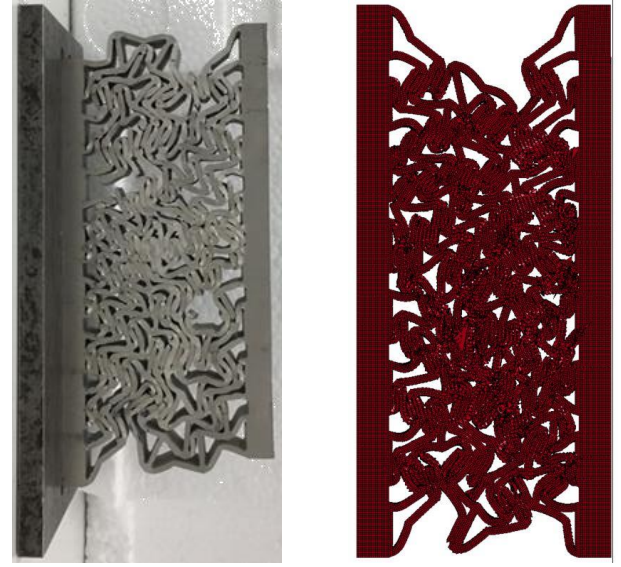
b. Çözüm ağı modeli.

Şekil 8. İçe girintili çözüm ağı modeli.

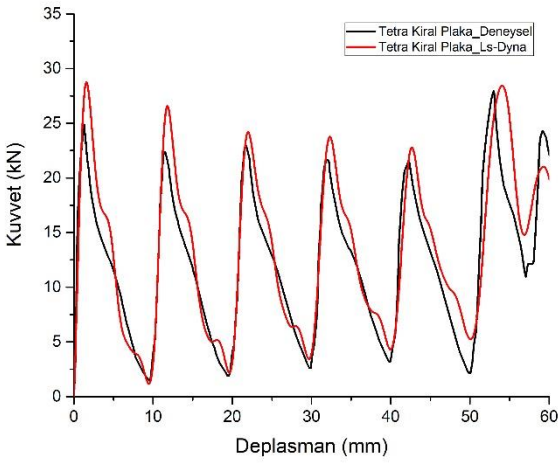
Çözüm ağı modelleri hazırlandıktan sonra Ls-Prepost yazılımında plakaların malzeme kartları, sınır koşulları ve diğer gerekli analiz girdileri hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar analizi doğrulaması için hazırlanan Şekil 9. ve Şekil 10.'daki görsellerden de görüldüğü üzere yapılar maksimum deformasyonların olduğu bölgeler benzerdir. Grafik 2.'de gösterilmiş olan kuvvet-deplasman grafiğinde 60 mm lik yer değiştirme sonucu elde edilen veriler yakın sonuç göstermektedir, aynı zamanda Tablo 2.'den görüldüğü üzere EA, MCF, SEA, PCF ve CLE' düşük hata oranları ile sonlu elemanlar analizinin doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.



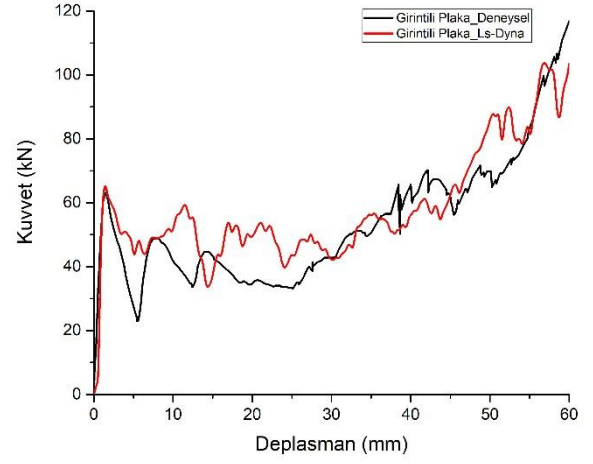
Şekil 9. Tetra kiral plate test ve analiz sonuç görselleri.



Şekil 10. İçe girintili plaka test ve analiz sonuç görselleri



Grafik 2. Tetra kiral plaka kuvvet – yer değiştirme grafiği.



Grafik 3. İçe girintili plaka kuvvet – yer değiştirme grafiği.

Tablo 2. Tetra kiral plaka çarpışma performansı metrikleri.

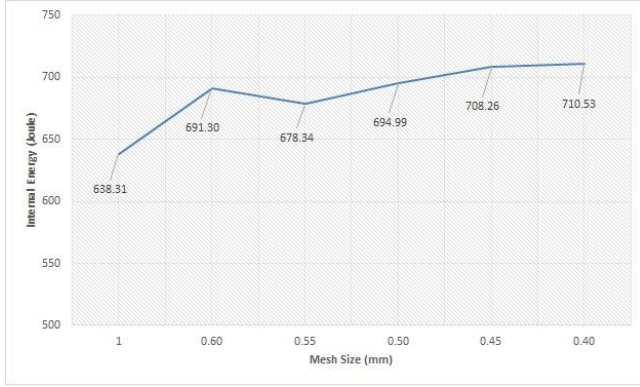
	EA (kJ)	SEA (kJ/kg)	PCF (kN)	MCF (kN)	CLE
Deneysel	0,7312	3,132	27,92	12,19	0,44
Ls-Dyna	0,8059	3,465	28,76	13,43	0,46

Tablo 3. İçe girintili plaka çarpışma performansı metrikleri.

	EA (kJ)	SEA (kJ/kg)	PCF (kN)	MCF (kN)	CLE
Deneysel	3,231	10,15	116,84	53,88	0,46
Ls-Dyna	3,495	10,98	103,69	58,25	0,56

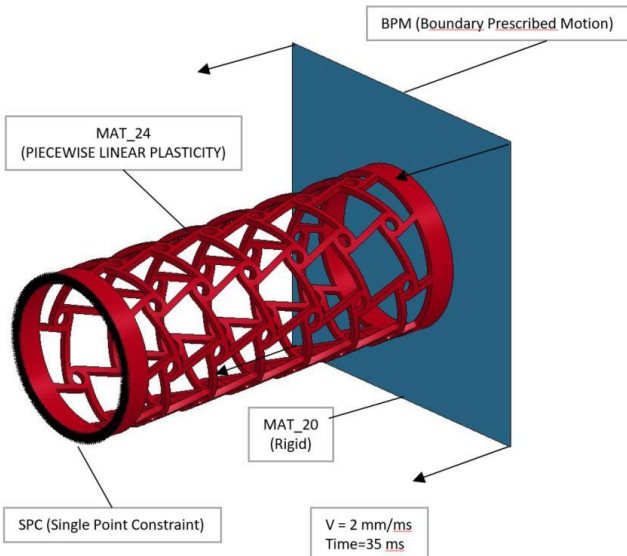
### 3.2.2. Çarpışma Kutuları Analizleri

Tetra kiral ve içe girintili tasarımlardan oluşan kare ve silindirik kesite sahip çarpışma kutularının katı modelleri SolidWorks CAD yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Uygun ağ boyutunu belirlemek için iç enerjinin ağ boyutuna (Tanlak, 2018) göre değişimine (Grafik 4.) bakılmış; 0,45 mm ile 0,40 mm ağ boyutu arasında yakınsama kaydedildiği belirlenmiş ve hesaplama maliyeti açısından daha kısa çözüm süresi veren 0,45 mm ağ boyutu uygun bulunmuştur. Bunun üzerine, daha önce Bölüm 3.1.'de belirtilmiş olan yaklaşım ile HyperMesh programı kullanılarak ağ modelleri oluşturulmuştur.



Grafik 4. Ağ yakınsama analizi.

Çarpışma simülasyonunda kullanılacak malzeme özellikleri, sınır koşulları ve diğer girdiler Ls-Prepost yazılımı ile oluşturulmuştur (Acar vd., 2019). Şekil 11.'de görüldüğü gibi; çarpışma kutusu malzemesi olarak "MAT\_24 Piecewise Linear Plasticity" malzeme kartı seçilmiştir, malzeme kartı özellikleri için çekme testinden elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Hareketli sert plaka için, deforme olmayan "MAT\_20 Rigid" malzeme kartı seçilmiştir. Validasyon test düzeneğinde olduğu gibi yapı alt yüzeyinden "SPC (Single Point Constraint)" kartı ile sabitlenmiştir. Hareketli sert plakaya "BPM (Boundary Prescribed Motion)" ile çarpışma kutusu üst yüzeyi doğrultusuna 2 mm/ms hız ile 35 ms boyunca sabit hız uygulanmıştır. Dört çarpışma kutusu için de aynı yöntem uygulanmış ve çarpışma performansı metrikleri hesaplanmıştır.



Şekil 11. Ls-Prepost analiz hazırlığı.

### 3.2.3. Analiz Sonuçları

Tetra kiral ve içe girintili tasarımların silindirik ve kare kesitine sahip çarpışma kutularına ait ağ özellikleri ve kütle bilgileri Tablo 4.'te gösterilmiş olup, aynı geometrik parametre değerleri ile modellendiğinde içe girintili yapıların daha ağır olduğu görülmektedir.

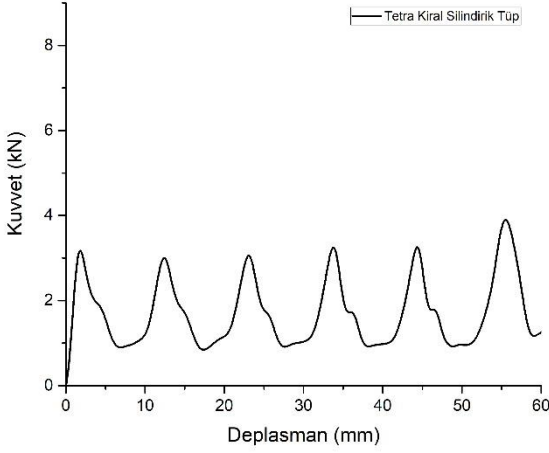
Tablo 4. Çarpışma kutuları ağ ve kütle özellikleri.

	Düğüm Sayısı	Ağ Eleman Sayısı	Kütle (gr)
Tetra Kiral Silindirik Tüp	163.400	112.832	37,45
İçe Girintili Silindirik Tüp	227.120	157.824	46,87
Tetra Kiral Kare Tüp	161.720	111.360	37,21
İçe Girintili Kare Tüp	395.241	135.040	46,24

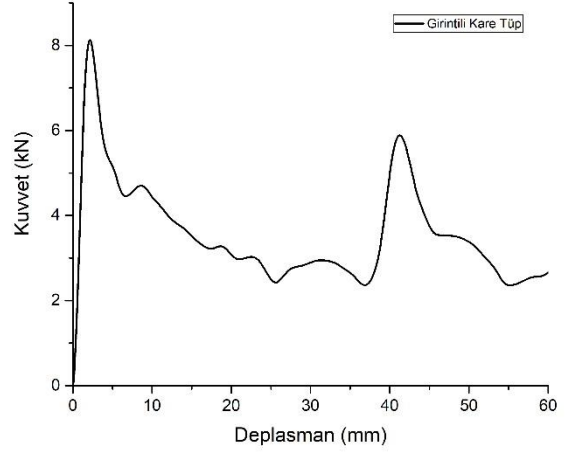
60 mm yarı statik basma analizi sonucu yapılan analizlere ait kuvvet – deplasman grafikleri Grafik 5.,6.,7. ve 8. de sunulmuştur. Bu grafiklerden elde edilen çarpışma performansı metrikleri ise Tablo 5.'de görülmektedir. Tetra kiral yapılar, aksel yüklemeye esnasında yapının geometrik doğasından dolayı ortaya çıkan sıkıştırma-dönme (Ma vd., 2018) ilişkisi sayesinde aynı periyotlarda tepki olarak tepe kuvvetleri vermektedir. Buna karşın girintili yapı ise aksel kuvvet uygulandığında ilk tepe kuvvetinden sonra iç içe büzülerek daha direngen bir davranış göstermiş ve dolayısı ile tepe kuvvet değerleri daha yüksektir.

Tablo 5. Çarpışma kutuları performans metrikleri.

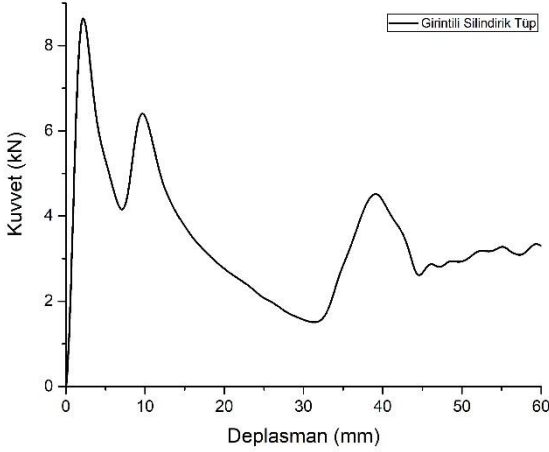
	EA (kJ)	SEA (kJ/kg)	PCF (kN)	MCF (kN)	CLE
Tetra Kiral Silindirik Tüp	0,1029	2,748	3,896	1,715	0,44
İçe Girintili Silindirik Tüp	0,2089	4,457	8,638	3,482	0,40
Tetra Kiral Kare Tüp	0,0986	2,650	3,570	1,643	0,46
İçe Girintili Kare Tüp	0,2139	4,626	8,125	3,565	0,43



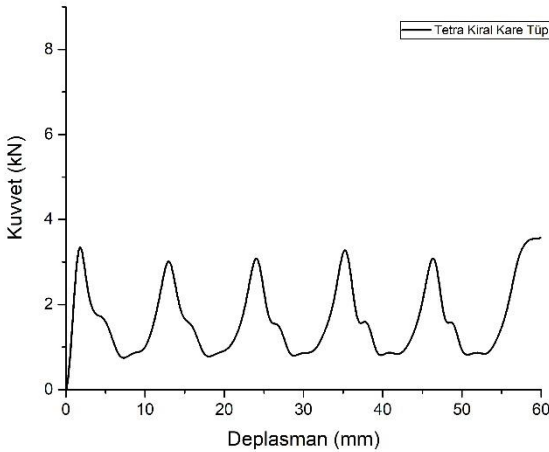
Grafik 5. Tetra kiral silindirik tüp kuvvet – deplasman grafiği.



Grafik 8. İçe girintili kare tüp kuvvet – deplasman grafiği.



Grafik 6. İçe girintili silindirik tüp kuvvet – deplasman grafiği.



Grafik 7. Tetra kiral kare tüp kuvvet – deplasman grafiği.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, negatif Poisson oranına sahip yapılardan olan “Tetra Kiral” ve “İçe Girintili” tasarımlar ele alınmış, bu tasarımlardan silindirik ve kare kesite sahip çarpışma kutuları oluşturularak çarpışma performansları incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- **Toplam Sönümlenen Enerji** çarpışma metriği göz önüne alındığında, ezilme sırasında daha direngen bir davranış gösteren **“İçe Girintili Kare Çarpışma Kutusu”** 0,2139 kJ enerji sönümleme miktarı ile diğerlerinden fazla enerji sönümleme yapmıştır.
- Verimli bir darbe sönümleyiciden oldukça hafif olması beklenir. Bunu ölçmek için kullanılan birim kütle başına sönümlenen enerji miktarı olan **Özgül Enerji Emilimi** dikkate alındığında **“İçe Girintili Kare Çarpışma Kutusu”** 4,626 kJ/kg’lık bir performans ile üstün bir davranış göstermiştir.
- Bir çarpışma sırasında ortaya çıkan kuvvete darbe sönümleyicinin tepki olarak gösterdiği kuvvet, direkt olarak araç içine dolayısıyla yolculara etki etmektedir. Yolcular için hayati önem taşıyan **Tepe Ezilme Kuvveti** mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. Kuvvet – dönme özelliği sayesinde darbe sönümleyici üzerine gelen kuvvete yumuşak bir tepki gösteren **“Tetra Kiral Kare Çarpışma Kutusu”** 3,570 kN bir tepkiyle en düşük PCF değerini vermiştir.
- Araç içine tesir eden kuvvetlerin ortalaması olan **Ortalama Ezilme Kuvveti** değerlendirildiğinde ise bütün yapılar ortalama maksimum tepe kuvvetlerinin yarısı civarında bir kuvvet vermektedir.
- Yüksek performanslı bir sönümleyici için **Ezilme Yükü Verimliliği** mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Bu metrik göz önüne alındığında **“Tetra Kiral Kare Çarpışma Kutusu”** 0,46 lık bir performans ile diğer yapılara göre daha verimli enerji sönümleme davranışı göstermiştir.

Sunulan çalışma üzerine geleceğe yönelik çalışmalar kurgulanmaktadır. Çalışmada ele alınan çarpışma kutularının geometrik parametrelerinin optimize edilerek daha yüksek performanslı çarpışma kutusu tasarımları elde edilmesi hedeflenmektedir.

## Kaynaklar

Acar, E., Altin, M., Güler, M.A. (2019). *Evaluation of various multi-cell design concepts for crashworthiness design of thin-walled aluminium tubes*. Thin-Walled Struct. 142:227-235.

Harkati, E., Daoudi, N., Bezazi, A., Haddad, A., Scarpa, F. (2017). *In-plane elasticity of a multi re-entrant auxetic honeycomb*. Compos Struct. 180:130-9.

Grima, JN., Manicaro, E., Attard, D. (2011). *Auxetic behaviour from connected different-sized squares and rectangles*. Proc Math Phys Eng Sci. 467:439-58.

Lakes, R. (1993). *Materials with structural hierarchy*. Nature. 361(6412):511-5.

Liu, J., Qin, H., Liu, L. (2018). *Dynamic behaviors of phase transforming cellular structures*. Compos Struct. 184:536-44.

Lu, Q., Qi, D., Li, Y., Xi, D., Wu, Q. (2019). *Impact energy absorption performances of ordinary and hierarchical chiral structures*. Thin-Walled Structures. 140:495-505.

Ma, C., Lei, H., Hua, J., Bai, Y., Liang, J., Fang, D. (2018). *Experimental and simulation investigation of the reversible bi-directional twisting response of tetra-chiral cylindrical shells*. Composite Struct. 203:142-152.

Song, X., Sun, G., Li, G., Gao, W., Li, Q. (2013). *Crashworthiness optimization of foam-filled tapered thin-walled structure using multiple surrogate models*. Struct Multidisciplinary Optim. 47(2):221-31.

Tanlak, N., P.D. (2014). *Shape optimization of thin-walled tubes under high-velocity axial and transverse impact loadings*. FBE, Boğaziçi University.

Wu, Q., Gao, Y., Wei, X., Mousanezhad, D., Ma, L., Vaziri, A., et al (2018). *Mechanical properties and failure mechanisms of sandwich panels with ultra-lightweight three-dimensional hierarchical lattice cores*. Int J Solids Struct. 132-133:171-87.





# Farklı Aktivatör Ve Ham Madde Değişkenlerinin Geopolimer Hamurun Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi

Enes Ekinci<sup>1</sup>, İbrahim Türkmen<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7669-887X), [enes.ekinci@inonu.edu.tr](mailto:enes.ekinci@inonu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7560-0535), [ibrahim.turkmen@inonu.edu.tr](mailto:ibrahim.turkmen@inonu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903895)

**ATIF/REFERENCE:** Ekinci, E. & Türkmen, İ. (2021). Farklı Aktivatör Ve Ham Madde Değişkenlerinin Geopolimer Hamurun Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 169-175.

## Öz

Bu çalışmada geopolimer hamurların basınç dayanımı özelliklerine kullanılan ham madde ve alkali aktivatör özelliklerinin etkileri incelenmiştir. Geopolimer hamur numunelerinde ham madde olarak F sınıfı uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. Birbiri içerisinde değişik oranlarda ikamesi sağlanan (100U, 80U-20Y, 60U-40Y, 40U-60Y, 20U-80Y, 100Y) ham maddeler, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve NaOH (8, 10, 12 ve 14 M) kullanılarak aktive edilmiştir. Tüm örnekler, deney gününe kadar laboratuvar koşullarında kür edilmiştir. Üretilen 180 adet geopolimer hamur numunelerin 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. Sonuçlar, kullanılan ham madde ve alkali aktivatör özelliklerinin değişmesiyle birlikte basınç dayanımı değerlerinin büyük oranda değiştiğini göstermiştir. YFC ikame oranının artmasıyla birlikte, basınç dayanımı değerlerinde ciddi artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, F sınıfı UK kullanılarak üretilecek geopolimer örneklerin laboratuvar şartlarında yüksek dayanım özelliklerine sahip olmaları için ısı küre ihtiyaç duyduğu gözlenmiştir. Kullanılan ham madde tipinden bağımsız olarak, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilen tüm örnekler, 28 günlük nihai dayanımının % 85'den fazlasını ilk 7 gün içerisinde kazanmıştır. Öte yandan, maksimum basınç dayanımının elde edilmesi için kullanılması gereken optimum NaOH konsantrasyonunun, bağlayıcı içeriğine bağlı olarak değişiklik gösterdiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, geopolimer, kür, basınç dayanımı.

## Investigation of the Effect of Different Activator and Raw Material Variables on Compressive Strength of Geopolymer Paste

### Abstract

In this study, the effects of the raw material and alkali activator properties on the compressive strength properties of geopolymer pastes were investigated. Class F fly ash (FA) and blast furnace slag (S) were used as raw materials in geopolymer paste samples. The raw materials (100U, 80U-20Y, 60U-40Y, 40U-60Y, 20U-80Y, 100Y) were activated using Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> and NaOH (8, 10, 12 and 14 M). All samples were cured under laboratory conditions until the test day. The compressive strength values of geopolymer paste samples on the 7 and 28th days were examined. The results showed that with the change of raw material and alkali activator properties, the compressive strength values changed significantly. With the increase in the substitution rate of S, significant increases were observed in the compressive strength values. In addition, it was observed that geopolymer samples produced using class F FA need high temperature curing to have superior strength properties. Regardless of the type of raw material used, all samples activated with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> gained more than 85% of their 28-day ultimate strength in the first 7 days. On the other hand, it was determined that the optimum NaOH concentration that should be used to obtain the maximum compressive strength varies depending on the binder characteristics.

**Keywords:** Fly ash, blast furnace slag, geopolymer, curing, compressive strength

## 1. Giriş

İnşaat sektöründe vazgeçilmez bir yapı malzemesi olarak görülen çimento, son yıllarda artan kentleşme ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle gittikçe yükselen bir kullanım kapasitesine sahip olmaktadır. 2014 yılında, dünyada yıllık 4 milyar ton çimento üretimi olduğu [1] ve dünya çapında çimento üretiminin yıllık % 9 oranında artış gösterdiği bilinmektedir [2]. Mehta ve Monterio, (2006) tarafından yapılan çalışmada, 1 ton çimento üretimi için doğaya yaklaşık 1 ton CO<sub>2</sub> gazı salındığını belirtilmiştir [3]. Benzer şekilde, beton üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının yaklaşık %74-81'inin çimento üretiminden kaynaklandığı ve çimento üretimi işleminin tüm endüstri faaliyetlerinin açığa çıkardığı CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının yaklaşık %5-7'lik bir bölümünü kapsadığı belirtilmiştir [4-6]. CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının sebep olduğu sera gazı etkisi, güneş ışınlarının uzay boşluğuna yansımını engellediğinden yeryüzünün sahip olduğu ortalama sıcaklığı yükseltmektedir [7]. Küresel ısınma olarak adlandırılan bu süreç sonrasında, dünya ortalama sıcaklığının 1.4-5,3 °C arasında artacağı, artan sıcaklık nedeniyle deniz seviyesinde 8 ila 88 cm arasında yükselmeler olacağı ve dünyanın mevcut yapısında geri dönüşü olmayacak şekilde ciddi bozulmalar meydana geleceği öngörülmektedir [8].

Öte yandan, termik santraller ve demir-çelik tesisleri faaliyetleri sonucunda yan ürün olarak ortaya çıkan uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb. atık malzemelerin depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi gibi işlemler de ciddi ekonomik sorunlara ve verimli tarım arazilerinin işgal edilmesine yol açmaktadır [9,10].

Tüm bu sorunlar göz önüne alındığında, çimento üretiminden kaynaklanan sorunları engellemenin yanında, yan ürün olarak açığa çıkan atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi de çevre kirliliği ve ekonomik bir üretim açısından hayati bir önem taşımaktadır. Ayrıca verimli bir ekonomik kalkınmanın, enerji kaynaklarını son derece etkin bir şekilde kullanmayla mümkün olacağına altı çizilmelidir [7]. Tam da bu noktada, geleneksel Portland çimentosuna en uygun alternatif olarak geopolimer malzemelerin varlığından bahsetmek gerekir. Alüminosilikat bazlı atık malzemeler ile (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb.) alkali aktivatörler arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan geopolimer bağlayıcılar; çevre dostu olması, üretimi aşamasında gereken düşük maliyeti ve atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi nedeniyle Portland çimentosunun yerini alma potansiyeline sahiptirler [11,12]. İlk olarak 1970'lerde bahsedilen geopolimerler, amorf veya yarı kristal bir yapıya sahip olan yeni bir malzeme sınıfı olarak tanımlanmaktadır [13]. Geopolimerizasyon reaksiyonu alkalinitesi yüksek ortamlarda, alümino-silikat oksitler ile alkali çözeltiler arasında gerçekleşen bir reaksiyon olup, Si-O-Al bağlarını içeren üç boyutlu polimer zincirlerin oluşumunu sağlamaktadır [14]. Geopolimer bağlayıcılar, yapısal bütünlüğe ulaşmak amacıyla farklı reaksiyonlar gösterdiklerinden, geleneksel Portland çimentosu kullanılarak üretilen yapı malzemelerine nazaran önemli ölçüde değişik performanslara sahiptirler. Geleneksel çimentonun reaksiyonu yerine silis ve alümin öncüllerinin polikondensasyonu olayını yüksek alkali ortamlarda gerçekleştirirler [15]. Benzer şekilde Yuan vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada geopolimerizasyon işlemi kısaca çözülmeyi takip eden yeniden düzenleme, yoğunlaştırma ve katılaşma işlemleri olarak tanımlanmıştır [16].

Bu çalışmada, geopolimer hamur örneklerin basınç dayanımı özellikleri üzerine ham madde ve aktivatör değişkenlerinin etkileri incelenmiştir. UK ve YFC' nin belirli oranlarda ikamesi sağlanarak hazırlanan ham maddeler, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve farklı molaritelerde NaOH kullanılarak aktive edilmiştir. Deney sonuçları, geopolimer örneklerin basınç dayanımlarında ham madde ve aktivatör karakteristiklerinin ciddi etkileri olduğunu göstermiştir.

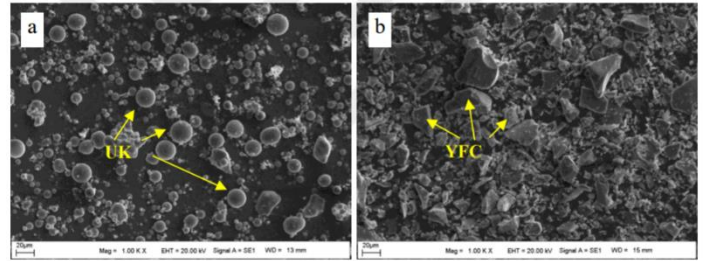
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, geopolimer hamurların üretiminde bağlayıcı madde olarak yüksek fırın cürufu (YFC) ve F sınıfı uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Kullanılan ham maddelerin kimyasal özellikleri Tablo 1'de, SEM görüntüleri ise Şekil 1'de verilmiştir. Uçucu kül, Ekton İnşaat ve Yapı Fabrikasından temin edilmiş, yüksek fırın cürufu ise Karçimsa firmasından temin edilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan ham maddelerin kimyasal bileşimleri

Bileşen, (%)	UK	YFC
SiO <sub>2</sub>	63,04	32,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,63	9,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77	1,25
CaO	1,07	32,45
Na <sub>2</sub> O	2,79	0,31
MgO	-	9,31
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-
SO <sub>3</sub>	0,1	0,82
S <sup>-2</sup>	-	0,33
K <sub>2</sub> O	-	0,85
TiO <sub>2</sub>	-	1,16
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3,51
Cl	-	0,015



Şekil 1. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun SEM görüntüsü [17]

Çalışma boyunca alkali aktivatör olarak NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılmıştır. Kullanılan alkali aktivatörlerin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Aktivatörlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Mol Kütle, (g/mol)	40,00	122,06
Renk	Beyaz	Beyaz
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77	1,25
pH	13-14	-
Bağıl Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )	2,13	1,38
Na <sub>2</sub> O İçeriği, (%)	-	8,9
SiO <sub>2</sub> İçeriği, (%)	-	28,7
H <sub>2</sub> O İçeriği, (%)	-	64,8

## 2.2. Metot

Çalışmada bağlayıcı olarak UK ve YFC değişik oranlarda (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) kullanılmıştır. Alkali aktivatör olarak 4 değişik molaritede NaOH ( 8, 10, 12 ve 14 M) ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>

kullanılmıştır. NaOH çözeltileri, dökümden 24 saat önce hazırlanmış ve döküm anına kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir [18-20]. Alkali sıvı/bağlayıcı oranı, NaOH ile aktivasyon metodunda 0,3, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktivasyonda ise 0,35 olarak sabit tutulmuştur. Aktivasyon değişkenlerine göre 5 farklı grupta toplanan toplam 30 farklı karışım serisi Tablo 3'te verilmiştir. Alkali solüsyonlar ile ham maddelerin karıştırılma işlemine 5 dakika boyunca devam edilmiş ve daha sonra taze geopolimer hamur numuneleri 50\*50\*50 mm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Döküm işlemi tamamlanan örnekler dökümden 48 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Toplamda 5 farklı aktivasyon yöntemi ve 6 farklı bağlayıcı içeriği olmak üzere 30 grup halinde dökümü tamamlanmış numuneler, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Geopolimer hamur numunelerinin basınç dayanımları ASTM C 109 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır[21].

Tablo 3. Geopolimer hamur numunelerin karışım parametreleri

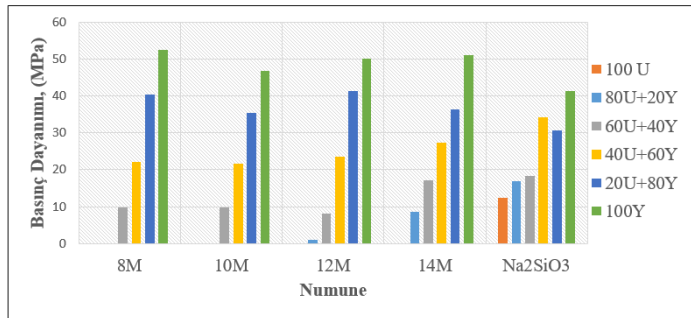
Grup No	Karışım	Bağlayıcı		Aktivatör		Alkali/bağlayıcı oranı
		UK, (%)	YFC, (%)	NaOH, (M)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	
I	100U	100	-	8	-	0,3
	80U-20Y	80	20			
	60U-40Y	60	40			
	40U-60Y	40	60			
	20U-80Y	20	80			
	100Y	-	100			
II	100U	100	-	10	-	0,3
	80U-20Y	80	20			
	60U-40Y	60	40			
	40U-60Y	40	60			
	20U-80Y	20	80			
	100Y	-	100			
III	100U	100	-	12	-	0,3
	80U-20Y	80	20			
	60U-40Y	60	40			
	40U-60Y	40	60			
	20U-80Y	20	80			
	100Y	-	100			
IV	100U	100	-	14	-	0,3
	80U-20Y	80	20			
	60U-40Y	60	40			
	40U-60Y	40	60			
	20U-80Y	20	80			
	100Y	-	100			
V	100U	100	-	-	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,35
	80U-20Y	80	20			
	60U-40Y	60	40			
	40U-60Y	40	60			
	20U-80Y	20	80			
	100Y	-	100			

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

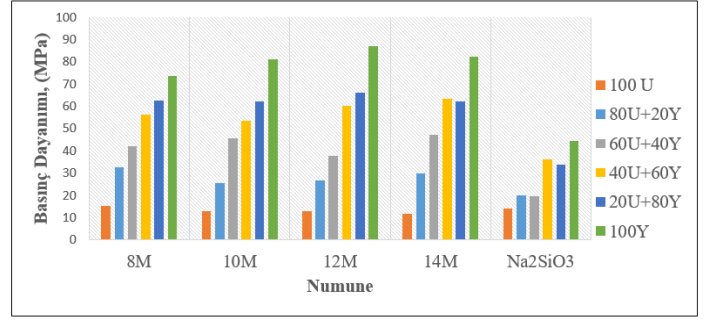
#### 3.1. Geopolimer hamur numunelerin basınç dayanımı

##### 3.1.1. Geopolimer hamur numunelerinin basınç dayanımına alkali aktivatör etkisi

Dört farklı NaOH konsantrasyonu ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> olmak üzere, toplam beş farklı aktivasyon yöntemi ile aktive edilen geopolimer hamur numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. Ham madde olarak %100 uçucu kül (UK) kullanılan geopolimer hamur numuneleri, NaOH ile aktive edilmesi halinde, ilk 7 günde herhangi bir dayanım kazanamamıştır. Ancak, %100 UK numunesinin Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilmesi sonucunda, 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %88'i ilk 7 günde kazanılmıştır. Bu durum, F sınıfı UK kullanılarak üretilecek ve laboratuvar koşullarında kür edilecek geopolimer hamur örneklerinde erken dayanım kazanmak için Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımının gerekli olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, 80U-20Y karışımı ile üretilen ve NaOH kullanılarak aktive edilen örneklerde de ilk 7 günde dikkate değer bir dayanım kazanımı elde edilememiştir. Ancak, NaOH konsantrasyonunun artması, 80U-20Y karışımı ile hazırlanan örneklerde ilk 7 günde daha fazla dayanıma yol açmıştır. Bu durum, yüksek alkali koşulların nispeten daha fazla erken dayanıma yol açtığını göstermiştir. Ayrıca, YFC kullanım oranının en çok % 60 oranında olduğu; 100U, 80U-20Y, 60U-40Y ve 40U-60Y örneklerinde ise Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktivasyon yönteminin ilk 7 günde yüksek basınç dayanımı değerlerine yol açtığı görülmüştür. Şekil 3, 28 günlük basınç dayanımı değerleri üzerinde aktivatör tip ve konsantrasyonunun ciddi bir etkisi olduğunu göstermektedir. Şöyle ki, 100U numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde, NaOH konsantrasyonunun 8 M'dan 14 M'a yükselmesi basınç dayanımını yaklaşık %30 oranında azaltmıştır. Benzer şekilde, 80U-20Y numunelerinde de en yüksek basınç dayanımı değerleri 8 M NaOH ile aktive edilen örneklerde gözlenmiştir. 60U-40Y ve 40U-60Y örneklerinde 28 günlük en yüksek basınç dayanımları 14 M NaOH ile aktive edilen numunelerde gözlenirken, 20U-80Y ve 100Y örneklerinde ise maksimum basınç dayanımı 12 M NaOH aktivasyonu ile sağlanmıştır. Ham madde olarak UK ve YFC'nin kullanıldığı bir çalışmada NaOH konsantrasyonunun 8'den 16 M'a artmasıyla birlikte basınç dayanımı değerlerinde önemli iyileşmeler meydana geldiği gözlenmiştir [22]. Ancak bazı araştırmacılar ise, yüksek NaOH konsantrasyonunun basınç dayanımını azalttığı yönünde bulgular elde etmişlerdir [23].



Şekil 2. Geopolimer hamur numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı



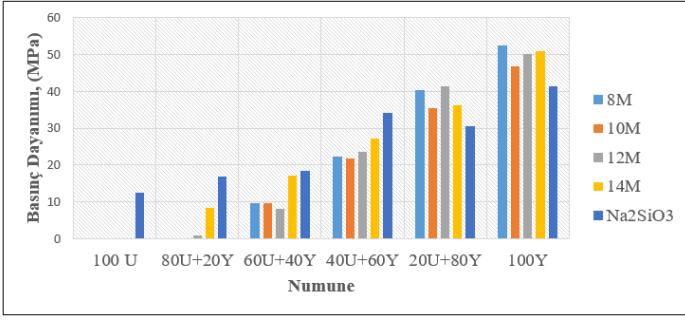
Şekil 3. Geopolimer hamur numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı

##### 3.1.2. Geopolimer hamur numunelerinin basınç dayanımına ham maddenin etkisi

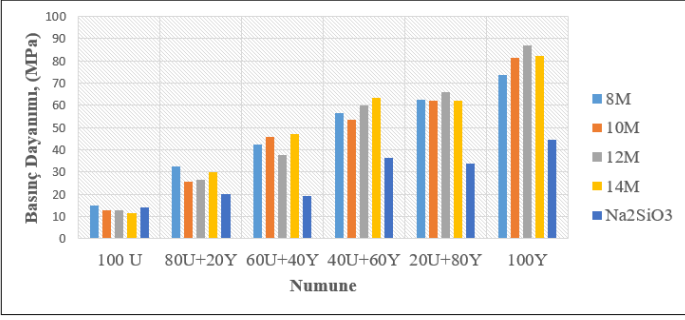
UK ve YFC kullanılarak 6 farklı bağlayıcı içeriğine sahip geopolimer hamurların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. Şekil 4 ve 5, YFC ikame oranının artmasıyla birlikte geopolimer hamur numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında ciddi artışlar meydana geldiğini göstermektedir. 8 M NaOH kullanılarak aktive edilen geopolimer hamur numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, YFC kullanım oranının 0'dan 100'e çıkmasıyla birlikte basınç dayanımının 0 MPa'dan 52,45 MPa değerine çıktığı görülmektedir. Bu durum, herhangi bir ısıl kür uygulanmadan F sınıfı uçucu kül kullanılarak erken yüksek dayanıma sahip geopolimer kompozit üretiminin pek mümkün görülmediğini göstermektedir. Bir bağlayıcının hidrolik aktivitesinin bir ölçümü olarak nitelendirilen hidrasyon modülünün, daha hızlı ve yüksek dayanım kazanmaya işaret ettiği de bilinmektedir [24]. [(CaO+ MgO+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/SiO<sub>2</sub>] formülüne sahip olan hidrasyon modülünün, çalışmada kullanılan UK ve YFC için sırasıyla 0,36 ve 1,59 olarak elde edilmesi, basınç dayanımı sonuçlarını doğrular niteliktedir. Benzer şekilde, Abhilash vd., tarafından yapılan çalışmada, YFC'nin UK'ya ikame oranının artmasıyla birlikte basınç dayanımı değerlerinde ciddi artışlar gözlenmiştir [25]. Öte yandan, yüksek oranlarda YFC kullanılan geopolimer hamur numuneleri (100Y ve 80Y-20U) dışında, en yüksek basınç dayanımı sonuçlarının Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktivasyon sonucu elde edildiği görülmüştür. Sonuçlar, ayrıca aktivatör molaritesinin değişmesinin, UK kullanılarak üretilen geopolimer hamurların basınç dayanımlarının üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. NaOH molaritesinin değiştirilmesiyle 100-U esaslı geopolimer hamur numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarında yaklaşık % 30'luk bir artış gözlenirken, 100 Y esaslı geopolimer hamur numunelerinde bu artış ancak % 18 düzeyinde olabildiği görülmüştür. Bu durum, Ravikumar vd., tarafından yapılan çalışmada elde edilen gözlemlerle paralellik göstermiştir [26]. 7 günlük en yüksek basınç dayanımı ise, 8 M NaOH ile aktive edilen %100 Y numunesinde gözlenmiştir. Benzer şekilde, UK bazlı geopolimer betonların dayanım kazanması için ısıl küre ihtiyaç duyduğunu, YFC kökenli geopolimer betonların ise ısıl kür olmadan laboratuvar şartlarında bekletilebileceğini gösteren bir çalışma mevcuttur [27].

### 3.1.3. Geopolimer hamur numunelerinin bekleme süresinin basınç dayanımına etkisi

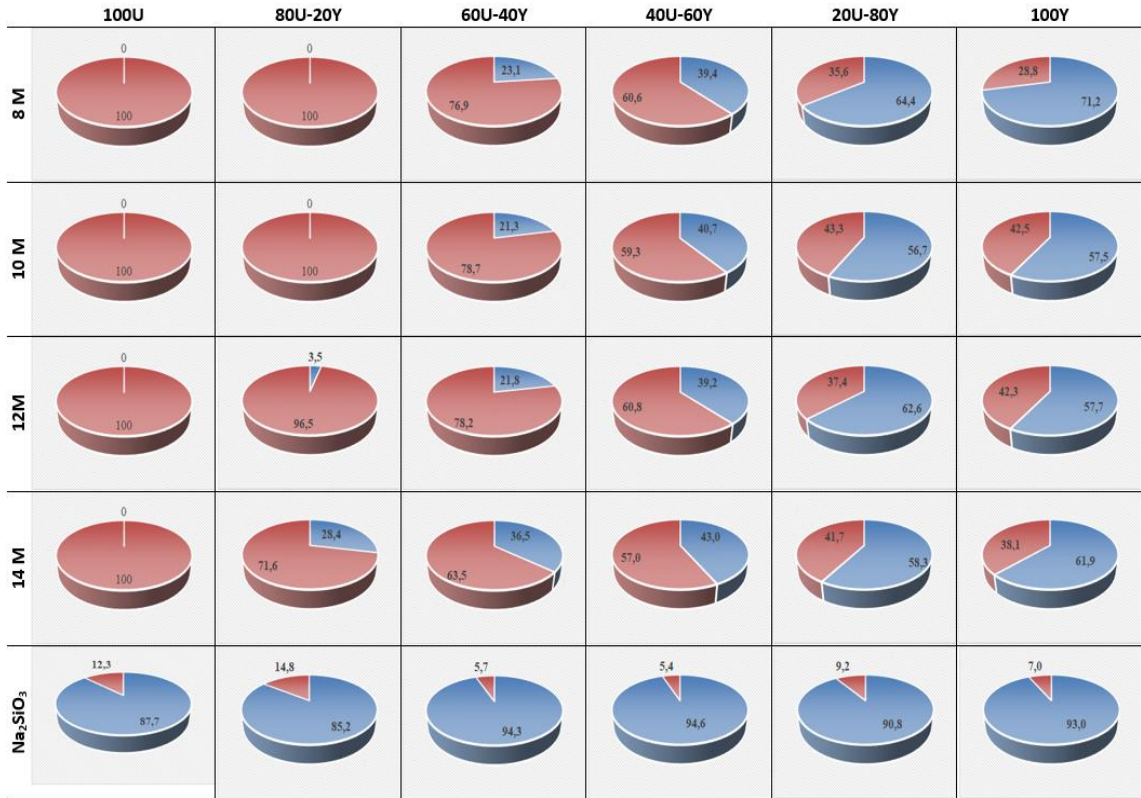
Şekil 6, geopolimer hamur numunelerinin bekleme sürelerinin basınç dayanımına etkisini göstermektedir. Tüm aktivasyon yöntemleri için, YFC oranının artmasıyla birlikte ilk 7 günde kazanılan dayanım oranları belirgin artışlar göstermiştir. Ayrıca, 8 ve 10 M NaOH ile aktive edilmiş 100U örneklerinin ilk 7 günde dayanım kazanmadığı gözlenmiştir. Sonuçlar, UK kullanılarak üretilen geopolimer hamurlarda, laboratuvar koşullarında yüksek erken dayanım kazanmak için  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktivasyon metodunun uygulanması gerektiğini göstermektedir. Genel anlamda NaOH konsantrasyonunun artmasıyla birlikte ilk 7 günde dayanım kazanma oranı artış gösterse de, YFC ikame oranının yüksek olduğu numune gruplarında böyle bir bağıntı kurulamamıştır. Örneğin, 80U-20Y numune gruplarında, 8 ve 10 M NaOH ile aktivasyon metodunda ilk 7 gün herhangi bir dayanım kazanma olmamasına rağmen, 12 ve 14 M NaOH ile aktivasyon işleminde sırasıyla % 3,5 ve % 28,4 oranında dayanım kazanılmıştır. Ayrıca, Şekil 5, aktivatör tipinin kazanılan dayanım oranlarına ciddi bir etkisi olduğunu göstermektedir. Şöyle ki,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilen tüm örnekler (ham madde tipinden bağımsız olarak), 28 günlük nihai dayanımlarının % 85'den fazlasını ilk 7 gün içerisinde almışlardır. Bu değer, NaOH ile aktive edilen numune gruplarında ise maksimum %71,2 oranında vuku bulmuştur.



Şekil 4. 7 günlük basınç dayanımına ham maddenin etkisi



Şekil 5. 28 günlük basınç dayanımına ham maddenin etkisi



■ : 0 - 7 Gün  
 ■ : 7 - 28 Gün

Şekil 6. Numune yaşının basınç dayanımı kazanma oranına etkisi

## 4. Sonuç

Geopolimer hamur örneklerin basınç dayanımlarına farklı ham madde ve aktivatör özelliklerinin incelendiği bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır;

1. Ham madde olarak %100 uçucu kül kullanılan geopolimer hamur numuneleri, NaOH ile aktive edilmesi halinde ilk 7 günde herhangi bir dayanım kazanamamıştır. Ancak, %100 uçucu kül numunesinin  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilmesi sonucunda, 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %88'i ilk 7 günde kazanılmıştır. Bu durum, F sınıfı uçucu kül kullanılarak üretilen ve laboratuvar koşullarında kür edilecek geopolimer hamur örneklerinde erken dayanım kazanmak için  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanımının gerekli olduğunu göstermektedir.
2. 100U ve 80U-20U numuneleri için optimum NaOH konsantrasyonu 8 M iken, 60U-40Y ve 40U-60Y örneklerinde optimum NaOH konsantrasyonu 14 M, 20U-80Y ve 100Y numunelerinde ise optimum NaOH konsantrasyonu 12 M olarak belirlenmiştir. Bu durum, optimum aktivatör konsantrasyonunun kullanılan ham maddenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.
3. Sonuçlar, YFC ikame oranının artmasıyla birlikte geopolimer hamur numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında ciddi artışlar meydana geldiğini göstermektedir.
4. Aktivatör tipinin kazanılan dayanım oranlarına ciddi bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Şöyle ki,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilen tüm örnekler (ham madde tipinden bağımsız olarak), 28 günlük nihai dayanımlarının % 85'den fazlasını ilk 7 gün içerisinde almışlardır. Bu değer, NaOH ile aktive edilen numune gruplarında ise maksimum %71,2 oranında vuku bulmuştur.

## Kaynakça

- [1] U.S. Geological Survey (USGS), Mineral Commodity Summaries, Feb. 2014.
- [2] Amran, Y. M., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., & El-Zeadani, M. (2020). Clean production and properties of geopolimer concrete; A review. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119679.
- [3] Mehta, P. K., Monterio, P. J. M. (2006a). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, California, USA, 299-301 p.
- [4] Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J., & De Magalhaes, A. G. (2014). *Eco-efficient construction and building materials: life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies*. woodhead Publishing.
- [5] Marinković, S. B. (2013). *Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete*. In *Eco-efficient concrete* (pp. 45-80). Woodhead Publishing.
- [6] Ženišek, M., Pavlu, T., Fořtová, K., & Pazderka, J. (2020, February). Use of concrete dust as a partial cement replacement. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2210, No. 1, p. 020019). AIP Publishing LLC.
- [7] Shalini, A., Gurunarayanan, G., & Sakthivel, S. (2016). Performance of rice husk ash in geopolimer concrete. *Int J Innov Res Sci Tech*, 2, 73-77.
- [8] <https://www.asbcert.com.tr/bilgi-bankasi/makaleler/sera-gazi-etkisi-nedir/>

- [9] Pavithra, P. E., Reddy, M. S., Dinakar, P., Rao, B. H., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A mix design procedure for geopolimer concrete with fly ash. *Journal of cleaner production*, 133, 117-125.
- [10] Ekinci, E., Türkmen, İ., Kantarci, F., & Karakoç, M. B. (2019). The improvement of mechanical, physical and durability characteristics of volcanic tuff based geopolimer concrete by using nano silica, micro silica and Styrene-Butadiene Latex additives at different ratios. *Construction and Building Materials*, 201, 257-267.
- [11] Li, N., Shi, C., Zhang, Z., Wang, H., & Liu, Y. (2019). A review on mixture design methods for geopolimer concrete. *Composites Part B: Engineering*, 178, 107490.
- [12] Reddy, M. S., Dinakar, P., Rao, B. H. (2016). A review of the influence of source material's oxide composition on the compressive strength of geopolimer concrete. *Microporous and Mesoporous Materials*. 234, 12-23.
- [13] Gao, K., Lin, K. L., Wang, D., Hwang, C. L., Tuan, B. L. A., Shiu, H. S., & Cheng, T. W. (2013). Effect of nano-SiO<sub>2</sub> on the alkali-activated characteristics of metakaolin-based geopolimers. *Construction and building materials*, 48, 441-447.
- [14] Davidovits, J. (1999). Chemistry of Geopolymeric systems, terminology. in "GÉOPOLYMÈRE '99 international conference", J. Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France. France, 9, 40.
- [15] Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer, J. S. J., & Lukey, G. C. (2002). The effect of composition and temperature on the properties of fly ash-and kaolinite-based geopolimers. *Chemical Engineering Journal*, 89(1-3), 63-73.
- [16] Yuan, J., He, P., Jia, D., Yang, C., Yan, S., Yang, Z., ... & Zhou, Y. (2016). Effect of curing temperature and SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O molar ratio on the performance of metakaolin-based geopolimers. *Ceramics International*, 42(14), 16184-16190.
- [17] Sarıcı T. (2019). Puzolan ile güçlendirilmiş inşaat ve yıkıntı atıklarının granüler dolgu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi, (Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [18] Rajarajeswari, A., & Dhinakaran, G. (2016). Compressive strength of GGBFS based GPC under thermal curing. *Construction and Building Materials*, 126, 552-559.
- [19] Yadollahi, M. M., Benli, A., & Demirboğa, R. (2015). The effects of silica modulus and aging on compressive strength of pumice-based geopolimer composites. *Construction and Building Materials*, 94, 767-774.
- [20] Kantarci, F., Türkmen, İ., & Ekinci, E. (2020). Influence of various factors on properties of geopolimer paste: A comparative study. *Structural Concrete*.
- [21] ASTM, C. (2016). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens). *Annual Book of ASTM Standards*, 4.
- [22] Qiu, J., Zhao, Y., Xing, J., & Sun, X. (2019). Fly ash/blast furnace slag-based geopolimer as a potential binder for mine backfilling: effect of binder type and activator concentration. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019.
- [23] Ahmari, S., & Zhang, L. (2012). Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolimerization. *Construction and building materials*, 29, 323-331.
- [24] Dong, M., Elchalakani, M., & Karrech, A. (2020). Development of high strength one-part geopolimer mortar using

sodium metasilicate. *Construction and Building Materials*, 236, 117611.

[25] Abhilash, P., Sashidhar, C., & Reddy, I. R. (2016). Strength properties of Fly ash and GGBS based Geopolymer Concrete. *International Journal of ChemTech Research*, 9(3), 350-356.

[26] Ravikumar, D., Peethamparan, S., & Neithalath, N. (2010). Structure and strength of NaOH activated concretes containing fly ash or GGBFS as the sole binder. *Cement and Concrete Composites*, 32(6), 399-410.

[27] Bilenler Altundal, M. (2019). Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Kül Katkılı Geopolimer Betonların% 5 Sülfürik Asit Etkisinde Mekanik Davranışı (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)



# Derin Öğrenme İle Türkçe Müziklerden Müzik Türü Sınıflandırması

Serhat Hızlısoy<sup>1\*</sup>, Zekeriya Tüfekci<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8440-5539), [serhathizlisoy@kayseri.edu.tr](mailto:serhathizlisoy@kayseri.edu.tr)

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7835-2741), [ztufekci@cu.edu.tr](mailto:ztufekci@cu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898588)

**ATIF/REFERENCE:** Hızlısoy, S., & Tüfekci, Z. (2021). Derin Öğrenme ile Türkçe Müziklerden Müzik Türü Sınıflandırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 176-183.

## Öz

Bu çalışmada, müzik türü sınıflandırma yapmak için bu alanda daha önce kullanılmamış derin öğrenmeye dayalı Evrişimli Uzun Kısa süreli bellek derin sinir ağı (CLDNN) adı verilen bir mimari kullanılmıştır. Ayrıca çeşitli müzik türlerine ait 200 müzikten oluşan yeni bir Türkçe Müzik Veritabanı oluşturulmuştur. Önerilen mimarinin ve yaygın olarak kullanılan makine öğrenme metodlarının sınıflandırma performansı oluşturulan bu veri tabanı üzerinde değerlendirilmiştir. Ek olarak, kullanılan bu mimarinin ilk kısmını oluşturan Evrişimli Sinir Ağı (CNN) kullanılarak, yeni öznitelikler elde edilmiştir. Bu yeni öznitelikleri elde etmek için Evrişimli Sinir Ağı'na girdi olarak hem Mel Frekanslı Kepstrum Katsayıları (MFCC) hem de log mel filtre bankası enerjileri kullanıldı. Bu özniteliklere ek olarak çeşitli araçlar kullanılarak çok sayıda standart öznitelik elde edilmiştir. Bütün metodlar için en başarılı sınıflandırma sonuçlarına standart özniteliklerle yeni öznitelikler bir arada kullanıldığında ulaşılmıştır. Karşılaştırılan sınıflandırıcılar içerisinde en iyi sonuçlara ise %99,5 ile önerilen mimarinin kalan kısmı olan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ile tam bağlantılı katmanlardan oluşan Derin Sinir Ağı (DNN) birleşimi ile ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Müzik, Tür Sınıflandırma, Derin Öğrenme.

## Classification Of Music Genres From Turkish Music With Deep Learning

### Abstract

In this study, an architecture called Convolutional Long Short-term memory deep neural network (CLDNN) based on deep learning, which has not been used before in this field, is used for music genre classification. In addition, a new Turkish Music Database consisting of 200 music belonging to various music genres has been created. The classification performance of the proposed architecture and commonly used machine learning methods has been evaluated on this database. In addition, new features are obtained by using Convolutional Neural Network (CNN), which is the first part of this architecture. Both Mel Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) and log mel filterbank energies were used as input to the Convolutional Neural Network to obtain these new features. In addition to these features, many standard features have been obtained by using various toolboxes. The most successful classification results for all methods are achieved when standard features are used together with new features. The best results among the compared classifiers were achieved with 99.5% by using the remaining part of the proposed architecture, Long Short Term Memory (LSTM), together with the Deep Neural Network (DNN) consisting of fully connected layers.

**Keywords:** Music, Genre Classification, Deep Learning.

\* Sorumlu Yazar: Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8440-5539, [serhathizlisoy@kayseri.edu.tr](mailto:serhathizlisoy@kayseri.edu.tr)



## 1. Giriş

Müzik, kendine özgü dili, yapısı ve anlatımıyla insanların karşılıklı düşünce, duygu ve özlem alışverişinde bulunabilmelerini sağlayan önemli bir iletişim aracıdır. Teknolojinin gelişmesiyle ve yeni iletişim araçlarının hayatımıza girmesiyle müziğe ulaşabilme imkanımızı her geçen gün artmaktadır ve müzik yaşamımızın hemen hemen her anında bizimle beraberdir. Bu durum da müziği en iyi şekilde kullanarak iletişimimizi en üst seviyeye taşıyacak bir bilgi ve beceriye ulaşmayı zorunlu hale getirmiştir.

Günümüzde, yapay zekâ teknolojilerinin ve verinin işlenebilirliğinin artmasıyla birlikte müzik endüstrisi dünya ekonomisi içinde önemli paya sahip olmaya başlamıştır. Dünyaca ünlü birçok şirket online müzik dinleme, müzik öneri sistemleri (Spotify) dahil olmak üzere birçok uygulamaya rağbetin artması sonucu müzik endüstrisine yönelmiştir. Bu uygulamalar kullanıcılar tarafından etiketlenen müzikler ile dinlediğimiz müzikleri, içinde barındırdığı sistemler sayesinde analiz ederek, türünü sınıflandırır.

Analiz aşamasında, son zamanlarda yapay zekâ teknolojilerinin sinyal işleme ile birlikte kullanılmasıyla birlikte müzik ile ilgili akademik alanda da birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların çoğu; müziğin akustik analizi, makam tanıma, müzik türü sınıflandırma ve müzikten duygu tanıma gibi çalışmaları içermektedir (Abidin ve ark., 2017; Çoban, 2017; Er ve Çiğ, 2020).

Müzik türü sınıflandırma, müzik bilgisine erişim (MIR)'in bir alt dalıdır. Müzik Bilgisine Erişim, müzik parçalarından bilgi çıkarma mekanizmaları ile bu görevlerde yer alan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Müzik türü sınıflandırma ile ilgili yapılan literatür taramasında çalışmaların çoğunda batı müziklerinin tercih edildiği (Feng, 2014; Karatana ve Yıldız, 2017; Wong ve ark, 2018) ve Türk müziklerine çok fazla yer verilmediği gözlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada Türk müziğinden seçilen örneklerden oluşan yeni bir veri tabanı oluşturulmak istenmiştir.

Tür sınıflandırmasına dayalı çalışmaların çoğunda temelde iki ana unsur vardır. İlki, sınıflandırma başarısını artıracak büyük verilerden onları temsil edecek öznitelikler belirlemek, ikincisi ise, türleri ayırt eden bu öznitelikleri kullanarak iyi bir sınıflandırıcı seçmektir.

Araştırmacılar bu çalışmalarında genellikle melodi, harmoni, ton ve ritim gibi müzik ve türü arasında ilişki kurabilen standart özellikler kullanırlar. Bu öznitelikleri de tek tek elde etmek yerine yüzlerce hatta binlerce standart öznitelik elde etmeyi sağlayan Marsyas (Tzanetakis ve Cook, 2000), Jaudio (McKay, 2005), Opensmile (Eyben ve Schuller, 2015) ve Mirtoolbox (Lartillot ve Toivainen, 2007) gibi çeşitli araçlar kullanırlar. Bu çalışmada da özniteliklerin çıkarılmasında bu araçlardan bazıları kullanılmıştır.

Müzik türlerinin farklılıklarının tespit edilmesini sağlayan en son ve en önemli aşama sınıflandırmadır. Bu alanda yapılan çalışmalara bakıldığında K En Yakın Komşu (k-NN) (Cover ve Hart, 1967), Rastgele Ormanlar (RF) (Breiman, 2001), Destek Vektör Makineleri (SVM) (Platt, 1999) ve Bayes Ağları (Friedman ve ark., 1997) gibi en sık kullanılan makine öğrenme metotları ile birlikte Evrişimli Sinir Ağları (CNN) (Lecun, 2015) ve Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları (LSTM) (Hochreiter, 1997) gibi birçok derin öğrenme metodunun kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada konuşma tanıma (Sainath ve ark., 2015), duygu tanıma (Hizlisoy ve ark, 2020) da dahil olmak üzere birçok alanda başarılı olan ancak müzik türü sınıflandırmada daha önce denenmemiş yeni bir yaklaşım olan evrişimli uzun-kısa süreli bellek derin sinir ağı (CLDNN) mimarisi, oluşturulan veritabanı üzerinde kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca bu mimarinin bir parçası olan CNN' e girdi olarak Mel Frekanslı Kepstrum Katsayıları (MFCC) ve Log-mel filtre bankası enerjileri kullanılarak 2 farklı öznitelik seti daha elde edilmiş ve bu öznitelikler sınıflandırma aşamasında kullanılmışlardır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Tabanı

Bilindiği üzere veritabanı oluşturmak, yoğun emek gerektiren ve zaman alan bir süreçtir. Ayrıca, müziklerin telif hakları ve değerlendirme maliyetleri gibi bazı zorluklarla karşılaşıldığı için de kaliteli veri seti elde etmek ve yayınlamak oldukça zordur. Çok sayıda zorluk olmasına rağmen son zamanlarda farklı dillerde birçok veritabanı oluşturulmuştur (Sturm, 2012; Bertin-Mahieux ve ark., 2011) ancak kaliteli veri tabanlarının eksikliği ve var olanlara ulaşılabilmesi, araştırmacıları genellikle kendi veri tabanlarını oluşturmaya zorlamıştır. Bu çalışmalar arasında ulaşılabilir Türk müziği veri tabanlarının sayısı neredeyse yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla bizde kendi veri tabanımızı oluşturmaya karar verdik.

Farklı toplumlara ait birçok müzik; ritim, melodi ve kültürel farklılıklara rağmen, dünyanın her bölgesinde sevilerek dinlenir. Fakat her toplum genellikle kendi kültürüne, yöresine ait, kendi dilini ve melodik ezgilerini taşıyan müziğe ayrı bir yer verir. Bu nedenle çalışmada kullanılmak için dört farklı türü içeren müziklerden oluşturulmuş Türkçe Müzik Veri Tabanı oluşturulmuştur.

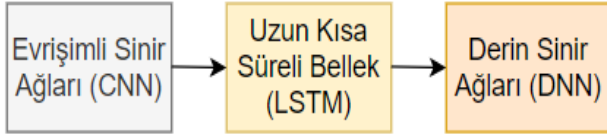
Bu veritabanı her müzik türünden 50 parça olmak üzere 200 parçanın biraraya getirilmesiyle meydana getirilmiştir. Müzik türleri olarak ise insanlar tarafından için en çok tercih edilen Klasik Türk Müziği, Türk Halk Müziği, Pop ve Arabesk seçilmiştir. Veritabanındaki şarkıların her biri 30 saniye uzunluğundadır. Müziklerin türlere göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Müzik Türleri ve Şarkı Sayıları

Tür	Türkçe Veri Tabanı
Klasik Türk Müziği	50
Türk Halk Müziği	50
Pop Müzik	50
Arabesk Müzik	50
Toplam	200

## 2.2. CLDNN Mimarisi

Bu bölüm, Türk müziklerinin türünü sınıflandırmak için kullanılan CLDNN Mimarisine dayalı olarak yaklaşımı açıklamaktadır. CLDNN (Convolutional Long Short Term Memory Deep Neural Networks), ismini içerisinde barındırdığı mimarilerin ilk harflerinin birleşiminden almaktadır. Bu mimari bir sınıflandırıcı gibi görünmesine rağmen 2 temel bölümden oluşur. İlk bölümde, özellik çıkarma için CNN kullanılır. İkinci bölümde ise sınıflandırıcı olarak LSTM ile DNN birarada kullanılır.



Şekil 1. CLDNN Mimarisi

CNN'ler girişlerin özelliklerini çıkarır, konum bilgisini çıkarmada üstündür, LSTM'ler zamansal modellemeye iyidir ve DNN'ler özellikleri ayrılabilir bir alana haritalamak için uygundur.

LSTM'in, daha yüksek kaliteli öznitelikler sağlandığında daha iyi performans gösterdiği keşfedildiği için CNN ve DNN arasına eklenir. DNN modülü, çıkışlar ve gizli birimler arasında bir eşleştirme sağlar.

Şekil 1 bu mimariyi anlatmaktadır. Bu çalışmada kullanılan LSTM katmanı 200 gizli birimden oluşur. LSTM'nin çıkışı 2 tam bağlı (FC) DNN katmanına bağlanır. Bu katmanlar, öznitelikleri hedefleri bulmanın daha kolay olduğu, daha ayırt edici bir alana dönüştürür. Kullanılan her DNN katmanında ise 100 gizli birim vardır.

### 2.2.1. Öznitelik Çıkarımı için Bir Boyutlu CNN

Derin öğrenmede, sınıfları temsil eden kaliteli öznitelikleri elde etmek için genelde büyük miktarda veri gerekir. Bu şekilde elde edilen özniteliklerle, tatmin edici sınıflandırma performanslar elde edilir ve eğitim verileri ile test verileri arasındaki hata farkı azaltılır.

Bizim veri setimizde olduğu gibi; veri boyutunun sınırlı olduğu durumlarda, bu sorununun üstesinden gelmek için veri büyütme işlemi gereklidir. Müziğe gürültü eklemek veya her parçayı birkaç eşit parçaya bölmek gibi eldeki veriyi büyütme için çeşitli teknikler vardır. Bu çalışmada, veri setindeki her örneğin 10 saniyelik 3 eşit parçaya bölünmesine karar verilmiştir. Böylece, özellik çıkarımı için veri setimizin boyutu tam olarak üç katına çıkarılmıştır.

CNN'ler, yapay sinir ağlarının özel bir türüdür ve en popüler derin öğrenme mimarisidir. Başlangıçta görüntü işleme için geliştirilmiştir. Ancak daha sonra doğal dil işleme ve ses işleme (konuşma tanıma, konuşmadan duygu tanıma, müzikten duygu tanıma, müzik türü sınıflandırma) (Liu ve ark., 2017; Thiruvengatanadhan, 2020) gibi birçok farklı alanda da uygulanmaya başlanmıştır.

CNN'ler, bir veya daha fazla evrişimli katmandan oluşur. Her evrişim katmanı, yeni öznitelik haritaları oluşturmak için bir dizi filtreye sahiptir. Evrişim katmanlarından sonra, havuz katmanları eklenir ve genellikle matrisin her alt bölümü için ortalama veya maksimum değerleri olarak parametre sayısını azaltmak için kullanılır. Önerilen mimari Tablo 2'de gösterildiği gibi, dört evrişim katmanı ile birlikte, dört ortaklama katmanı ve özniteliklerin tek bir boyuta indirgenmesi için düzleştirme (flatten) katmanından oluşmaktadır.

CNN'ler farklı giriş boyutlarına uyum sağlayabilirler. CNN'lerin 1, 2 veya 3 boyutları olmasına rağmen temelde aynı şekilde çalışırlar. Farkları ise resimde görüldüğü gibi, giriş verilerinin boyutu ve özellik algılayıcı olarak da adlandırılan filtrelerin veriler boyunca nasıl hareket edeceğidir. 1D CNN, sabit uzunluktaki bir süredeki (ses sinyalleri gibi) her türlü sinyal verisinin analizi için kullanılabilir. Bazı çalışmalarda 1D CNN'lerin diğerlerinden daha avantajlı olduğu ve bu nedenle ses sinyalleri ile uğraşırken 2D CNN'lere tercih edildiği görülmüştür.

Mesela, 1D CNN'lerin hesaplama karmaşıklığı, 2D CNN'lere kıyasla çok düşüktür. Çünkü 1D CNN'ler az sayıda gizli katmana ve nörona sahiptir, bu nedenle uygulamak ve eğitmek çok daha kolaydır. Standart bilgisayarlar genellikle 1D CNN'de eğitmek ve uygulamak için yeterlidir, ekstra donanım (çok çekirdekli işlemci, ekran kartı) gerekmez. Dolayısıyla bu çalışmada, müzik türü sınıflandırmada özelliklerinin çıkarılması için 1D CNN'ler kullanılmıştır.

1D-CNN kullanılarak yapılan bazı çalışmalarda doğrudan ham sinyallerden öznitelik çıkarmayı amaçlayan modeller kullanılmıştır. Fakat, CNN tabanlı ham sınıftan elde edilen özelliklerin sınıflandırma performansı üzerinde çok fazla etkisi olmadığı tespit edilmiştir (Sarkar ve ark., 2020). Bu nedenle, CNN tabanlı öznitelikler elde etmek için bu çalışmada CNN' e girdi olarak doğrudan ham sinyal kullanmak yerine Log-mel filtre bankası enerjileri ve MFCC'ler kullanıldı. Log-mel filtre

Tablo 2. CNN için evrişimli katmanların (E), ortaklama katmanlarının (O) ve düzleştirme katmanının (F), farklı tip girdiler ve farklı girdi boyutları dikkate alınarak konfigürasyonu.

Tanımlama	Girdi Boyutu	Log-mel Filtre Bankası Enerjileri				Mel Frekans Kepstrum Katsayıları			
		500 x 26				500 x 13			
		Boyut	Filtre	Filtre Boyutu	Atlama (Stride)	Boyut	Filtre	Filtre Boyutu	Atlama (Stride)
Katmanlar	E1	491	64	10	1	491	64	10	1
	O1	122	64	4	4	122	64	4	4
	E2	120	128	3	1	120	128	3	1
	O2	30	128	4	4	30	128	4	4
	E3	28	128	3	1	28	128	3	1
	O3	7	128	4	4	7	128	4	4
	E4	6	128	2	1	6	128	2	1
	O4	2	128	3	3	2	128	3	3
	D	1	256			1	256		

bankası enerjileri ve MFCC'lerin tercih edilmesinin nedeni ise, konuşma tanıma ve duygu tanıma çalışmaları içerisinde en ilişkili bilgileri taşıdıklarının düşünülmesi ve en yaygın kullanılan öznelikler olmalarıdır.

CNN'ler bağımsız öznelikleri, bir görüntünün mavi, kırmızı ve yeşil bileşenleri gibi ayrı kanallar olarak paralel şekilde kullanabilir. Dolayısıyla bu öznelikler, bir görüntünün kanalları gibi birbirlerinden bağımsız olmaları nedeniyle 1D CNN ile kullanılmaya da uygundur. 1D-CNN için gerekli girdinin yapısı, her örnek için zaman adımlarının sayısına ve bu zamanlarda elde edilen öznelik sayısı sayısına ihtiyaç duyar. Her müzik parçası daha önce belirtildiği gibi 10 saniyelik üç parçaya ayrıldı ve ardından her 20 ms'de 30 ms'lik Hamming penceresi kullanılarak 13 MFCC ve 26 log-mel filtre bankası enerjisi elde edildi. Her seferde pencere 20 ms kaydığından, 10 saniye içinde zaman adımlarının sayısına 500 olacaktır. Sonuç olarak, her 10 saniyelik müzik için CNN'e girdi olarak kullanabileceğimiz 500 \*13 boyutunda MFCC ve 500 \* 26 boyutunda log-mel filtre bankası enerjisi oldu. Bu öznelikler, her 10 saniyelik müzik için 256 CNN tabanlı özellik elde etmek için CNN'e beslenir. Tüm bunların sonucunda her 30 saniyelik müzik için 768 adet CNN tabanlı MFCC özneliği ve 768 CNN tabanlı log-mel filtre bankası enerjisi özneliği elde edilir.

Log-mel filtre bankası enerjilerinin ve MFCC'ların hesaplanması için adımlar gerekli adımlar şu şekildedir. İlk adımda, müzikler hamming penceresi kullanılarak üst üste binen çerçevelere bölünür. İkinci adımda, her çerçeve için ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (DTFT) hesaplanır. Daha sonra spektrumun büyüklüğünün karesi hesaplanır. Dördüncü adım, her bir mel-ölçeklenmiş üçgen filtre öbeğindeki tüm enerjilerin toplanmasıyla hesaplanan filtre bankası enerjilerini verir. Beşinci adımın çıktıları, mel filtre bankası enerjilerinin logaritması alınarak hesaplanan log-mel filtre bankası enerjileridir. Son adımda ise, MFCC'ler log-mel filtre bankası enerjilerinin ayrık kosinüs dönüşümü (DCT) alınarak hesaplanır.

### 2.2.2. Standart Öznelikler

Günümüzde, anlamlı öznelikler elde etmenin karmaşıklığı nedeniyle standart öznelikleri çıkarmak için genellikle belirli araçlar kullanılır. Bu araçlar, sağlam analiz ve senteze dayalı önemli öznelikleri çıkarmak için hazırlanmış etkili ve genişletilebilir yazılımlardır. Bu çalışmada, bu standart özellikleri müzik alıntılarında çıkarmak için üç araç kullanıldı.

Opensmile aracı, ilk olarak konuşma işleme için tasarlanmış olsada, duygu tanıma gibi farklı alanlarda da iyi performans göstermiştir. Bu öznelik seti, 6553 özellik içerir. Özellik sayısı açısından, Emo-large özellik seti, bugüne kadar bilinen en büyük özellik kümesidir. Mirtoolbox, müzik verilerinden bilgi çıkarma alanındaki hesaplama yaklaşımlarına genel bir bakış sağlamak için hazırlanmış bir yazılımdır. Bu araç kutusunun önemli avantajları, MATLAB ile entegrasyonu ve çok sayıda müzikal özelliği çıkarma yeteneğidir. Bu araç kullanılarak 348 özellik elde edilmiştir.

Jaudio hem genişletilebilirdir hem de kullanımı kolaydır. Çok sayıda özelliğin çıkarılmasına olanak sağlar. Standart sapma, türev ve ortalama dahil olmak üzere yeni özellikler oluşturmak için herhangi bir özelliğe uygulanabilecek meta özellikleri kullanır. Bu araç kutusu ile 468 özellik elde edilmiştir. Bu 3 araç kutusundan elde edilen özellikler daha sonra birleştirilerek bir özellik havuzu oluşturulmuştur. Bu araç kutuları kullanılarak 200 müzikten oluşan veritabanı içindeki her bir müzik parçası için toplam 7369 standart özellik çıkarılmıştır.

### 2.3. Öznelik Seçimi

Veri setinden elde edilen özelliklerin kalitesi, sınıflandırmadaki başarı oranını önemli ölçüde etkiler. Öznelik çıkarma işlemi bittikten elde edilen binlerce öznelikten en faydalı öznelikleri seçerek gereksiz özneliklerden kurtulma işlemine öznelik seçimi denir. Böylelikle o veritabanını temsil edecek en iyi öznelik alt kümesi belirlenerek veri boyutu azaltılır. Aynı zamanda bu işlem sayesinde eğitim sırasında modele çok fazla öznelik verilmez ve modelin çalışmasını

kolaylaşır. Dolayısıyla eğitim süresi ve iş yükü azalır. Özellik seçim işlemi yapan yöntemler, tahmin başarısını en yükseğe çıkarma amacına sahiptir. Bu çalışmada, öznelik seçim yöntemi olarak Korelasyona dayalı Özellik Seçimi algoritması (Correlation-based Feature Selection, CFS) (Hall ve Smith, 1998) uygulanmıştır. Bu yöntem, birbiriyle bağlantılı olmayan ancak sınıfla ilişkisi yüksek olan özneliklerin alt kümelerini, bulmayı amaçlayan bir algoritmadır.

## 2.4. Sınıflandırıcılar

Öznelik çıkarma işlemi sonucunda elde edilen özellikler kullanılarak sınıfı belli olmayan verilerin, yüksek doğruluk oranları ile sınıflara ayrılması işlemine sınıflandırma denir. Sınıflandırmanın amacı, hangi sınıfa ait oldukları bilinen örneklerin özelliklerini kullanarak bir model oluşturmak ve bu modeli, özellikleri bilinmeyen yeni örneklerin sınıflandırılmasında kullanmaktır.

Bu çalışmada sınıflandırma yapabilmek için içerisinde çok sayıda sınıflandırma ve kümeleme algoritmaları bulunduran WEKA (Hall ve ark., 2009) aracı kullanılmıştır. Yapılan müzik türü sınıflandırma çalışmasında kullanmak için oldukça popüler olan Naive Bayes, K- en yakın komşu, rastgele orman seçilmiştir ve bu sınıflandırıcılar Weka'da varsayılan parametreleri ile kullanılmıştır.

### 2.4.1. Naive Bayes

Olasılık modeli Bayes teoremine dayanan Naive Bayes sınıflandırıcısı, yüksek boyutlu verilere uygulanabilir ve basit, kolay ve iyi performans gösteren bir algoritmadır. Temel mantık, sınıfı tahmin etmek için gözlemlenen bir grup örnek için en yüksek olasılık çıktısını hesaplamaktır. Bu sınıflandırıcı, olasılık ilkelerine göre tanımlanan bir dizi hesaplama ile test için sisteme gönderilen veri sınıfını belirlemeyi hedefler.

Naive Bayes yöntemi, bir sınıfın her özelliğinin eşit ve diğer özelliklerden bağımsız olduğunu varsayar. Yani, tüm özellikler bağımsız olarak sonuç olasılığını etkiler ve herhangi bir özelliğin varlığı veya yokluğu diğer özellikleri etkilemez. Avantajları, veri sınıflandırmada hızlı ve kolay uygulanabilmesi ve çok sınıflı tahminlerde iyi performans göstermesidir.

### 2.4.2. K En Yakın Komşu

K en yakın komşu (k-NN), hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanıldığı için en popüler makine öğrenme algoritmalarından biridir, basittir. Kolay çıktı yorumlama ve tahmin gücü ile genellikle verimli performans sağlar ve bazı durumlarda doğruluğu modern sınıflandırıcılardan daha yüksektir.

K-NN algoritmasının üç temel özgesi vardır: sınıfı bilinen örnekler, örnekler arasındaki mesafeyi hesaplamak için uzaklık ölçüsü ve en yakın komşuların sayısı için k değeri. Hesaplama maliyetinin yüksek olması ve diğer yöntemlere göre yavaş çalışması dezavantajı olarak görülebilir.

Bu yöntemde, sınıflandırılacak örnekler ile mevcut sınıflandırılmış örnek arasındaki mesafelerin hesaplanarak sınıflandırma işlemi yapılır. (Euclidean, Minkowski ve Manhattan) Sınıflandırılacak örneğe en yakın k komşuları belirlenir ve sıralanır, daha sonra bu k komşularının sınıf etiketlerine bakılarak sınıflandırma yapılır.

### 2.4.3. Rastgele Ormanlar

Rastgele Ormanlar, en çok kullanılan makine öğrenme algoritmalarından biridir. Çünkü kullanımı kolay, esnek ve başarılı bir yöntemdir. Avantajı hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanılabilmesi ve eğitim süresinin diğer sınıflandırıcılara göre daha az olmasıdır.

Bu algoritma, düğümde kullanılacak değişken sayısı ve geliştirilecek ağaç sayısı olmak üzere sırasıyla 2 farklı parametreye dayanmaktadır. RF, eğitim aşamasında çoklu karar ağaçları oluşturarak çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemde göre rasgele birden fazla karar ağacı oluşturulur. Sınıflandırma sonucu veya karar, bir yaprak düğümünde taşınır.

Birbirinden farklı kurulan karar ağaçları, bizi sonuca götürecek karar ormanı topluluğunu oluşturur. Karar ormanının oluşturulması sırasında elde edilen sonuçlar birleştirilerek nihai tahmin yapılır. Ağaçların çoğunluğunun kararı, rastgele orman tarafından nihai karar olarak seçilir.

### 2.4.4. LSTM + DNN

Yinelenen Sinir Ağı (RNN)'nın, doğal dil işleme, konuşma tanıma, görüntü sınıflandırma gibi farklı alanlarda yapılan birçok çalışmada başarılı olduğu, fakat öğrenme yeteneğinin bazı durumlarda sınırlı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak da RNN'nin sadece en son bilgilere bakması ve bağlamlar arası boşluk arttığında geçmişten gelen bilgiyi kullanmada zorlanması gösterilmiştir. LSTM katman yapıları işte bu yaşanan problemleri aşmak amacıyla geliştirilmişlerdir.

LSTM, birçok görev için standart RNN'den çok daha iyi çalışan bir RNN türüdür. Yapısı gereği, hafıza mekanizması ile uzun süreli bağımlılıkları öğrenebildiğinden, konuşma tanıma, doğal dil işleme, müzik üretimi ve duygu tanıma gibi zamansal modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun süre bilgiyi hatırlama davranışı sergilerler. Çünkü LSTM katman yapısında katmanlarda bulunan nöronların kendi hafızaları bulunmaktadır. Bu hafızalarda geçmiş zaman verileri depolanır ve model geliştirilirken bu verilerden de yararlanır.

Hafızalarda hangi verilerin depolanacağı eğitim sürecinde belirlenir. Böylelikle girdilerin veya girdilerin dizilimlerinin bile yeni girdilerle etkileşime girebileceği ve çıktı üzerinde etkilerinin olacağı bir ağ yapısı oluşturulmuş olur. Bununla birlikte, RNN'den farklı olarak, temel LSTM mimarisinde, bir veya daha fazla bellek hücrelerine sahip tek bir kapı yerine, giriş kapısı, çıkış kapısı ve unutma kapısı gibi 3 geçit vardır.

CNN ve LSTM'e ek olarak, DNN de ses sinyallerine uygulanabilir. DNN'de, bir katmandaki her nöron, önceki ve sonraki katmanlardaki tüm nöronlara bağlıdır. Genelde sınıflandırma problemlerinde gizli birimler ile çıktı arasındaki eşleşmeyi daha da derinleştirerek tahminlerini iyileştirmek için son adımda kullanılır. Sınıflandırmada bir başka sinir ağı ile beraber kullanılabılır. Ek olarak, başka bir mimarinin bir parçasını da oluşturabilir.

CNN, LSTM ve DNN modülleri modelleme yeteneklerinde tamamlayıcı olduğundan ve sadece LSTM modellerinin kullanıldığı durumlardan daha iyi performans gösterdiği için CLDNN daha önce birçok alanda geniş çapta kabul görmüştür. Bundan dolayı, müzik türü sınıflandırma için CNN'ler, LSTM'ler ve DNN'ler birleşik bir çerçevede birleştirilerek kullanıldı.

Uzun kısa süreli bellek (LSTM) katmanından ve ardından iki tam bağlı sinir katmanından (FC) oluşan bir LDNN (LSTM + DNN) modeli, önerilen modellerin her biri için ortak alt ağ mimarisi işlevi görür. Bu nedenle, her modeli sınıflandırmak için LDNN kullanılır ve ardından sistemi tamamlamak için bir çıktı softmax katmanı kullanılır. Böylece CLDNN mimarisi tamamlanmış olur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Gerçekleştirim

Bu çalışma için üç ayrı öznelik seti oluşturulmuştur. İlk öznelik setinde daha önce çeşitli çalışmalarda kullanılan melodi, harmoni, ton, ritim gibi müzik ve türü arasında ilişki kurabilecek standart özellikler kullanılmıştır. Standart özneliklere ek olarak, öznelik çıkarmak için log-mel filtre bankası enerjileri ve MFCC'ler CNN'e girdi olarak beslenmesiyle 768'er adet öznelikten oluşan iki ayrı öznelik seti daha elde edilmiştir. CNN yapısı içerisinde her biri sırasıyla 64, 128, 128 ve 128 filtreden oluşan dört evrişimli katman kullanılmıştır. Temel modüller; her evrişim katmanının ardından Doğrultulmuş Linear Birim (Rectified Linear Unit) uygulanmıştır. Ortaklama katmanlarında (pooling), boyutu azaltmak için 4 ve 3 maksimum ortaklama katmanı (max-pooling) kullanılmıştır. Ayrıca aşırı öğrenmeyi azaltmak için 0,05 bırakma oranı (dropout rate) seçilmiştir. 0.0001 öğrenme oranına (learning rate) sahip Uyarlanabilir Moment Tahmin Optimize Edici (ADAM) (Kingma ve Ba, 2015) en iyi özellikleri bulmak için seçilmiştir. CNN'yi eğitmek için 10 numunelik (batch size) bir boyut seçilerek ve 100 tur (epoch) kadar

eğitilmiştir. Ayrıca, sinir ağlarını optimize etmek için kategorik çapraz entropi (categorical cross entropy) bir kayıp fonksiyon (loss function) olarak tercih edilmiştir. Daha sonra bütün öznelikler hem ayrı ayrı hem de birarada kullanılıp karşılaştırılarak 4 türe göre müzik türü sınıflandırması yapılmak istenmiştir.

Bütün deneysel çalışmalar WEKA programı ile yapılmıştır. Çapraz doğrulama, öğrenme algoritmasının sonuçlarını değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Weka, bu işlemi yapmamıza olanak sağlar. N katlı çapraz doğrulamada, veri kümesi rastgele n eşit parçaya bölünür. Bundan sonra veriler, tüm eğitim setleri için yaklaşık olarak aynı sınıf dağılımını elde edecek şekilde katmanlara ayrılır. Daha sonra n-1 kısımları eğitim verisi olarak kullanılır, geri kalan kısım ise bir hata oranını hesaplamak için test için kullanılır. Bu işlem, her bir alt küme hem eğitim verisi hem de test verisi olarak kullanılana kadar n kez tekrarlanır. Modelin hata oranı, ayrı ayrı hesaplanan n hata oranının aritmetik ortalaması alınarak bulunur. Çalışmamızda 10 kat çapraz doğrulama kullanılmıştır.

Tahmin Edilen

Gerçek	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Şekil 2. Hata Matrisi

Oluşturulan bu modellerin başarısını değerlendirmek için kullanılan en popüler yöntem modele ait doğruluk oranıdır. Doğru sınıflandırılmış verilerin (DN+DP) toplam veri sayısına (DN+DP+YP+YN) bölünmesi ile bulunur (1).

$$Doğruluk = \frac{DP + DN}{DP + YN + YP + DN} \quad (1)$$

#### 3.2. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada farklı yollar izlenerek elde edilen 3 farklı öznelik seti, 4 farklı sınıflandırıcıda test edilerek sonuçlar alınmıştır ve bu sonuçlar Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5 de gösterilmiştir. Bu 3 tablodaki sonuçlara bakıldığında en başarılı sonuçların öznelik seçim işlemi öncesinde MFCC öznelikleri ile öznelik seçim sonrasında ise standart öznelikle elde edildiği görülmektedir. Kullanılan öznelik sayısı göz önüne

Tablo 3. Log mel Filtre Bankası Enerjileri Kullanılarak Elde Edilen Özneliklerle Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırıcı	Log mel Filtre Bankası Enerjileri	
	Öznelik Seçimi Öncesi Doğruluk	Öznelik Seçimi Sonrası Doğruluk
Naive Bayes	79,5	86
K En Yakın Komşu	75	84
Rastgele Ormanlar	84,5	89
LSTM + DNN	85	89,5

alındığında 10 kat daha az öznelik içermesine rağmen MFCC öznelikleri kullanılarak elde edilen sonuçların standart öznelikler kullanılarak elde edilen sonuçlara hemen hemen yakın sonuçlar göstermesi yeni yöntemler kullanılarak oluşturulan öznelik setlerinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Log mel filtre bankası enerjileri kullanarak elde edilen başarı diğer iki öznelik setine oranla daha düşük olmasına rağmen yaklaşık %90 sınıflandırma başarısına ulaşmıştır. Yine bu tablolara bakıldığında, hepsinde sınıflandırma metotları arasında en iyi doğruluğu veren sonuçların hem öznelik seçimi öncesinde hem de öznelik seçimi sonrasında LSTM + DNN ile elde edildiği görülmektedir.

Tablo 6 da ise, bütün öznelik setleri biraraya getirildiğinde elde edilen sonuçları göstermektedir. Bu sonuçlara bakıldığında standart özneliklere yeni öznelikler eklendiğinde öznelik seçim öncesinde 3,5 ile 6,5 puan arasında, öznelik seçim sonrasında ise 0,5 ile 4 puan arasında iyileşmeler olduğu görülmektedir.

Sınıflandırıcı başarısı açısından bakıldığında ise LSTM + DNN mimarisi kullanılarak yapılan sınıflandırma başarının %99,5 ulaşarak bu çalışmada elde edildiği en yüksek müzik türü sınıflandırma başarısı olduğu gözlenmektedir. LSTM + DNN' i hemen hemen bütün tablolarda sırasıyla Rastgele Ormanlar, Naive Bayes ve K en Yakın Komşu metotlarının takip ettiği görülmektedir. Ayrıca yine bütün tablolarda öznelik seçim işleminin sınıflandırmadaki başarı oranını iyileştirmede ne kadar önemli olduğu ortaya koyulmuştur.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, müzik türü sınıflandırma için derin öğrenmeye dayalı yöntemler kullanarak hem yeni öznelikler elde etmek hemde sınıflandırıcı olarak kullanarak performansı artırmak amaçlandı. Ham sinyalden elde edilen MFCC ve log-mel filtre bankası enerjileri CNN'e girdi olarak beslenerek her biri için 768'er öznelik elde edildi. Bu öznelikler müzik türü tanıma için kullanılan LSTM + DNN sınıflandırıcısı ile CFS öznelik seçim işlemi sonrasında MFCC ile %96, log mel filtre bankası enerjiler ile %89,5 sınıflandırma doğruluğu elde edildi.

Tablo 4. Mel Frekansı Kepstrum Katsayıları Kullanılarak Elde Edilen Özneliklerle Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırıcı	Mel Frekansı Kepstrum Katsayıları	
	Öznelik Seçimi Öncesi Doğruluk	Öznelik Seçimi Sonrası Doğruluk
Naive Bayes	84	91,5
K En Yakın Komşu	82,5	90
Rastgele Ormanlar	86,5	93,5
LSTM + DNN	90	96

Tablo 5. Standart Özneliklerle Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırıcı	Standart Öznelikler	
	Öznelik Seçimi Öncesi Doğruluk	Öznelik Seçimi Sonrası Doğruluk
Naive Bayes	82,5	93,5
K En Yakın Komşu	80	91,5
Rastgele Ormanlar	86	96,5
LSTM + DNN	87	97

Tablo 6. Bütün Öznelikler Birlikte Kullanıldığında Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırıcı	Özneliklerin Tamamı ile	
	Öznelik Seçimi Öncesi Doğruluk	Öznelik Seçimi Sonrası Doğruluk
Naive Bayes	86,5	97,5
K En Yakın Komşu	86,5	95,5
Rastgele Ormanlar	90	97
LSTM + DNN	90,5	99,5

Yine ham sinyalden çeşitli araçlar kullanılarak standart öznitelikler elde edilerek kullanılan sınıflandırıcı ile %97 sınıflandırma başarısı elde edilerek diğer bütün popüler methodlardan daha iyi sonuçlar alındı. Son olarak Bütün öznitelikler birleştirildi ve ardından öznitelik seçim işlemi uygulanarak önerilen mimari ile %99,5 başarı ile müzik türleri sınıflandırıldı. CFS öznitelik seçim işlemi uygulandıktan sonra toplam öznitelik sayısı 8905'den 201'e düşmüştür. Bu özniteliklerin 35'i MFCC kullanılarak elde edilen özniteliklerden, 21'i log mel filtre bankası enerjileri kullanılarak elde edilen özniteliklerden, 144' i ise standart özniteliklerden oluşmaktadır. Yine bu sonuçlardan da yeni özniteliklerin sınıflandırma başarısının iyileşmesinde katkısı olduğu gözlenmektedir.

Daha önce müzik türü sınıflandırma da kullanılmamış bir mimari, klasik makine öğrenmesi yöntemleri ile karşılaştırılarak; farklı türdeki müziklerden oluşan yeni bir veri tabanı uygulanmıştır. Sonuç olarak deneysel sonuçlar oluşturulan veri tabanının kalitesini, yeni özelliklerin performansı artırıcı etkisini ve önerilen sınıflandırıcının diğer sınıflandırma yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

## Kaynakça

- Abidin, D., Öztörk, Ö., & Öztörk, T.Ö., (2017). Using data mining for makam recognition in Turkish traditional art music, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 32 1221–1232. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.369557>.
- Bertin-Mahieux, T., Ellis, D. P. W., Whitman, B., & Lamere, P., (2011). The million song dataset, in: *Proc. 12th Int. Soc. Music Inf. Retr. Conf. ISMIR 2011*.
- Breiman, L., (2001). Random forests, *Machine. Learning*.
- Cover, T. M., & Hart, P. E., (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification, *IEEE Trans. Inf. Theory*.
- Çoban, Ö., (2017). Turkish Music Genre Classification using Audio and Lyrics Features, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.* 21 322. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.88303>.
- Er, M. B., & Çiğ, H., (2020). Türk Müziği Uyarınları Kullanılarak İnsan Duygularının Makine Öğrenmesi Yöntemi İle Tanınması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.* 8 458–474. <https://doi.org/10.29109/gujsc.687199>.
- Eyben, F., & Schuller, B., (2015). OpenSMILE – The Munich Versatile and Fast Open-Source Audio Feature Extractor Florian, *ACM SIGMultimedia Rec.*
- Feng, T., (2014). Deep learning for music genre classification, *Tech. Rep. Univ. Illinois*.
- Friedman, N., Geiger, D., & Goldszmidt, M., (1997). Bayesian Network Classifiers, *Mach. Learn.* <https://doi.org/10.1023/a:1007465528199>.
- Hall, M., & Smith, L., (1998). Feature subset selection: a correlation based filter approach, in: *Proc. Int. Conf. Neural Inf. Process. Intell. Inf. Syst.*
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H., (2009). The WEKA data mining software: An update, *ACM SIGKDD Explor. Newsl.*
- Hizlisoy, S., Yildirim, S., & Tufekci, Z., (2020). Music emotion recognition using convolutional long short term memory deep neural networks, *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.10.009>.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J., (1997). Long Short-Term Memory, *Neural Comput.* <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
- McKay, C., (2005). JAudio: Towards a standardized extensible audio music feature extraction system, *Course Pap. McGill Univ. Canada*.
- Lartillot, O., & Toivainen, P., (2007). Mir in matlab (II): A toolbox for musical feature extraction from audio, in: *Proc. 8th Int. Conf. Music Inf. Retrieval, ISMIR*.
- LeCun, Y., Hinton, G., & Bengio, Y., (2015). Deep learning *Nature.* 28;521(7553):436–44. doi: 10.1038/nature14539. PMID: 26017442.
- Liu, X., Chen, Q., Wu, X., Liu, Y., & Liu, Y., (2017). CNN based music emotion classification, *ArXiv*.
- Karatana, A., & Yildiz, O., (2017). Music Genre Classification using Machine Learning Techniques, *Signal Process. Commun. Appl. Conf. (SIU), 2017 25th.* (2017) 1–4. <https://doi.org/10.1109/siu.2017.7960694>.
- Kingma, D. P., & Ba, J. L., (2015). Adam: A method for stochastic optimization, in: *3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Conf. Track Proc.*
- Platt, J., (1999). Fast Training of Support Vector Machines using Sequential Minimal Optimization, in: *Adv. Kernel Methods --- Support Vector Learn.*
- Sainath, T. N., Weiss, R. J., Senior, A., Wilson, K.W., & Vinyals, O., (2015). Learning the speech front-end with raw waveform CLDNNs, in: *Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH*.
- Sarkar, R., Choudhury, S., Dutta, S., Roy, A., & Saha, S. K., (2020). Recognition of emotion in music based on deep convolutional neural network, *Multimed. Tools Appl.* <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08192-x>.
- Sturm, B. L., (2012). An analysis of the GTZAN music genre dataset, in: *MIRUM 2012 - Proc. 2nd Int. ACM Work. Co-Located with ACM Multimed.* <https://doi.org/10.1145/2390848.2390851>.
- Tzanetakis, G., & Cook, P., (2000). MARSYAS: A framework for audio analysis, *Organised Sound.* <https://doi.org/10.1017/S1355771800003071>.
- Thiruvengatanadhan, R., (2020). Musical Genre Classification using Convolutional Neural Networks, *Int. Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, <https://doi.org/10.35940/ijitee.a8172.1110120>.
- Wong, K.H., Tang, C. P., Chui, K. L., Yu, Y. K., & Zeng, Z., (2018). Music genre classification using a hierarchical long short term memory (LSTM) model, 7. <https://doi.org/10.1117/12.2501763>.



# Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

İsmail İsa Atabey<sup>1\*</sup>, Cemre Ay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7026-5579), [ismailatabey@nevsehir.edu.tr](mailto:ismailatabey@nevsehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 50300, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7292-098X), [cemreay568@gmail.com](mailto:cemreay568@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899513)

**ATIF/REFERENCE:** Atabey, İ.İ., Ay, C. (2021). Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 184-189.

## Öz

Bu çalışmada atık cam tozu ile üretilen geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine kalsiyum alüminat çimentosunun farklı kür koşullarında etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla atık cam tozu ve %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında kalsiyum alüminat çimentoları (Isıdaç40 ve Refro50) içeren onbir farklı karışıma sahip geopolimer harçlar üretilmiştir. Harçlarda aktivatör olarak sodyum silikat kullanılmıştır. Üretilen geopolimer harçlar 24 saat 90°C etüv ve 24 saat hava + 24 saat 90°C etüv olmak üzere 2 farklı küre tabi tutulmuştur. Harçlar üzerinde yayılma tablası, su emme-boşluk oranı, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. En yüksek 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri hava+etüv küründe %5 Isıdaç40 tipi çimento ile üretilen harçlarda sırasıyla 24,2 MPa ve 25,5 MPa olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık cam tozu, Geopolimer, Kalsiyum alüminat çimentosu, Dayanım.

## The Influence of Calcium Aluminate Cement on Physical and Mechanical Properties of Waste Glass Powder Based Geopolymer Mortars Under Different Curing Conditions

### Abstract

In this study, the physical and mechanical properties of geopolymer mortars made with waste glass powder under different curing conditions have been investigated. For this purpose, eleven different geopolymer mortars containing waste glass powder and 5%, 10%, 15%, 20% and 25% calcium aluminate cement (Isıdaç40, and Refro50) were produced. Sodium silicate was used as activator in the mortars. The produced geopolymer mortars were subjected to two different curing conditions in an oven at 90° C for 24 hours and in the air for 24 hours + at 90 ° C for 24 hours in the oven. Flow table, water absorption and porosity, flexural strength, and compressive strength tests were performed on the mortars. The highest 7 and 28 days compressive strengths were obtained in mortars produced with 5% Isıdaç40 type cement in the air for 24 hours, respectively 24.2 MPa and 25.5 MPa.

**Keywords:** Waste glass powder, Geopolymer, Calcium aluminate cement, Strength.

\* Sorumlu Yazar: [ismailatabey@nevsehir.edu.tr](mailto:ismailatabey@nevsehir.edu.tr)



## 1. Giriş

Yirmi birinci yüzyılda hızlı endüstriyel gelişme ve aşırı tüketim ciddi çevresel zararlara neden olmakta ve zararlı gaz salınımı artmaktadır. Son yıllarda çevrenin korunması ve sürdürülebilir gelişmenin sağlanması için enerji tasarrufu ve karbon salınımının azaltılması gerekliliği herkes tarafından kabul edilmektedir. Bu nedenle sınırlı kaynakların etkin kullanımı için atıkların geri dönüşümü sağlanmalıdır [1, 2]. Katı atıkların kullanımı ile depolama alanlarında azalma da meydana gelir. Bu durumda sadece enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonu azaltılmaz aynı zamanda atık geri dönüşümü sayesinde çevresel avantajlar da elde edilebilir [3].

Çevresel etkileri ve kaynakların yönetimi açısından katı atıkların miktarını azaltmak için sürdürülebilir çabalar gerekmektedir. Dünya çapında her yıl büyük miktarda atık cam ortaya çıkması önemli bir sorundur. Tüm atık camların geri dönüştürülebilir olduğu ve cam fabrikalarında tekrar kullanılabilirliği görülmesine rağmen, ana sorun toplanan camın kalitesi ve rengi arasındaki farktır. Farklı renk ve orijinli karışık camlar, yeni camda kontrol edilemeyen bir renk ve özelliklere neden olur ve geri dönüştürülemez, bu da düzenli depolama alanına atılması anlamına gelir [4, 5]. Ancak renk faktörünün önemli olmadığı inşaat vb. alanlarda kullanımı ile bu faktör de ortadan kaldırılabılır.

Silis bakımından zengin atık camların kullanımı küresel ölçekte büyük bir atık haline geldiği için alternatif bağlayıcı üretimi için göz ardı edilmemelidir [3]. Birleşmiş Milletler, dünya genelinde yıllık elde edilen katı atıkların 200 milyon ton olduğunu, bunun %7'sini camın oluşturduğunu tahmin etmektedir. Türkiye için bu miktar 120000 ton olduğu bunun ancak 80000 tonu geri dönüştürülebildiği belirtilmektedir [6].

Atık camlar geri dönüştürülemez ise depolama alanlarında bekletilmektedir. Atık camın agrega [7], dolgu malzemesi [8], alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcı üretimi [5] ve katkı malzemesi olarak [9] potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır.

Alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcı üretim yöntemlerinden olan geopolimerler, alüminosilikat malzemenin alkali hidroksit ve/veya alkali silikatlar ile sentezlenerek üç boyutlu amorf yapıları inorganik polimerlerdir [10]. Geopolimerizasyon sürecinde mekanik özelliklerin belirlenmesinde alüminosilikatların kimyasal kompozisyonları önemli rol oynar. İstenilen dayanım gelişiminin elde edilebilmesi için başlangıç malzemelerinde optimum oranda Silis (Si) ve Alüminanın (Al) bulunması gerekmektedir. Atık cam tozu yüksek oranda Si içerdiği için daha düşük miktarda yer alan Al miktarını arttırmak için zengin Al içeren bir malzeme ilave edilerek bileşimin değiştirilmesi bağlayıcının özelliklerini iyileştirmektedir. Kalsiyum alüminatlı çimentolar (KAÇ) zengin alümina içeriği sayesinde cam tozu ile karıştırılarak Al eksikliği telafi edilebilmektedir. [5, 11].

KAÇ'ler, uygulamaya ve alüminyum kaynağının saflığına bağlı olarak geniş bir mineral bileşim aralığına sahip olan %38-%80 arasında değişen alümina içeriği ile bir tür özel çimentodur. Bütün KAÇ'larda monokalsiyum alüminat (CA) ana fazdır ve diğer kalsiyum alüminatlar daha az reaktif olan ikincil bileşenleri oluşturur. Kimyasal bileşimleri farklı olsa da tüm KAÇ türleri geopolimer üretimi için ek alümina kaynakları olarak kullanılabilir [5, 12].

Literatür incelendiğinde atık camın alüminat katkıları ile geliştirilmesiyle alkaliler ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Cam tozu ile yapılan çalışmalarda çoğunlukla farklı malzemelerle karışımı üzerine yer almaktadır. Zhang ve Yu, cüruf harcını sodyum silikat ve sodyum hidroksit karışımı ile aktifleştirerek cam tozunun mukavemet, kuruma büzülmesi ve sülfat direnci üzerindeki etkisini değerlendirmiştir [13].

Si ve ark. %0-20 arası cam tozu ilaveli metakaolin tabanlı geopolimerlerin mekanik özellikleri, nano boşluk yapısı ve kuruma büzülmesi davranışını araştırmışlardır. [14].

Vafaei ve Allahverdi, cam tozu tabanlı geopolimerlere kalsiyum alüminat çimentosu ilavesi üzerine çalışmışlardır. Üç farklı Na<sub>2</sub>O oranında (%8, %10 ve %12) sodyum hidroksit ve sodyum silikat karışımından oluşan aktivatör çözeltisi ile üç farklı oranda (%8, %16 ve %24) kalsiyum alüminat çimentosu ile cam tozunu yer değiştirerek harç hazırlamışlardır. Optimum dayanımı %10 Na<sub>2</sub>O aktivatör oranında %24 kalsiyum alüminatlı çimento-cam tozu yer değişiminde elde etmişlerdir [5].

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de üretilen iki çeşit kalsiyum alüminat çimentosunun (Isıdaç40 ve Refro50) atık cam tozu tabanlı geopolimer harçlar üzerinde farklı kür koşulları etkisini araştırmaktır. Bu sebep ile farklı kür koşulları uygulanarak atık cam tozu tabanlı geopolimer harçlara kalsiyum alüminat çimentosu ikamesinin etkisi ortaya konmak için işlenebilirlik, su emme ve boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deney yöntemleri uygulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme Özellikleri

Harç karışımlarında alkali ile aktive etmek amacıyla kullanılan hammaddelerden atık cam tozu Akcihan Cam Sanayi'den ve kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) Çimsa Mersin çimento fabrikasından temin edilmiştir. Cam tozu tane boyutu 50 µm altındadır. Aktivatör olarak kullanılan sodyum silikatın (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) kimyasal bileşenlerinde %61,1 H<sub>2</sub>O, %25,9 SiO<sub>2</sub>, %13 Na<sub>2</sub>O'dan oluşmaktadır Harç üretiminde kullanılan atık cam tozu (CT) ve kalsiyum alüminat çimentosunun kimyasal içerikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Harç karışımlarında şebeke suyu ve özgül ağırlığı 2,68, su emme oranı %1,97 olan dere kumu kullanılmıştır. Dere kumunun tane dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Isıdaç40, Refro50 ve Cam tozunun kimyasal özellikleri

Özellik	Isıdaç40	Refro50	Cam Tozu
SiO <sub>2</sub> (%)	3,60	6,0	69,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	39,8	51,0	1,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,05	2,5	0,48
CaO (%)	36,20	38,8	8,27
MgO (%)	0,65	1,0	4,25
SO <sub>3</sub> (%)	0,04	0,2	-
Na <sub>2</sub> O (%)	0,16	0,3	12,31
K <sub>2</sub> O (%)			-
Cl <sup>-</sup> (%)	0,009	-	-
K. K. (%)	0,30	-	16,18
Yoğ. (g/cm <sup>3</sup> )	3,25	3,03	2,58

Tablo 2. Dere kumuna ait tane dağılımı

Elek Çapı, mm	Geçen, %
4,00	99,1
2,00	65,1
1,00	40,2
0,5	21,3
0,25	9,9
0,125	3,7
0,063	0,9

## 2.2. Deney Tasarımı

Deneyel çalışmada, kalsiyum alüminatlı çimento (Isıdaç40 ve Refro50) içeriğine göre her kür grubu için 5 seri ve bir grup %100 atık cam tozundan oluşan kontrol harcı olmak üzere toplam 11 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretilen harçların karışım oranları 3 gözlü 40×40×160 mm harç kalıpları için Tablo 3'de sunulmuştur. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0,5, kum/bağlayıcı oranı ise 3 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda sıvı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  %10  $\text{Na}_2\text{O}$  oranında kullanılmıştır. Bununla birlikte, karışımlar içerdikleri kalsiyum alüminatlı çimento miktarına bağlı olarak 5 farklı seride %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında cam tozu ile ağırlıkça yer değiştirilerek üretilmiştir.

Çözelti hazırlamak için cam kavanozlara önce sodyum silikat ardından üzerine su ilave edilmiştir. Çözeltiler ile TS EN 196-1'e [15] uygun olarak 40×40×160 mm üç gözlü kalıplarda numuneler üretilmiştir. Çözelti, cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimento önce karıştırma kabında 30 saniye karıştırıldıktan sonra 30 saniye içinde kum ilave edilerek karışıma devam edilmiştir. Ardından yüksek hızda 30 saniye daha mikser karıştırmaya devam etmiştir. Bu aşama sonunda mikser durdurulup ilk 30 saniyede kabın kenarlarındaki harç toplanarak dinlenmesi için toplam 90 saniye beklenmiştir. Daha sonra 60 saniye daha yüksek hızda karıştırmaya devam edilerek işlem tamamlanmıştır.

Taze harçlara TS EN 1015-3 [16] standardına göre yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Ardından karışımlar 40×40×160 mm boyutlarında 3 göze sahip harç kalıplarına iki aşamada yerleştirilmiştir. Harç kalıplarına dökülen karışımlar farklı kür koşulları için 2 gruba ayrılmıştır. 1. Grup numuneler üretildikten hemen sonra kalıplarıyla birlikte 24 saat 90°C sıcaklıktaki etüvde kür edilmiştir. 2. Grup numuneler ise laboratuvar koşullarında yaklaşık 23±2 °C sıcaklıkta 24 saat üstü nemli bez ile kapalı tutulmuş ardından 24 saat 90°C sıcaklıktaki etüvde kür edilmiştir.

Sertleşmiş 28 günlük harç numunelerin su emme ve boşluk oranları belirlenmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde TS EN 1015-11 [17] standardına uygun olarak eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her bir deneysel sonuç için 3 numuneden elde edilen ortalama sonuçlar alınmıştır. Karışım kodlamalarında CT100 tamamen atık cam tozundan oluşan kontrol grubunu, ISD kısaltması Isıdaç40 tipi KAÇ ile üretilen harçları, RFR ise Refro50 tipi KAÇ ile üretilen harç gruplarını ifade etmektedir.

Tablo 3. Harç karışım miktarları, g

Numune Kodu	Cam Tozu	Isıdaç40	Refro50	Kum	Su	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$
CT100	450,0	0	-	1350	86	228
ISD5	422,5	22,5	-	1350	86	228
ISD10	405,0	45,0	-	1350	86	228
ISD15	337,5	67,5	-	1350	86	228
ISD20	360,0	90,0	-	1350	86	228
ISD25	337,5	112,5	-	1350	86	228
RFR5	422,5	-	22,5	1350	86	228
RFR10	405,0	-	45,0	1350	86	228
RFR15	337,5	-	67,5	1350	86	228
RFR20	360,0	-	90,0	1350	86	228
RFR25	337,5	-	112,5	1350	86	228

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. İşlenebilirlik

ISD ilavesi ile %100 CT ile üretilen harçlara göre işlenebilirlik ISD10 karışımından sonra iyileşmeye başlamıştır. RFR tipi kalsiyum alüminatlı çimento ise işlenebilirliğe daha çok etki etmiş RFR5 karışımı CT100'den 25 mm fazla işlenebilirlik değerine sahip iken RFR25'de 55 mm farka ulaşarak tüm karışımlar içindeki en yüksek işlenebilirlik değerine ulaşmıştır. Vafaei ve Allahverdi [5] cam tozu tabanlı harçlarda kalsiyum alüminat çimentosunun işlenebilirliği iyileştirdiğini belirtmiştir.

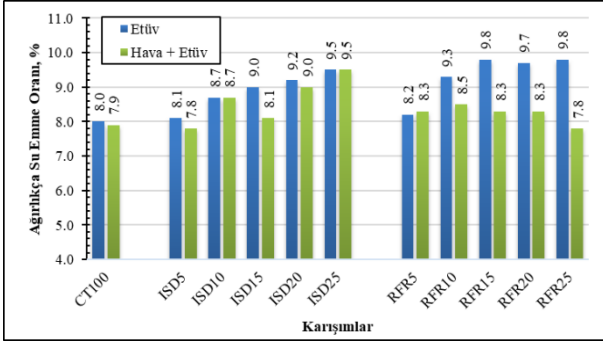
Tablo 4. Taze harç işlenebilirlik değerleri

Karışım Grubu	İşlenebilirlik, mm
CT100	125
ISD5	121
ISD10	125
ISD15	130
ISD20	136
ISD25	148
RFR5	150
RFR10	165
RFR15	171
RFR20	175
RFR25	180

### 3.2. Su Emme ve Boşluk Oranı

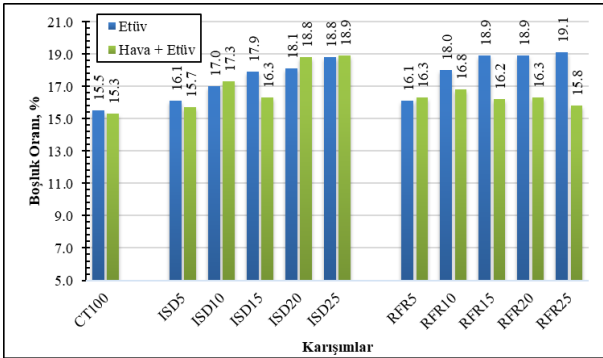
Sertleşmiş harçların su emme oranları Şekil 1'de, boşluk oranları ise Şekil 2'de verilmiştir. ISD grubu harçlarda %5-25 KAÇ yerdeğişimi aralığında doğrudan etüv küründe %8,1-%9,5 arası, hava+etüv küründe %7,8-%9,5 su emme oranlarına sahiptir. RFR grubu ise etüv küründe %8,2-%9,8, hava+etüv küründe %8,3-%7,8 aralığında su emme değerlerine sahiptir. Kontrol grubu CT100 karışımında ise etüvde %8, hava+etüv küründe %7,9 su emme değeri elde edilmiştir. Doğrudan etüvde kür edilen numunelerin su emme oranları hava+etüv kürü uygulananlara göre daha yüksektir. Ancak kalsiyum alüminat çimentolu harçlar, kontrol karışımlarına göre su emme oranları yakın veya bir miktar daha yüksektir. Her karışımın kendi içinde etüv veya hava+etüv kürü uygulanması su emme oranlarında

önemli bir değişikliğe de yol açmamıştır. %5 oranında çimento ile yerdeğişimi kontrol harçlarına yakın değerler verirken genel olarak çimento değişim oranı arttıkça su emme oranı da artmıştır.



Şekil 1. Numunelerin ağırlıkça su emme oranları

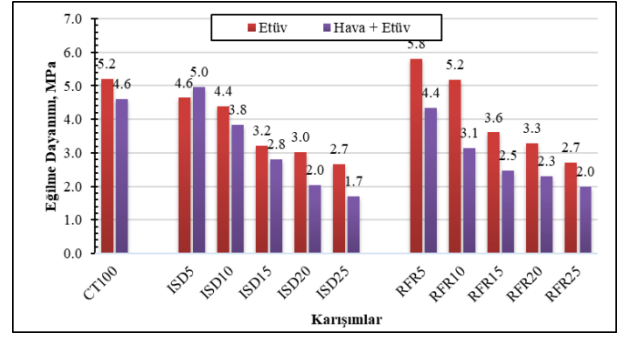
Numunelerin boşluk oranları Şekil 2’de verilmiştir. Kontrol grubu CT100 harçlarının doğrudan etüv kürü sonucu boşluk oranı %15,5 iken hava+etüv kürü sonrası %15,3 olarak belirlenmiştir. ISD grubu harçlarda %5-%25 yerdeğişimi aralığında doğrudan etüv küründe %16,1-%18,8 arası, hava+etüv küründe %15,7-%18,9 boşluk oranlarına sahiptir. RFR grubu ise etüv küründe %16,1-%19,1, hava+etüv küründe %16,3-%15,8 arası boşluk oranı değerlerine sahiptir. Boşluk oranı değerlerindeki değişim su emme oranı değerlerindeki değişim ile paralellik göstermektedir.



Şekil 2. Numunelerin boşluk oranları

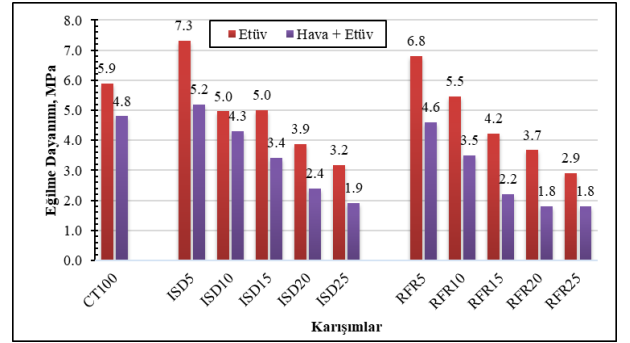
### 3.3. Eğilme Dayanımı

Geopolimer numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımları Şekil 3’de verilmiştir. Kontrol grubu CT100 harçlarının etüv kürü sonrası 5,2 MPa, hava+etüv kürü sonrası ise 4,6 MPa eğilme dayanımı elde edilmiştir. Genel olarak ISD grubu harçların eğilme dayanımı kontrol grubundan düşüktür. Ancak ISD oranı %5’den %25’e artış gösterdikçe eğilme dayanımındaki azalış artmaktadır. En düşük eğilme dayanımı ISD25’de hava+fırın küründe 1,7 MPa iken en yüksek eğilme dayanımı ISD5’de hava+etüv küründe 5,0 MPa’dır. Kontrol grubuna en yakın eğilme dayanımı ISD5 karışımında hava+etüv kürü sonrası elde edilmiştir. RFR grubu harçlarda ise doğrudan etüv küründe %5 ve %10 oranında yer değişimi kontrol grubuna göre eşit veya bir miktar yüksektir. Fakat ISD grubunda olduğu gibi RFR grubunda da %5’den %25 yerdeğişimi oranı arttıkça eğilme dayanımında düşüş artmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı 5,8 MPa ile etüv kürü sonrası elde edilirken en düşük ise RFR25 grubunda hava+etüv kürü sonrası 2,0 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. 7 Günlük numunelerin eğilme dayanımları

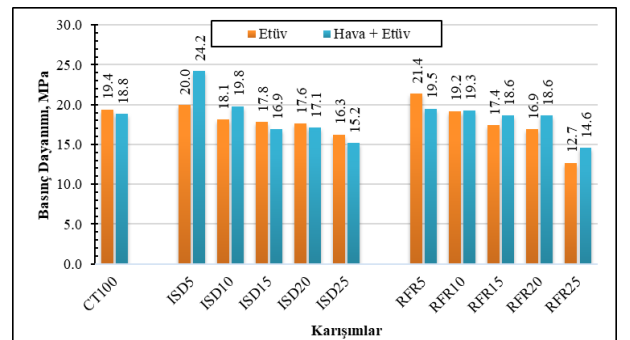
Numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 4’de verilmiştir. CT100 kontrol grubu karışımında etüvde 5,9 MPa, hava+etüv küründe 4,8 MPa eğilme dayanımı elde edilmiştir. ISD grubunda en yüksek eğilme dayanımı ISD5 karışımında etüv kürü sonrası 7,3 MPa olarak elde edilirken RFR grubunda ise RFR5 karışımında yine etüv kürü sonrası 6,8 MPa olarak elde edilmiştir. Hem ISD grubu hem RFR grubunda, etüv veya hava+etüv kürü sonrası %5’den %25’e kalsiyum alüminat çimento oranının artmasıyla eğilme dayanımında azalma görülmüştür. Ancak ISD5 ve RFR5 karışımında %5 yer değişiminde etüv kürü sonrası eğilme dayanımında artış olmuştur.



Şekil 4. 28 Günlük numunelerin eğilme dayanımları

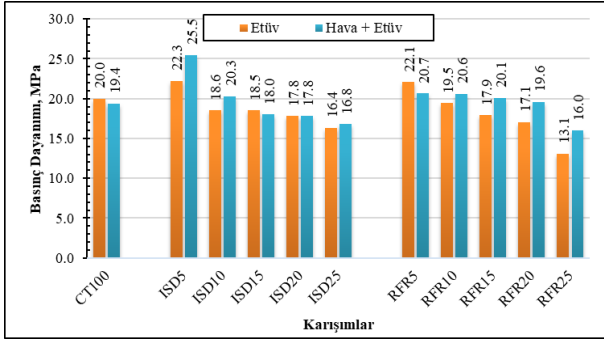
### 3.4. Basınç Dayanımı

Geopolimer harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları Şekil 5’de, 28 günlük basınç dayanımları ise Şekil 6’da verilmiştir. Harç numunelerinin tamamen cam tozu ile üretilen CT100 tipi karışımların 7 günlük doğrudan etüv sonrası 19,4 MPa, hava+etüv kürü sonrası 18,8 MPa elde edilmiştir. 28 gün sonunda ise etüv sonrası 20,0 MPa, hava+etüv sonrası ise 19,4 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Cam tozu ile üretilen geopolimer harçlar kür süresine bağlı olarak önemli bir dayanım gelişimi oluşturmamıştır.



Şekil 5. 7 Günlük numunelerin basınç dayanımları

ISD grubu harçlarda 7 günlük en yüksek dayanım 24,2 MPa ile ISD5 karışımında hava+etüv kürü sonrası oluşmuştur. Doğrudan etüv kürü sonrası ise 20,0 MPa ile CT100 kontrol karışımına yakın değerdedir. Ancak 28 günlük dayanımda ISD5 karışımı hava+etüv kürü sonrası 25,5 MPa'ya ulaşarak 7 günlük dayanıma göre çok büyük artış göstermemiştir. Kür süresi etkisinde %100 cam tozu ile üretilen karışıma benzer davranış göstermiştir. RFR tipi karışımlarda ise ISD karışımlarında olduğu gibi %5 oranında yer değişimi ile artış görülmekte ama ISD grubundaki artışa göre düşüktür. Refro tipi kalsiyum alüminatlı çimento grubunda en yüksek dayanım etüv küründe RFR5 karışımında 7 günlük için 21,4 MPa, 28 günlük için ise 22,1 MPa elde edilmiştir.



Şekil 6. 28 Günlük numunelerin basınç dayanımları

Kalsiyum alüminat çimentosunun kullanımı, kür tipi hava+fırın olan ağırlıkça ISD5 ve RFR5 geopolimer harcının dayanım özelliklerini iyileştirmiştir. ISD10 ve RFR10 karışımları ise CT100 tipi kontrol karışımla yakın değerdedir. Tüm karışımların mekanik özellikleri ISD15 ve RFR15 karışımları ile düşüğe geçmektedir. Reig ve ark. [18] çalışmalarında atık seramik tozu tabanlı harçlarda KAÇ kullanımı ile %20 yer değişimine kadar basınç dayanımının arttığını belirtmektedirler. Ayrıca Fernández-Jiménez ve ark. [19] KAÇ tipi çimentoların alüminosilikatların alkali aktivasyonunda ek bir Al kaynağı olarak kullanılabilirliğini ve küçük bir miktar KAÇ varlığının malzemenin mekanik mukavemetini artıracaklarını ifade etmişlerdir.

Hem etüvde hem hava+etüvde kür olan numunelerde KAÇ miktarının %5'den fazla artması ile genel olarak dayanımda artış görülmemiş CT tipi karışımlardan daha düşük basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Harçların hazırlandıktan hemen sonra fırına konarak küre tabi tutulanlarda, çimentoların nemli ortamda reaksiyon yaptığı için hemen fırında 90 °C sıcaklıkta kalması nemini kaybederek reaksiyonun yavaşlamasına sebep olacağı söylenebilir. Ayrıca ısı ile atifleşecek CT miktarında %5'den %25'e varan oranda azalma oluştuğu için %100 CT tipi harçlara göre KAÇ ile üretilen harçların dayanımları düşük kalmıştır.

Geopolimer karışımlarında uygun miktarda reaktif SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varlığı, artan miktarlarda reaksiyon ürünlerinin (hidrate sodyum alüminosilikat jel; N-A-S-H) oluşumuna katkıda bulunur ve bu da geopolimer bağlayıcıların yüksek mekanik performansı ile sonuçlanır. Benzer şekilde yapılan çalışmalarda aktivatörün etkin kullanımının dayanım özelliklerini geliştirdiği ortaya konmuştur [20, 21, 22, 23]. KAÇ kullanılarak ortama CaO ilave edilerek N-A-S-H jeli dışında C-A-S-H jeli de oluşumu sağlanmış böylece dayanımda bir miktar iyileştirme yapmıştır [11, 22]. Önceki çalışmalarda KAÇ tipi çimento kullanımında NaOH [19] veya NaOH-Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> karışımı [5, 11]

ile dayanım gelişimleri incelenirken bu çalışma farklı olarak sadece Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılarak %100 CT tipi harçlara göre dayanım gelişimi belirlenmiştir.

KAÇ içeriğinin %15'den %25'e artışı harçların basınç dayanımını olumlu etkilememektedir. Ortamda fazla bulunan hidroksit iyon konsantrasyonu, alüminosilikat jellerin hızlı bir şekilde çökmesine neden olarak daha düşük bir basınç mukavemeti ile sonuçlanmaktadır [11, 24, 25].

## 4. Sonuçlar

- Cam tozunun işlenebilirlik değeri Isıdaç40 tipi çimento ile 23 mm, Refro50 tipi çimento ile 55 mm'ye kadar artış göstermiştir. Özellikle Refro50 tipi kalsiyum alüminatlı çimento yüksek işlenebilirlik özelliği sağlamıştır.
- Isıdaç40 tipi çimento ile üretilen harçlarda kür tipi genel olarak su emme ve boşluk oranında dikkate değer bir fark oluşturmazken, Refro50 tipi çimento ile üretilen harçlar hava+etüv küründe doğrudan etüv kürüne göre düşük su emme ve boşluk oranlarına sahiptir.
- Hem Isıdaç40 hem Refro50 tipi çimento ikamesi yapılan harçlarda 7 günlük eğilme dayanımında önemli bir gelişme görülmezken, 28 günlük numunelerde her iki çimento grubu için de etüv kürü sonrası %5 KAÇ-cam tozu yer değişimi yapılan karışımlarda yüksek eğilme dayanımı elde edilmiştir.
- Etüv veya hava+etüv kürü cam tozu tabanlı geopolimer harçların basınç dayanımında 7 günden 28 güne kür süresinin artışıyla önemli bir fark oluşturmamıştır.
- Isıdaç40 tipi çimento ile üretilen 28 günlük harçların basınç dayanımı %5 oranında cam tozu ile yer değişiminde hava+etüv kürü sonrası 25,5 MPa elde edilmiştir. Hava +etüv kürü ile 19,4 MPa basınç dayanıma sahip CT100 tipi harçlara göre %31 oranında daha yüksek dayanıma ulaşılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesine ABAP20F20 nolu proje ile destek veren Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1] W. C. Wang, B. T. Chen, H. Y. Wang, and H. C. Chou, (2016). "A study of the engineering properties of alkali-activated waste glass material (AAWGM)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 112, pp. 962–969.
- [2] C. C. Wang, H. Y. Wang, B. T. Chen, and Y. C. Peng, (2017). "Study on the engineering properties and prediction models of an alkali-activated mortar material containing recycled waste glass," *Constr. Build. Mater.*, vol. 132, pp. 130–141.
- [3] H. Du and K. H. Tan, (2017). "Properties of high volume glass powder concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 75, pp. 22–29.

- [4] Y. Jani and W. Hogland, (2014). "Waste glass in the production of cement and concrete - A review," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 1767–1775.
- [5] M. Vafaei and A. Allahverdi, (2017). "High strength geopolymer binder based on waste-glass powder," *Adv. Powder Technol.*, vol. 28, no. 1, pp. 215–222.
- [6] I. B. Topçu and M. Canbaz, (2004). "Properties of concrete containing waste glass," *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no. 2, pp. 267–274.
- [7] T. M. Borhan, (2012). "Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre," *Mater. Des.*, vol. 42, pp. 265–271.
- [8] V. Vaitkevičius, E. Šerelis, and H. Hilbig, (2014). "The effect of glass powder on the microstructure of ultra high performance concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 68, pp. 102–109.
- [9] M. Mirzahosseini and K. A. Riding, (2015). "Influence of different particle sizes on reactivity of finely ground glass as supplementary cementitious material (SCM)," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 56, pp. 95–105.
- [10] J. Davidovits, (2015). *Geopolymer Chemistry and Applications*, 4th ed. Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- [11] M. Vafaei and A. Allahverdi, (2016). "Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 290–296.
- [12] E. Najafi Kani, A. Allahverdi, and J. L. Provis, (2012). "Efflorescence control in geopolymer binders based on natural pozzolan," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 1, pp. 25–33.
- [13] L. Zhang and Y. Yue, (2018). "Influence of waste glass powder usage on the properties of alkali-activated slag mortars based on response surface methodology," *Constr. Build. Mater.*, vol. 181, pp. 527–534.
- [14] R. Si, Q. Dai, S. Guo, and J. Wang, (2020). "Mechanical property, nanopore structure and drying shrinkage of metakaolin-based geopolymer with waste glass powder," *J. Clean. Prod.*, vol. 242, p. 118502.
- [15] TS EN 196 -1, (2016). *Çimento Deneysel Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS EN 1015-3, (2006). *Kağır Harcı- Deneysel Metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile)*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS EN 1015-11/A1, (2013). *Kağır Harcı-Deneysel Metotları- Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] Reig, L., Soriano, L., Tashima, M. M., Borrachero, M. V., Monzó, J., & Payá, J. (2018). Influence of calcium additions on the compressive strength and microstructure of alkali-activated ceramic sanitary-ware. *Journal of the American Ceramic Society*, 101(7), 3094-3104.
- [19] Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., Vazquez, T., Vallepu, R., Terai, T., & Ikeda, K. (2008). Alkaline activation of blends of metakaolin and calcium aluminate. *Journal of the American Ceramic Society*, 91(4), 1231-1236.
- [20] Kaya, M., & Köksal, F. (2020). Effect of cement additive on physical and mechanical properties of high calcium fly ash geopolymer mortars. *Structural Concrete*.
- [21] Çelikten, S., Sarıdemir, M., & Akçaözöğlü, K. (2020). Effect of calcined perlite content on elevated temperature behaviour of alkali activated slag mortars. *Journal of Building Engineering*, 32, 101717.
- [22] Yurt, Ü. (2020). An experimental study on fracture energy of alkali activated slag composites incorporated different fibers. *Journal of Building Engineering*, 101519.
- [23] Yurt, Ü. (2020). High performance cementless composites from alkali activated GGBFS. *Construction and Building Materials*, 264, 120222.
- [24] W.K.W. Lee, J.S.J. van Deventer, (2002). The effects of inorganic salt contamination on the strength and durability of geopolymers, *Colloids Surf. A* 211 (2–3) 115–126.
- [25] Atabey. İ.İ., Bayer Oztürk, Z. (2021). Seramik Sağlık Gereci Atıklarının Geopolimer Harç Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *International Journal of Engineering Research and Development*, 13 (1) 212-219.



# Effect of Gasoline-AVGAS Blends on Exhaust Emission of Gasoline Engine Using Taguchi Approach

Ibrahim Dogan<sup>1\*</sup>, Mehmet Selman Gokmen<sup>2</sup>, Hasan Aydogan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1448-8911), [ibrahimdogan0594@gmail.com](mailto:ibrahimdogan0594@gmail.com)

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan University, Seydişehir Vocational School, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5943-7504), [msgokmen@erbakan.edu.tr](mailto:msgokmen@erbakan.edu.tr)

<sup>3</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1404-6352), [haydogan@selcuk.edu.tr](mailto:haydogan@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900212)

**ATIF/REFERENCE:** Dogan, I., Gokmen, M. S. & Aydogan, H. (2021). Effect of Gasoline-AVGAS Blends on Exhaust Emission of Gasoline Engine Using Taguchi Approach. *European Journal of Science and Technology*, (24), 190-201.

## Abstract

In this study, aviation gasoline AVGAS and gasoline were mixed in certain proportions and TSI was applied in a gasoline engine. Emission results were observed by increasing the octane rating of fuel blends with Avgas. Experimental studies were carried out using the taguchi method. The accuracy of the observed emission values is supported by ANOVA analysis and contour graphs and compared with gasoline reference fuel.

**Keywords:** Avgas, Gasoline, TSI, Engine Emissions

## Taguchi Yaklaşımı Kullanılarak Benzin-AVGAS Karışımlarının Benzinli Motorun Egzoz Emisyonlarına Etkisi

### Özet

Bu çalışmada, havacılık benzini AVGAS ve benzin belirli oranlarda karıştırılarak TSI benzinli motorda kullanılmıştır. Avgas ile yakıt karışımlarının oktan derecesi artırılarak emisyon sonuçları gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar taguchi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gözlemlenen emisyon değerlerinin doğruluğu ANOVA analizi ve kontur grafikleri ile desteklenmiş ve benzin referans yakıtı ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Avgas, Benzin, TSI, Motor Emisyonu

\* Corresponding Author: [ibrahimdogan0594@gmail.com](mailto:ibrahimdogan0594@gmail.com)

## 1. Introduction

Avgas is a high octane fuel that is obtained by formulating gasoline and called aviation gasoline. The reason for the high octane is the lead tetra ethly (TEL) it contains. Due to the high octane level, the air-fuel mixture can be compressed at a higher rate without ignition [1].

The ratio of less and highly volatile components in Avgas is less than the gasoline used in automobiles. Contains a certain percentage of lead tetra-ethyl to reduce the burning rate of gasoline [2]. Physical and chemical properties of Avgas fuel are given in Table 1.

Avgas contains Tetra Ethly Lead (TEL), which is an additive banned in automotive precursors in the European Union for environmental reasons [4, 5]. TEL is an additive added to aviation fuels to help prevent knock [6, 5]. Considering the benefits of TEL, as it is known from the problems in automotive fuels, lead compounds of TEL form a protective layer in the valve seat and prevent the abrasion of soft valve seats. Without a TEL, small areas of the soft metal valve seat are fused to the valve and the valve is pulled from the seat surface. Once attached to the valve, they form an abrasive surface that further damages the valve seat. This combination of action is known as valve seat collapse (VSR) as the valve seat wears and enters the cylinder head. The solutions for this are either using VSR additives or using hardened valve seats resistant to this action [1].

Another problem with unleaded fuels is the octane rating. Octane rating is a measure of how resistant a fuel is to knock; the higher the octane ratio, the more the fuel-air mixture can be compressed without ignition.

The advantage of higher octane fuels is that a higher compression ratio or overfill rate can be used, resulting in a higher engine cycle efficiency.

TSI, which consists of the initials of Turbo Spercharger Injection, is defined as a turbocharged and direct injection engine. Generally used in small volume engines such as 1.2 lt [7].

As a result of researches in the literature, it has been determined that alternative mixtures with different fuel types are mostly made on diesel engines and gasoline engines with older technologies. The most important factor that makes this study important is the increase in the importance of gasoline engines and alternative fuels as a result of the prohibition of its use in passenger cars in many European countries, even in the Middle East countries, as a result of the harmful emissions caused by diesel fuel. Today, it is a work to be done on TSI engines, which is one of the most modern, efficient technologies in gasoline engines, where the power obtained from unit volume is very high and therefore has low fuel consumption.

The aim of this study is to investigate the emission values of Avgas, which is a highly compressible fuel, by using TSI in an engine.

## 2. Material and Method

Experiments in this study were carried out in Selcuk University Technology Faculty Mechanical Engineering Engine Test and Fuel Laboratory. The experimental setup consists of a four-stroke four-cylinder Volkswagen TSI brand gasoline engine, a hydraulic dynamometer to load the engine and an emission measuring device to measure the exhaust gas emissions. The schematic view of the experimental setup is shown in Figure 1.

Table 1. Physical and chemical properties of AVGAS [3]

Property	Maximum	Minimum
Knock Degree, Lean Mixture (Engine Method), Octane Number		99.5
Knock Degree, Rich Mix (Supercharging Method), Number of Performances		130
Freezing point °C	-58	
Distillation Endpoint °C	170	
Reid Vapor Pressure @38°C, kPa	49	38
Sulfur Content %m	0.05	
Tetraethyl Lead Content gPb/l		
Avgas 100	0.85	
Avgas 100LL	0.56	
Explosive Limits (% of volume in air)	7.6	1.5
Initial Boiling Point Range °C	170	24
Steam Pressure @37.8°C, psia(Reid VP)	7	5.5
Specific Gravity (Water = 1) @15.6 °C	0.74	0.68
Flash Point °C	< -37	
Autoignition Temperature °C	440	
Vapor Density (air = 1)	>1	
Evaporation Rate (nBuAc=1)	>1	
Percent Volatility	% 100	
Color		
Avgas 100		Green
Avgas 100LL		Blue
Physical Form		Liquid
Smell		Gasoline

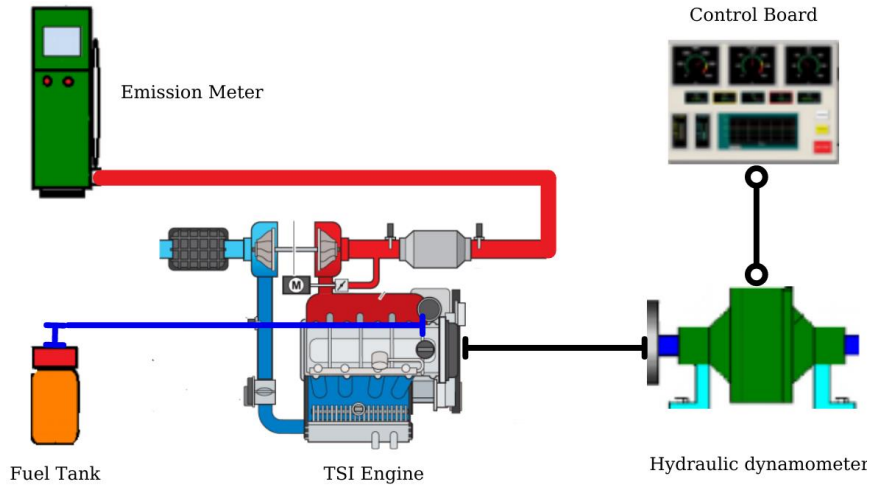


Figure 1. Schematic view of the experimental setup

The experimental setup consists of a four-stroke four-cylinder Volkswagen TSI brand gasoline engine, a hydraulic dynamometer to load the engine and an emission measuring device to measure the exhaust gas emissions. The schematic view of the experimental setup is shown in Figure 1. Experiments were carried out under full load conditions and full throttle opening. The engine was run with gasoline for a while before starting experiments for fuel mixtures. In each fuel test, the previous fuel was completely purged from the engine. Experiments were carried out on the same day to prevent data deviations due to the humidity and temperature difference in the atmosphere. In order to increase the reliability of the experimental results, the experiments were carried out in three replicates and the values were averaged.



Figure 2. Experiment engine

## 2.1. Experiment Engine

The experiments were carried out on the TSI engine of the Volkswagen brand. Technical specifications of the test engine are given in Table 2 and the test engine is given in figure 2.

## 2.2. Test Fuels

Three different volumetric fuels have been prepared for use in tests. Fuels are determined as A0 (Gasoline 100%, Avgas 0%), A5 (Gasoline 95%, Avgas 5%), A10 (Gasoline 90%, Avgas 10%) and A15 (Gasoline 85%, Avgas 15%) (Figure 3).

Table 2. Test engine technical specifications

Engine Code	CBZB
Structure	Production engine
Number of Cylinders	4
Valves Per Cylinder	2
Volume	1197 cm <sup>3</sup>
Cylinder Diameter	71 mm
Stroke	75.6 mm
Compression Ratio	10:1
Maximum Power Output	500 rpm rotation 77 kW
Maximum Torque	1500-3500 rpm in the range of 175 Nm
Control unit	Continental Simos 10.1
Fuel	95 octane super unleaded
Exhaust Finishing	Three-way catalytic converter, linear lambda probe before catalytic converter, sudden movement lambda probe after catalytic converter
Emission Standard	EU5



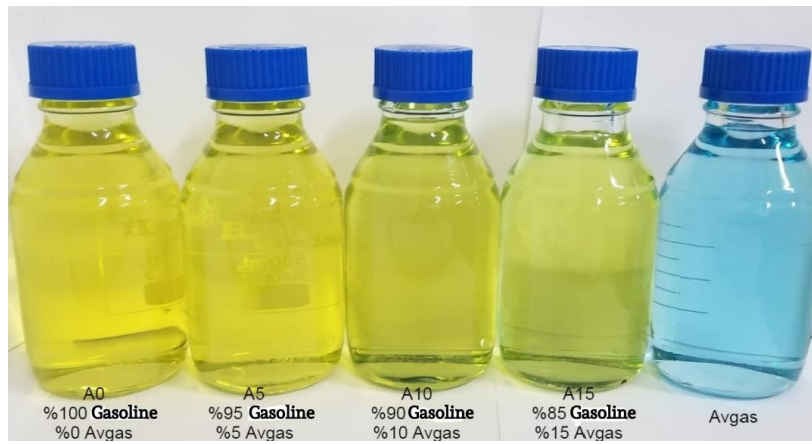


Figure 3. Test fuels

### 2.3. Hydraulic Dynamometer

Connected to the engine, the engine was loaded at desired revolutions. Technical features of hydraulic dynamometer are given in Table 3.

### 2.4. Emission Meter

Emissions resulting from combustion are important operating parameters for the engine. Bosch BEA 350 model emission measuring device was used in the experiments to measure these parameters. Technical specifications are given in Table 4.

### 2.5. Experimental Design

#### 2.5.1. Taguchi Method

Taguchi is an effective statistical method that searches for optimum working conditions with a small number of tests and

reduces time and price through experiments [8]. Taguchi technique; It is a technique that increases quality, speeds up research and development activities and reduces costs [9].

It evaluates the experimental results obtained in Taguchi experimental design by converting them into signal to noise (S / N) ratios. While converting the test results into S / N ratio, according to the target, the Big Value is the Best, the Small Value is the Best, the Nominal Value is the Best. Whichever target is used, the resulting largest S / N ratio is the best result. [10, 11]. S/N rate of;

The biggest is the best; the desired value of the target value is the highest value. Equation 1 gives the formula for the greatest best S / N ratio [12, 13].

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

Table 3. Hydraulic dynamometer specifications

<i>Brake Model</i>	BT-190 FR
<i>Maximum Braking Force</i>	100 kW
<i>Maximum Speed</i>	6000 d/d
<i>Maximum Moment (Torque)</i>	750 Nm
<i>Brake Water Working Pressure</i>	0-2 kg/cm <sup>2</sup>
<i>Water Requirement for Maximum Power</i>	2,3 m <sup>3</sup> /h
<i>Maximum Brake Water Outlet Temperature</i>	80 °C
<i>Torque Measurement</i>	Elektronik Load-Cell
<i>Rotation Direction</i>	Right and Left

Table 4. Emissions meter specifications

Bosch BEA 350	Measuring Range	Precision
CO	0,000 – 10,00 (%)volumetric	% 0,001
CO <sub>2</sub>	0,00 – 18,00 (%)volumetric	% 0,01
HC	0 – 9999 ppm volumetric	1 ppm
NO <sub>x</sub>	0 – 5000 ppm volumetric	1 ppm
O <sub>2</sub>	0,00 – 22,00 (%)volumetric	% 0,01
Lamda (λ)	0,500 – 9,999	0,001
Turbidity Degree	0 – 100 (%)	% 0,1

The smallest the best; the desired value of the target value is the smallest value. Equation 2 gives the formula for the smallest best S / N ratio [12, 13].

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \tag{2}$$

The target value is the best; the target value has the desired value and the goal is to reach this value. Equation 3 is the best S / N ratio formula for the target value [12, 13].

$$S/N = 10 \log \left[ \frac{y^2}{s^2} \right] \tag{3}$$

In the designed experiment, different levels were selected for two factors and L9 (3 ^ 2) experiment design matrix was used. Selected factors and levels are given in table 5 and L9 (3 ^ 2) experiment design matrix is given in table 6.

Table 5. Taguchi method factors and levels

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
A-Engine Speed (Rpm)	1500	2500	3500
B-Avgas (%wt)	5	10	15

Table 6. L9 (3 ^ 2) experiment matrix

Run	Engine Speed (Rpm)-A	Avgas (%wt)-B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Experiment Results

Tests were carried out according to the experimental order in the L9 orthogonal array designed with Taguchi method. Test results are shown in table 7.

Considering the experimental results, the taguchi method was applied. Model reliability of each answer according to Taguchi method is shown in Table 8.

As seen in the table, the taguchi method provides a model reliability of over 98% for all answers. This shows that the experiments and the values to be predicted are reliable.

#### 3.2. ANOVA Analysis

ANOVA analysis is performed to see how factors affect output parameters. Based on the P value generated from this analysis, it can be concluded which control factor affects the output parameter most. Output parameters strongly depend on the control factors with the lowest P value [14]. Anova analysis results of emission parameters are given in Table 10. The ANOVA table divides the variability in responses into separate parts for each of the factors. It then tests the statistical significance of each factor by comparing the mean square with the experimental error estimate. If the p value of a factor is less than 0.05, it is an indicator that it has more effect and importance in the model created [15].

In this case, the engine speed is important in predicting the answers with a confidence degree of 99%. The Avgas factor is important with a 99% confidence level in predicting HC and NO<sub>x</sub> emission responses, and a 95% confidence level in predicting CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> responses.

Table 7. Test results

No.	A Engine Speed	B-Avgas	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO
1	1500	5	0,978	8,03	76	11,26	894
2	1500	10	0,897	7,35	69	12,51	815
3	1500	15	0,786	6,4	64	13,11	758
4	2500	5	1,067	10,12	64	4,62	2545
5	2500	10	1,018	9,67	58	5,32	2413
6	2500	15	0,934	8,76	55	5,92	2214
7	3500	5	0,376	12,95	51	1,02	2998
8	3500	10	0,331	12,58	48	1,17	2776
9	3500	15	0,305	12,08	44	1,21	2581

Table 9. Model reliability of the responses

Response	R <sup>2</sup> (%)	Adj. R <sup>2</sup> (%)
CO	99,86	99,72
CO <sub>2</sub>	98,71	97,42
HC	99,76	99,52
O <sub>2</sub>	99,97	99,93
NO	99,98	99,97

### 3.3. Determination of Optimum Factor Levels

Figure 4 shows the effects of changes in factors affecting responses using the Taguchi method. The largest S / N ratio provides the best levels for parameters.

When Figure 4-a and Figure 4-c are examined, optimum factor levels for CO emission and HC emission were determined as 3500 rpm and 15% Avgas. The optimum factor combination for these answers is 'A3-B3'.

When Figure 4-b and Figure 4-e are examined, optimum factor levels for CO<sub>2</sub> emission and NO<sub>x</sub> emission were determined as 1500 rpm and 15% Avgas. The optimum factor combination for these answers is 'A1-B3'.

When Figure 4-d is examined, optimum factor levels for O<sub>2</sub> emission were determined as 3500 rpm and 5% Avgas, and the optimum factor combination was determined as 'A3-B1'.

### 3.4. Normal Probability Plots

In Figure 5, normal-probability graphs are shown according to the S / N ratios of the answers. Normal probability plot is a graphical technique for evaluating whether a data set is approximately normally distributed [16].

When Figure 5 is examined, we can see that the data set for all answers is reliable. Since the data falls in a straight line, we can assume that we have a normal distribution.

### 3.5. Contour Plots

Contour plot is a graphic technique to represent a 3-dimensional surface by drawing fixed z slices called contours in a 2-dimensional format. After positioning the two factors in the x

and y coordinates, the values given by the response factor in the z coordinate are shown in color in these graphs.

In Figure 6, contour graphs are given according to the engine speed and Avgas ratio of each response. In the graphs min. values (open fields) are requested.

If emission parameters are examined; The CO emission contour graph is given in figure 6-a. The emission value is at its highest within the limits of approximately 1600 rpm and 2700 rpm and did not change much with the engine speed. However, as the Avgas ratio is increased, decreases in emission are observed. While the emission value gradually increases with engine speed until it reaches approximately 1600 rpm, it decreases after approximately 2700 rpm. Increasing the Avgas ratio has shown a continuous decrease in CO emissions.

CO<sub>2</sub> emission contour graph is given in Figure 6-b. Although it increases with the engine speed, the contour lines slope upwards and the emission value decreases as the Avgas ratio increases. The lowest CO<sub>2</sub> emission values were found to be between 12.5% and 15% Avgas. The contour graph of HC emission is given in Figure 6-c. In HC emission, there is a situation similar to the CO<sub>2</sub> emission for the Avgas ratio. However, with the engine speed, HC emission decreased, not increased.

The O<sub>2</sub> emission contour graph is given in Figure 6-d. A decrease in O<sub>2</sub> emission values was observed with the engine speed. However, increasing the Avgas ratio increases the O<sub>2</sub> emission values. NO<sub>x</sub> emission contour graph is given in Figure 6-e. There has been a decrease in NO<sub>x</sub> emission values by increasing the Avgas ratio. It increases with engine speed. However, despite the increase in engine speed after about 2700 rpm, the Avgas ratio was effective in the decrease of emission values.

Table 9. Anova analysis results of emission parameters

	Factors	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
CO	Engine Speed (rpm)	2	162,221	162,221	81,1105	1404,56	0,000
	Avgas (%wt)	2	3,963	3,963	1,9816	34,31	0,003
	Residual Error	4	0,231	0,231	0,0577		
	Total	8	166,415				
CO <sub>2</sub>	Engine Speed (rpm)	2	34,2573	34,2573	17,1287	142,49	0,000
	Avgas (%wt)	2	2,4979	2,4979	1,2490	10,39	0,026
	Residual Error	4	0,4808	0,4808	0,1202		
	Total	8	37,2361				
HC	Engine Speed (rpm)	2	16,3263	16,3263	8,16314	705,59	0,000
	Avgas (%wt)	2	2,7967	2,7967	1,39835	120,87	0,000
	Residual Error	4	0,0463	0,0463	0,01157		
	Total	8	19,1693				
O <sub>2</sub>	Engine Speed (rpm)	2	661,483	661,483	330,741	5858,53	0,000
	Avgas (%wt)	2	4,259	4,259	2,130	37,72	0,003
	Residual Error	4	0,226	0,226	0,056		
	Total	8	665,968				
NO <sub>x</sub>	Engine Speed (rpm)	2	200,122	200,122	100,061	12885,02	0,000
	Avgas (%wt)	2	2,593	2,593	1,297	166,98	0,000
	Residual Error	4	0,031	0,031	0,008		
	Total	8	202,747				

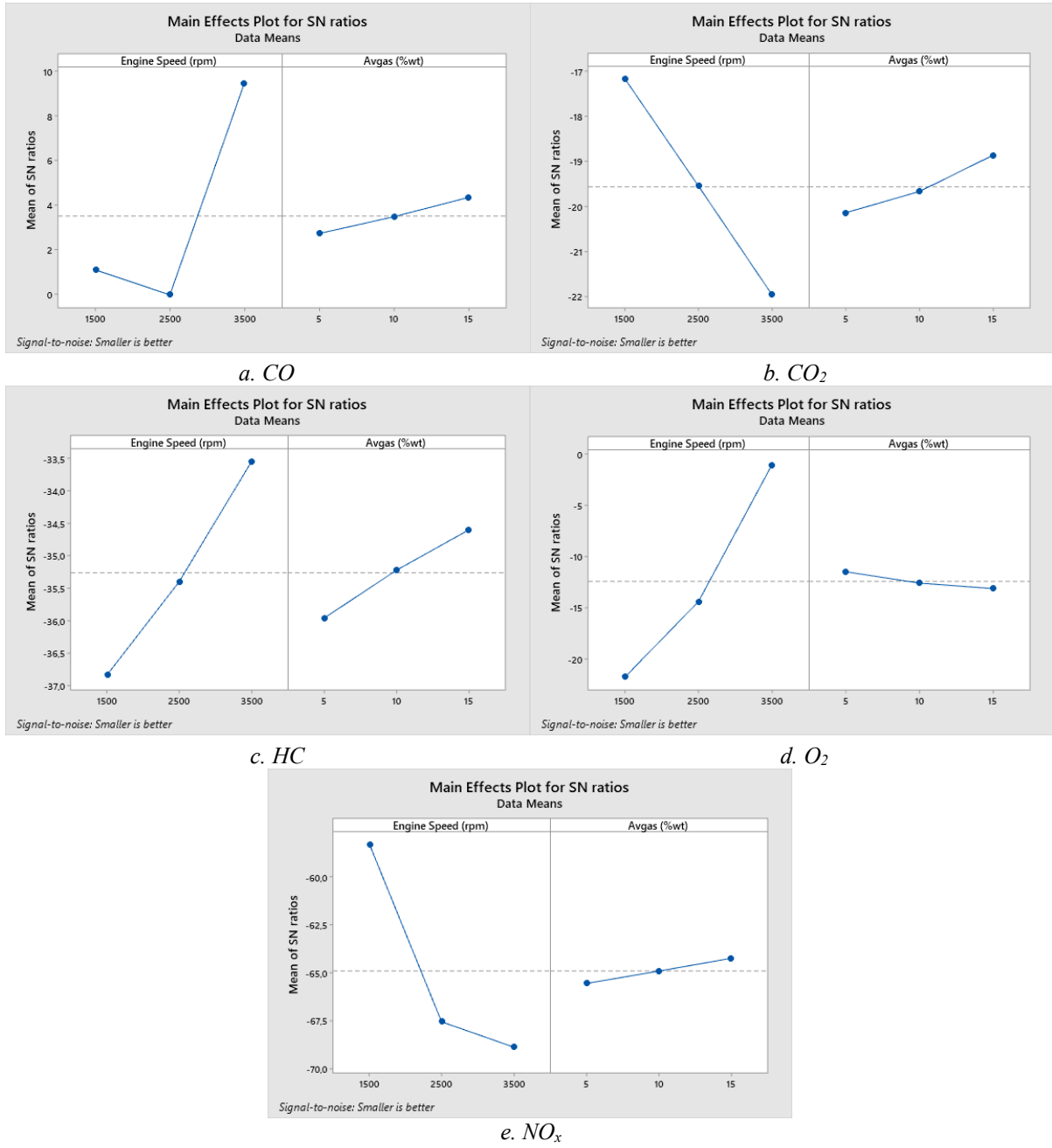


Figure 4. Main effect graphs according to S / N ratios

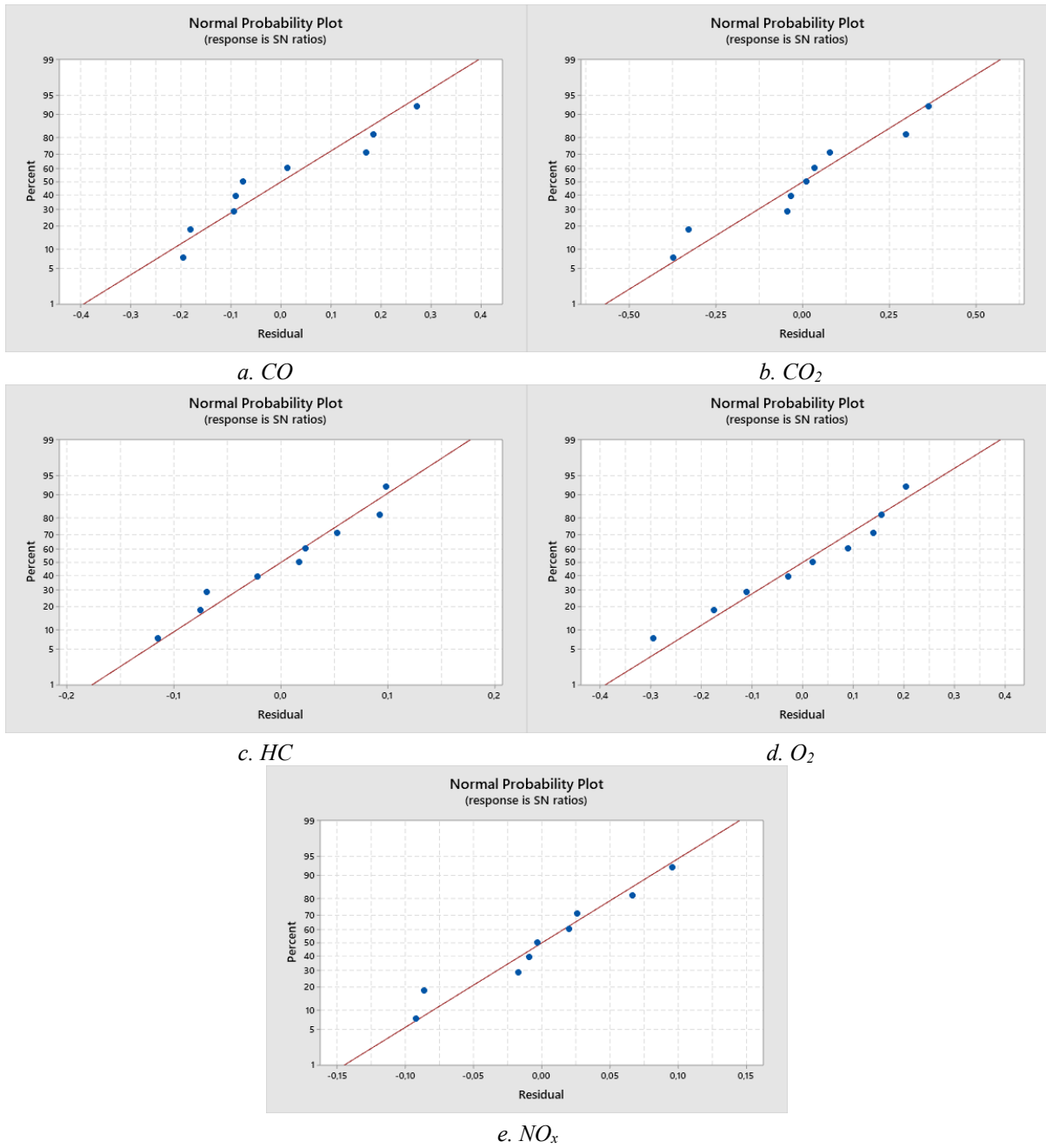


Figure 5. Normal-Probability graphs

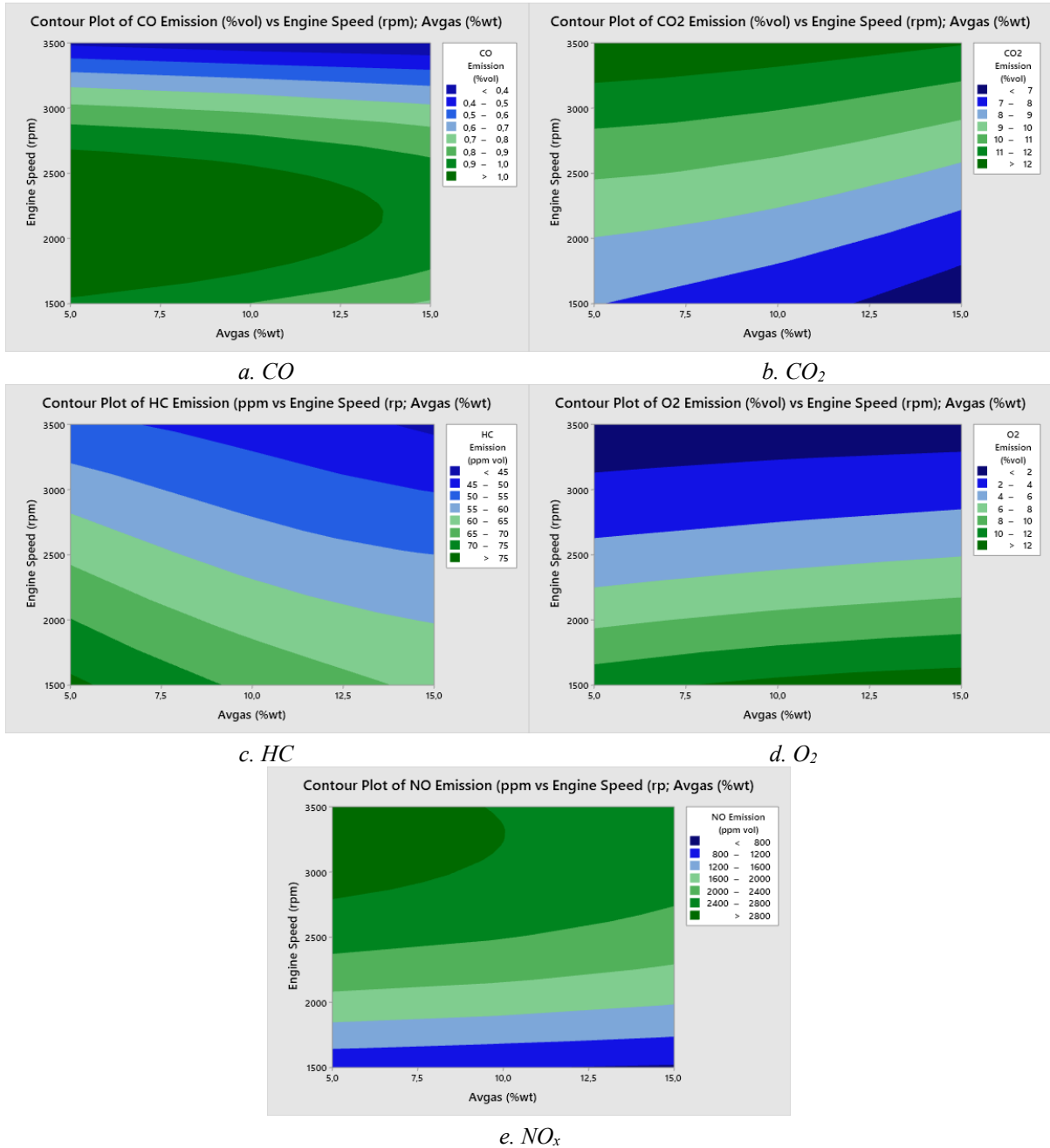


Figure 6. Contour plots

### 3.6. Comparison with Gasoline Reference Fuel

Test results of Avgas blended fuels are compared with the results of the gasoline reference fuel in the graphs below.

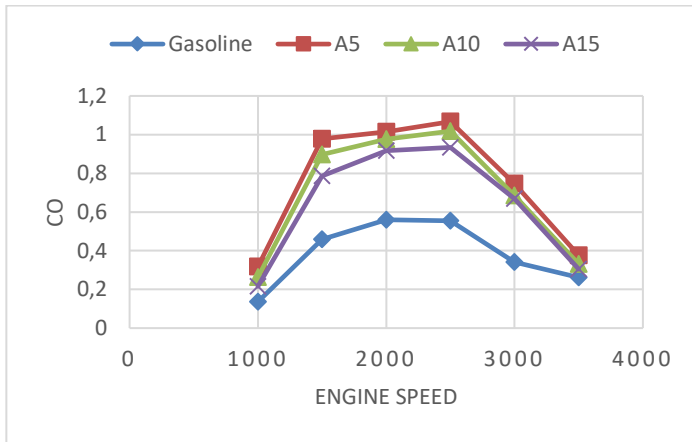


Figure 7. Graph of CO emission test responses

Depending on engine speed ranges; CO emission changes due to gasoline, A5, A10 and A15 fuels are shown in figure 7. The lowest CO emissions were measured as 0.136% at 1000 rpm in gasoline, 0.216% at 1000 rpm in A15 fuel mixture, 0.263% at 1000 rpm in A10 fuel mixture and 0.263% at 1000 rpm in A5 fuel mixture. . The use of Avgas has increased the CO emission values compared to gasoline. However, increasing the amount of Avgas after 10% avgas mixture showed a decrease in CO emission.

CO emission value arises when there is insufficient oxygen or in the absence of complete combustion. However, regional oxygen deficiency may also occur due to the inhomogeneity of fuel mixtures. CO emission is an important parameter as it is an important function of the excess air coefficient and indicates the power that cannot be used in the engine among the combustion products [17].

CO emission values increase due to insufficient amount of air intake at low revs of the engine when the turbocharger is not active. With the activation of the turbocharger after 2500 revs, better combustion occurred in all fuel mixtures and CO emission values decreased.

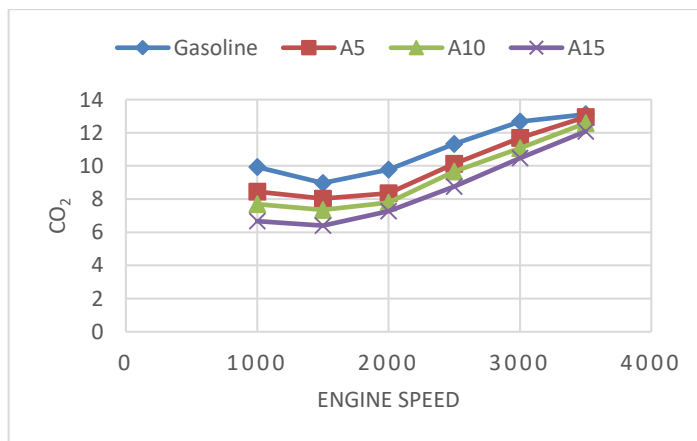


Figure 8. Graph of CO<sub>2</sub> emission test responses

Depending on engine speed ranges; CO<sub>2</sub> emission changes due to gasoline, A5, A10 and A15 fuels are shown in figure 8. The e-ISSN: 2148-2683

lowest CO<sub>2</sub> emission values were measured as 6.4% in A15 fuel mixture, 7.35% in A10 fuel mixture, 8.03% in A5 fuel mixture and 8.97% in gasoline at 1500 rpm. CO<sub>2</sub> emission increases with the engine speed after 1500 rpm. However, the use of Avgas has reduced CO<sub>2</sub> emissions.

Combustion worsens as the load increases at low revs and CO<sub>2</sub> emissions decrease. With the increase of engine speed, the turbocharger is activated and more oxygen is taken inside. Therefore, burning is getting better. As a result, CO<sub>2</sub> emissions are increasing. In the rich fuel mixture, the C atom increases and the fuel cannot find oxygen. Therefore, CO<sub>2</sub> emission is decreasing. It can be said that Avgas reduces CO<sub>2</sub> emission due to the resistance of TEL, which is an additive, against combustion.

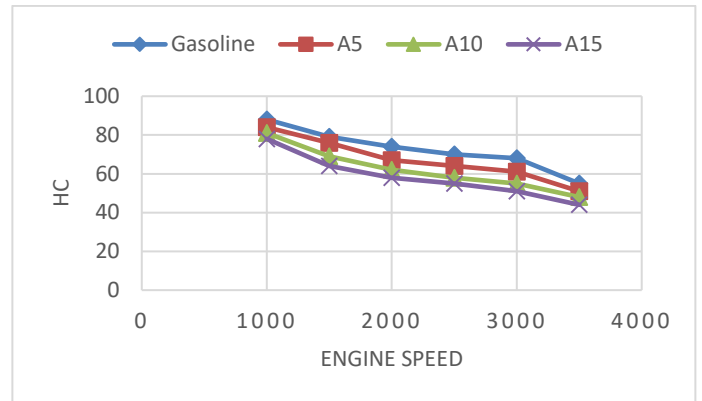


Figure 9. Graph of HC emission test responses

Depending on engine speed ranges; HC emission changes due to gasoline, A5, A10 and A15 fuels are shown in figure 9. The lowest HC emission values were measured at 3500 rpm, 44 ppm in A15 fuel mixture, 48 ppm in A10 fuel mixture, 51 ppm in A5 fuel mixture and 55 ppm in gasoline. HC emission decreases with engine speed. The use of Avgas has also reduced HC emissions.

HC emission consists of unburned fuel particles discharged from the exhaust. The formation of HC emission occurs because the fuel cannot find enough oxygen and time for combustion and cannot reach the ignition temperature [18]. With the increase of engine speed, a better homogeneous mixture occurs in the cylinder. As a result, HC emissions tend to decrease. In addition, as the temperature inside the cylinder increased with the use of Avgas, HC emissions decreased.

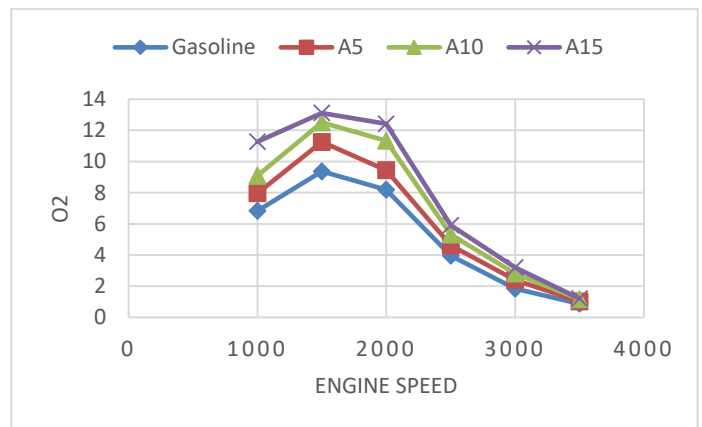


Figure 10. Graph of O<sub>2</sub> emission test responses

Depending on engine speed ranges; O<sub>2</sub> emission changes due to gasoline, A5, A10 and A15 fuels are shown in figure 10. The lowest O<sub>2</sub> emissions were measured as 0.87% in gasoline, 1.02% in A5 fuel, 1.17% in A10 fuel and 1.21% in A15 fuel at 3500 rpm, respectively. It was seen that the highest O<sub>2</sub> emission occurred at 1500 rpm. After this cycle, O<sub>2</sub> emission tended to decrease. The use of Avgas has increased O<sub>2</sub> emissions.

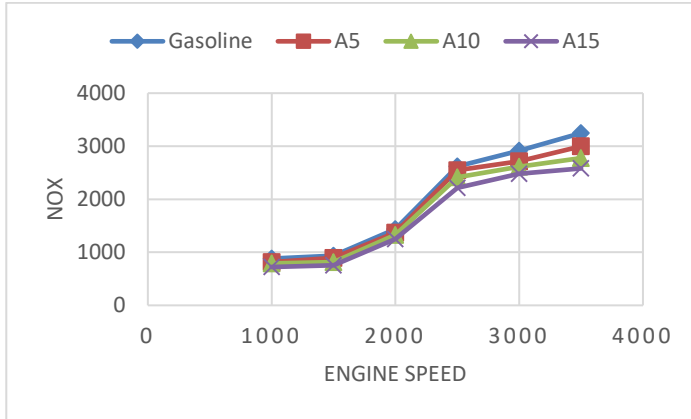


Figure 11. Graph of NO<sub>x</sub> emission test responses

Depending on engine speed ranges; NO<sub>x</sub> emission changes due to gasoline, A5, A10 and A15 fuels are shown in figure 11. The lowest NO<sub>x</sub> emission values were measured at 1000 rpm, respectively 723 ppm in A15 fuel, 791 ppm in A10 fuel, 816 ppm in A5 fuel and 882 ppm in gasoline. An increase in NO<sub>x</sub> emission values was observed with the engine cycle. However, the use of Avgas has reduced the NO<sub>x</sub> emission values in each cycle.

With the increase in load, the average gas temperature in the cylinder increases, which increases NO<sub>x</sub> emission [19]. At the high temperatures reached as a result of combustion, nitrogen reacts with oxygen and NO<sub>x</sub> is formed [20]. However, it can be said that NO<sub>x</sub> emissions are reduced with the resistance to combustion and direct injection technology in fuel mixtures containing Avgas. When compared with the O<sub>2</sub> emission values in the separate figure 16, it is seen that it makes a complete mirroring and these two graphs confirm each other.

## 4. Result

CO<sub>2</sub>, HC and NO<sub>x</sub> emissions decreased as the Avgas ratio was increased in fuel mixes. There was no difference in CO emission at low and high speeds, but an increase was observed in middle cycles. Although there is an increase in O<sub>2</sub> emission compared to gasoline, the difference between values has decreased as the engine speed increases. In experiments supported by the Taguchi method, it has been observed that the use of Avgas in gasoline generally reduces emission parameters. It is thought that Avgas fuel will increase engine performance values due to its high octane rating. For this reason, it is recommended for further studies.

## References

[1] Anonymous, A.,2010, "AVGAS FACTS AND FUTURE", <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/knowledge-centre/technical-talk/techart12-30071515.html>, [Visit Date:01.07.2020].

[2] Berry, M.,2009, "Autogas vs Avgas", [http://www.eaa.org/autofuel/autogas/articles/1Autogas vs Avgas.pdf](http://www.eaa.org/autofuel/autogas/articles/1Autogas%20vs%20Avgas.pdf), [Visit Date: 01.07.2020].

[3] Anonymous, C.,2010, "Shell Spec Sheets", [http://www.epc.shell.com/Docs/GPCDOC Fuels Local TD S Aviation Fuels TDS - Avgas 100 100LL.pdf](http://www.epc.shell.com/Docs/GPCDOC_Fuels_Local_TD_S_Aviation_Fuels_TDS_-_Avgas_100_100LL.pdf), [Visit Date: 01.07.2020].

[4] Kumar T, M. R., Ghafir Mfa, Kumar I, Wash Am.,2018, "Concerns over use of leaded aviation gasoline (AVGAS) fuel.", Chem Eng Trans, <https://doi.org/10.3303/CET1863031>.

[5] M. Thom, D. A.,2011, "Review of Certificates of Analysis and Test Data of Aviation Gasoline for Current Ranges of Lead Additive, Springfield", Virginia 22161.

[6] D. Atwood, M. R.,2014, "Anti-Knock Performance of Reduced Lead Aviation Gasoline in a Full-Scale Engine, Springfield", Virginia 22161.

[7] Anonymous, B.,2020, "TSI", <https://www.volkswagen.co.uk/technology/engines/petrol>, [Visit Date: 01.07.2020].

[8] Kumar Rs, S. K., Velraj R.,2015, "Optimization of biodiesel production from Manilkara zapota (L.) seed oil using Taguchi method", Fuel;140:90–6.

[9] Sağlam, M.,2016, "Taguchi Deneý Tasarım Yöntemi Kullanılarak Sementasyon Çeliđinin Teđetsel Silindirik Taşlama Yöntemi İle İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Araştırılması", Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

[10] Nalbant, M., Gokkaya, H., & Sur, G.,2007, "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning", Materials & Design, 28, 1379-1385.

[11] Sun, G., Fang, J., Tian, X., Li, G. & Li, Q.,2015, "Discrete robust optimization algorithm based on Taguchi method for structural crashworthiness design", Expert Systems with Applications, 42, 4482-4492.

[12] İzziz, S.,1999, "Deneý Tasarımı ve Taguchi Metodu - Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu", Kocaeli.

[13] Şimşek, B.,2014, "Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi İçin Bir Çok Yanıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsis Tabanlı Taguchi Yaklaşımı İle Cevap Yüzey Yöntem", Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.

[14] Kumar, T. B., Et Al.,2020, "Taguchi DoE and ANOVA: A systematic perspective for performance optimization of cross-coupled channel length modulation OTA", AEU-International Journal of Electronics and Communications 116: 153070.

[15] L. V. Candioti, M. M. D. Z., M. S. Camara and H. C. Goicoechea, ,2014, "Experimental design and multiple response optimization. Using the desirability function in analytical methods development", Talanta, vol. 124, pp. 123–138.

[16] Chambers, J., William Cleveland, Beat Kleiner, and Paul Tukey.,1983, "Graphical Methods for Data Analysis", Wadsworth.

[17] Aydoğan, H.,2011, "Biyöetanol-dizel yakıtı karışımlarının (e-dizel) motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



- [18] Liberman, M. A.,2010, "Introduction to physics and chemistry of combustion: explosion, flame, detonation", Springer Science & Business Media, p.
- [19] Xue, J., Grift, T.E. And Hansen, A.C.,2011, "Effect of biodiesel on engine performances and emissions", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15,1098- 116.
- [20] Özsezen, A. N. V. Ç., M.,2009, "Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (2),173-180.



# Otoklavsız Gazbeton Kâgir Blok Elemanlarının Üretiminde Endüstriyel Atık Liflerin Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz

Şeyma Pınar Özcan<sup>1\*</sup>, Lütfullah Gündüz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1395-196X),

[seymapinarozcan@gmail.com](mailto:seymapinarozcan@gmail.com)

<sup>2</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2487-467X),

[lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr](mailto:lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900083)

**ATIF/REFERENCE:** Özcan, Ş.P., Gündüz, L. (2021). Otoklavsız Gazbeton Kâgir Blok Elemanlarının Üretiminde Endüstriyel Atık Liflerin Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz. *European Journal of Science and Technology*, (24), 202-212.

## Öz

Taşıyıcı özellikte olmayan hafif yapı malzemelerinin gelişimde son yıllarda giderek önem kazanan ve yaygınlaştığı görülen ürün türleri arasında otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanlarının varlığı dikkat çekmektedir. Gerek birim ağırlıklarının düşük oluşu, gözenekli yapısı, uygulama kolaylığı ve gerekse yalıtım özellikleri gibi teknik avantajları sebebiyle özellikle taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde giderek tercih edildiği de görülebilmektedir. Otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanları birçok farklı malzeme kullanımları ile yapılabilmekte olup, özellikle bileşiminde farklı uzunluk ve orijinlerde lif katkı malzemelerinin matris donatı materyali olarak kullanımı endüstriyel atıkların geri kazanımı açısından ayrı bir önem kazanmaktadır.

Bu bildiri, endüstriyel atık lif kategorisinde değerlendirilebilen 3 farklı lif türünün matris yapıdaki donatı etkisi üzerine sürdürülmekte olan deneysel bir ArGe çalışmasının ön bulguları teknik olarak tartışılmaktadır. Bu araştırma çalışması lif katkılarının kullanıldığı otoklavsız ön küremeli, geliştirilerek elde edilen kâgir blok elemanlarının üretimine yöneliktir. Bu lif türlerinden ikisi, kot kumaşının geri dönüşümünde kot elyaf açma işleminden geçirilerek elde edilmiş lif malzemeleridir. Bu çalışmada Lif 1 ve Lif 2 olarak kodlanmıştır. Lif 1 olarak kodlanmış elyaf türü, 90/10 pamuk/sentetik oranına sahiptir. Maksimum lif boyutu 3 mm'dir. Lif 2 olarak kodlanmış elyaf türünde ise 70/30 pamuk/sentetik oranına sahiptir. Ayrıca bu lif malzemenin maksimum lif boyutu ise 2 mm'dir. Lif 3 olarak kodlanmış lif, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş ve ortalama lif uzunluğu ~200µm olan orta büyüklükte, % 100 doğal, yüksek oranda saf selüloz beyaz renkli bir elyafıdır.

Bu çalışmada, özellikle endüstriyel lif atıklarının farklı kullanım oranlarında hazırlanan harç örneklerinde, lif kullanımının etkileri ve lif uygunluğu incelenmektedir. Elde edilen bulgulara dayanılarak, karışımlarda kullanılan malzeme tür ve miktarlarının otoklavsız gazbeton blok elemanı örneklerinin teknik özelliklerine olan etkileri detaylı analiz edilmektedir. Yeni nesil yapı elemanı örneklerinin birim ağırlık, basınç dayanımı, kütlece su emme, gözeneklilik ve ısıl konfor özellikleri gibi fiziksel ve mekanik özellikleri bu bildiri endüstriyel yaklaşımlarıyla tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel Atık Lif, Donatı, Otoklavsız Gazbeton, Kâgir Blok, Genleşme.

## A Technical Analysis on the Use of Industrial Waste Fibers in the Production of Non-Autoclaved Aerated Concrete Masonry Block Elements

### Abstract

The presence of non-autoclaved aerated concrete masonry block elements in recent years is among the product derivatives that have become increasingly important and widespread in the development of lightweight construction materials. It can be seen that it is increasingly preferred especially in non-load bearing building units due to its low unit weights, porous structure and ease of application and technical advantages such as insulation properties. Non-autoclaved aerated concrete masonry block elements can be

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

made with the use of many different materials, especially the use of fiber additives of different lengths and origins as matrix reinforcement materials gains a special importance in terms of recovery of industrial wastes.

In this paper, preliminary findings of an ongoing experimental research and development study on the reinforcement effect in matrix structure of 3 different fiber types that can be considered in the industrial waste fiber category are technically discussed. This research study focuses on the production of non- autoclaved pre-cured, expanded masonry block elements using fiber additives. Two of these fiber types are fiber materials obtained from the recycling of denim fabric by opening denim fiber. In this study, these fibers are coded as Fiber 1 and Fiber 2. The fiber type, coded as fiber 1, has a cotton/synthetic ratio of 90/10. Its maximum fiber length is 3 mm. In the fiber type coded as fiber 2, it has a ratio of 70/30 cotton/ synthetic. In addition, the maximum fiber length of this fiber material is 2 mm. The fiber, coded as Fiber 3, is a medium-sized, 100% natural, highly pure cellulose white fiber with an average fiber length of ~200µm, obtained from recycling industrial paper waste.

In this study, the effects of different fiber usage rates and fiber suitability are examined on non-autoclaved aerated concrete masonry mortar samples prepared with industrial different fiber wastes. Based on the findings, the effects of the types and amounts of materials used in the mixtures on the technical properties of non-autoclaved aerated concrete block element samples are analyzed in detail. The physical and mechanical properties of the new generation building element samples such as unit weight, compressive strength, water absorption by mass, porosity and thermal comfort properties are discussed in this paper with industrial approaches.

**Keywords:** Industrial Waste Fiber, Reinforcement, Non-Autoclaved Aerated Concrete, Masonry Block, Expansion.

## 1. Giriş

Günümüz inşaat endüstrisinin en önemli hususlarının başında binalarda enerji verimliliği ve ısısal konfor açısından yalıtım performansı gelmektedir. Buldukları iklim bölgelerine göre binalarda ısısal konforun sağlanması amacıyla bina projelendirmelerinde yapı malzemeleri ile ilgili uyulması gereken yönetmelik ve standartlar söz konusudur. Projelerde yalıtım performansı binanın tasarımı ile doğrudan ilgili olduğu kadar, binanın yapımında kullanılan yapı malzemelerinin türleri, ısısal özellikleriyle de kaçınılmaz doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda, bir dizi teknik incelemelerin yapılması öngörülen mukavemet değerlerini sağlamak koşuluyla genellikle yapı elemanlarının yalıtım performansının iyileştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Günümüze değin yapıya gelen ağırlıklı teknik incelemelerde, bir binanın yalıtım performansının, dış bölme duvarları oluşturan yapı malzeme türleri ve duvar kesit bileşenlerinin değerleri ile doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, duvarlarda ısı yalıtımı amacıyla da sıkça tercih edilen hafif yapı elemanı kâgir bloklar, özellikle son yaşanan doğal afetler dolayısıyla bina ölü yük dengesinin oluşturulmasında önemli bir unsur olarak kabul görmektedir. Kentsel binaların artık daha yüksek inşa edilmesinden bina ölü yüklerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. (Chen vd. 2017).

Bu kâgir blok elemanları hafif agrega türlerinin kullanımıyla üretilebildiği gibi, çeşitli genişletici ajanların kullanımıyla da gözenek oluşturulmasına bağlı gazbeton blok üretimlerine olanak sağladığı bilinen bir gerçektir. Ancak, günümüzde kâgir elemanların üretimlerinde giderek önemsenen bir husus ise minimum enerji tüketimi ile bu ürünlerin gerçekleştirilmesidir. Genleştirici ajan kullanımıyla üretimleri sürdürülmekte olan çoğu yapı elemanlarının üretiminde otoklav kürlenmesi uygulanmakta olup, bu da üretimde yüksek enerji sarfiyatını gündeme getirmektedir. Bu olguyu minimize etmek amacıyla otoklav kullanmaksızın benzer teknik performansları sağlayabilen yapı malzeme ürünlerinin minimum enerji tüketimiyle üretilebilirliğinin geliştirilmesi günümüz ekonomisi açısından da son derece önemlidir. Bu üretimlerde, otoklavsız gazbeton harcının genişleme sürecinde matris yapısının desteklenmesi amacıyla alternatif lif materyallerinin kullanımı ve uygunluğunun belirlenmesi de ayrıca üzerinde araştırma gerektiren bir durumdur. Günümüzde, bu uygulamaların mevcutlarına göre yeni nesil olarak da nitelendirilebilecek yenilikçi versiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Son zamanlarda, inşaat endüstrisinde, enerji ve hammadde tüketimini azaltmayı ve inşaatın kalitesini ve güvenilirliğini artırmayı amaçlayan bir dizi yeni düzenleyici faaliyetler önem kazanmaktadır. Otoklavlanmamış gazbetonun yaygın kullanımı, birçok ülkede dış bina zarflarının termal özelliklerini artırmanın yollarından biri olarak kabul görmektedir. Otoklavlanmayan gazbeton alanındaki araştırma ve uygulamaların amacı, ürün maliyetini düşürürken ürün kalitesini de iyileştirmektir. Genel olarak yapı malzemeleri teknolojisi ve özellikle gazbeton teknolojisi için endüstriyel atığın kullanılması, temel malzeme özelliklerinin iyileştirilmesine, teknik ve ekonomik performansın artırılmasına olanak tanıdığından; aynı zamanda endüstriyel atıkların geri dönüşümü nedeniyle çevre ekolojisini de iyileştirecektir (Sanytsky, 2010).

Hafif beton, büyük ilgi uyandıran çok yönlü bir malzeme olarak kabul edilir ve son yıllarda yüksek yapılar ve köprüler gibi çok çeşitli inşaat projelerinde büyük endüstriyel talep görmektedir. Geleneksel normal agregalı betondan daha hafiftir (El Zareef, 2010; Babu, 2008). Gazbeton, çeşitli avantajları olan hafif bir beton türüdür. Hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma sahip, ısı ve ses yalıtım değerleri yüksek, kolay çivilenebilme ve kolay kesilebilme gibi işlenebilme özellikleri olan, ateşe karşı daha dayanıklı bir yapı malzemesidir (Spratt, 1975). Çimento ve kireç, silis kumu ve bazen puzolanik malzemelerden oluşan harç matrisine hava boşluklarının hapsedildiği gazbeton, yoğunluğu sebebiyle hafif beton olarak sınıflandırılır. Gözenek oluşturma yöntemine göre üç gruba ayrılır: hava sürüklenme yöntemi (gazbeton), köpürtme yöntemi (köpüklü beton) ve kombine yöntem. Gazbeton, kürlenme yöntemine göre otoklavlanmamış veya otoklavlanmış olabilir. Basınç dayanımı, kuruma büzülmesi, su emme özellikleri vb. doğrudan kürlenme yöntemine ve süresine bağlıdır. Yeterince sertleştikten sonra beton köpüğü kalıbından çıkarılır, gerekli boyutta bloklar veya levhalar halinde dilimlenir (Tanacan vd., 2009).

Gazbeton harcı karışımlarında farklı orijinlerde lif katkıları donatı materyali olarak kullanılabilir. Bu lifler, doğal orijinli olabildikleri gibi yapay orijinli malzemeler de olabilmektedir. Lif kullanımının gazbetonun teknik özelliklerini iyileştirici etkileri çoğu araştırmacılar tarafından uzun dönemlerdir rapor edilmektedir (Mobasher ve Li, 1996; Perez-Pena ve Mobasher, 1994; Bonakdar vd., 2013; Rasheed ve Prakash, 2017; Vijayalakshmi ve Ramanagopal, 2020a; Vijayalakshmi ve Ramanagopal, 2020b; Rasheed ve Prakash, 2015; Sukmana vd., 2019). Ancak bu liflerin orijinleri ve malzeme yapıları gereği, otoklavlama işlemi yapılması

durumunda maruz kaldıkları yüksek sıcaklık ve basınçla bozunuma uğrayarak, lif katkısından beklenen teknik performans sağlanamayabilmektedir. Özellikle sentetik kökenli liflerin yüksek sıcaklığa dayanıklı olmayışı, ayrıca doğal liflerin yüksek sıcaklık yanı sıra yüksek basınç ortamında hızla deformasyona uğrayabilmesi, normal koşullarda otoklavlı gazbeton üretimlerinde uygun görülmemektedir. Bu bağlamda, otoklav kullanımının lif katkılarının yapısal özelliklerinin bozunumu üzerindeki bu gibi olumsuz etkilerini de gidermek amacıyla otoklavsız gazbeton üretimlerinde lif katkılarının daha efektif kullanımlarını mümkün kılmaktadır. Örneğin polimerik lifler de otoklavsız gazbeton üretimlerinde kullanılabilir. Polimerik liflerin otoklavsız gazbeton üretiminde kullanımında otoklavlama işleminde yer alan yüksek sıcaklık ve basınç işlevinin ortadan kaldırılması, lif formlarının olası bozunumlarını engelleyebilmektedir. Ayrıca, otoklavlanmış gazbetona kıyasla daha düşük mukavemet değerleri ve daha yüksek homojenlik oluşturulabilir. Bununla birlikte, kısa lifler, plastik aşamada veya daha sonra mekanik kuvvetler, kuruma büzülmesi veya ısıtma-soğutma döngüleri nedeniyle oluşan çatlakların köprülenmesinde olumlu bir etkiye sahip olabilmektedir. Farklı araştırmacılar farklı zamanlarda yapmış oldukları çalışmalarda normal harç karışımlarına kısa polipropilen liflerinin eklenmesinin mekanik özellikleri büyük ölçüde iyileştirebileceğini, kısa liflerin ilave edilmesinin plastik fazda veya daha sonra kururken elastik fazda büzülme çatlaklarının azaldığını da rapor etmişlerdir (Bakhshi ve Mobasher, 2011; Ronald ve Carol, 1998).

Bu bildiriye, endüstriyel lif atıklarının matris yapıda donatı katkısı olarak kullanıldığı otoklavsız ön küremeli, geliştirilerek elde edilen kâgir blok elemanlarının üretimine yönelik sürdürülmekte olan deneysel bir ArGe çalışmasının ön bulguları teknik olarak özetle tartışılmaktadır. Bu çalışmada, özellikle endüstriyel lif atıklarının farklı kullanım oranlarında hazırlanan harç örneklerinde 3 farklı lifin kullanım için uygunluğu incelenmekte olup, elde edilen bulgulara dayanılarak, karışımlarda kullanılan malzeme tür ve miktarlarının otoklavsız gazbeton blok elemanı örneklerinin teknik özelliklerine olan etkileri detaylı analiz edilmektedir. Yeni nesil yapı elemanı örneklerinin birim ağırlık, dayanım, kütlece su emme, görünür gözeneklilik ve ısıl konfor özellikleri gibi fiziksel ve mekanik özellikleri bu bildiriye endüstriyel yaklaşımlarıyla tartışılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında, otoklavlanmamış gazbeton blokların üretiminde kullanılan malzemeler aşağıda özetle tanımlanmıştır:

#### 2.1.1. Çimento

Otoklavlanmamış gazbeton numuneleri hazırlanırken, bağlayıcı işlevinin gerçekleştirilmesi amacıyla EN 197-1 CEM 1 42.5R (42.5 N/mm<sup>2</sup>) standardına uygun Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento malzemesi piyasadan temin edilerek kullanılmıştır.

#### 2.1.2. Kum

Test numunelerinin hazırlanmasında 500 µm elek altı boyutlandırılmış standart kum, tüm karışımlarda ana agrega malzeme olarak kullanılmıştır.

### 2.1.3. Sönmemiş Kireç (CaO)

Çalışma kapsamında, hazırlanan karışımların kimyasal reaksiyonu için ihtiyaç duyulması sebebiyle 250 mikron boyut altına sınıflandırılmış sönmemiş kireç kullanılmıştır. Kireç taşının pişirilmesi (kalsinasyonu) ile sönmemiş kireç oluşur (CaO). Sönmemiş kirecin bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilmesi için suyla birleştirilerek hidrate edilmesi gerekmektedir. Söndürme işlemi sırasında sönmemiş kireç suyla ekzotermik reaksiyona girer. Yarım kilo sönmemiş kireç, 0°C'deki 1 litre suyun sıcaklığını 100°C'ye çıkaracak büyüklükte bir reaksiyon ısısı vermektedir. Isı ile birlikte hacmi 2,5 kat kadar artış gösterebilir. Sönmemiş kireç kullanımı, test örneklerinin kimyasal reaksiyonu sürecinde sönme işlevini gerçekleştiren kirecin açığa çıkardığı ısı sayesinde karışımda yer alan alüminyum tozları ile reaksiyona girerek, hidrojen açığa çıkmasına ve gaz boşluklarının oluşmasına neden olmaktadır.

### 2.1.4. Hava Sürükleyici Ajan (Alüminyum Tozu)

Otoklavlanmamış gazbeton numunelerinin üretiminde %99.9 saflık derecesinde nano boyutta alüminyum tozu geliştirici ana ajan materyali olarak ticari piyasadan tedarik edilerek kullanılmıştır. Örneklerin hidratasyonunda kimyasal reaksiyonu ile hidrojen gazı açığa çıkarak kabarcıkların oluşması ve matris yapının gözenekli bir form kazanmasını sağlamaktadır.

### 2.1.5. Kimyasal Katkılar

Test örneklerinin daha hızlı priz almasını sağlamak ve daha gözenekli bir matris formu oluşturmak amacıyla karışımlarda doğal sodyum sülfat ve kalsiyum klorür katkı maddeleri kullanılmıştır. Doğal sodyum sülfat, toz formunda kullanılmıştır. Doğal sodyum sülfat, nötr bir tuz olup, kimyasal yöntemlerle üretilen ve yan ürün niteliğindeki sülfata kıyasla arsenik, kurşun, çinko, krom gibi ağır metaller ve hiçbir toksik minerali içermemektedir. Beyaz renkte, kristal yapıda ve serttir. Su ile kolaylıkla çözünmektedir. Priz süresini kısaltmak amacıyla harç karışımlarına bir diğer kimyasal katkı olarak kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) ilave edilmiştir. Bu katkı, kalsiyum ve klorun tuz formunda olup, oda sıcaklığında beyaz ve katıdır. Suyla çözünerek bulunduğu ortamı ısıtılabilir özelliğine sahiptir.

### 2.1.6. Lifler

Çalışma kapsamında üç farklı özellikte doğal içerikli endüstriyel atık lif türü ticari piyasadan temin edilerek ve boyut ayarlaması yapılarak kullanılmıştır. Bu liflerden iki türü, kot kumaşının geri dönüşümünde kot elyaf açma işleminden geçirilerek elde edilmiş elyaf malzemesinden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında "Lif 1" türü olarak kodlanmış elyaf türü 90/10 pamuk/sentetik oranına sahip olup, maksimum lif boyutu 3 mm'dir (Şekil 1). "Lif 2" türü olarak kodlanmış elyaf türünde ise pamuk oranı 1. lif türüne göre daha düşük olup, 70/30 pamuk/sentetik oranına sahiptir. Ayrıca bu lif malzemenin maksimum lif boyutu ise daha kısa olup 2 mm'dir (Şekil 2). Bu her iki kot kumaşının geri dönüşümünden elde edilmiş lif türleri doğal kumaş elyafları arasında değerlendirilebilecek özellikler taşımaktadır. Geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edildikleri için çevre dostu malzemeler olarak da tanımlanabilir. Diğer lif türü ise "Lif 3" olarak kodlanmış olup, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş ve ortalama lif uzunluğu ~200µm olan orta büyüklükte, % 100 doğal, yüksek oranda saf selüloz beyaz renkli bir elyaftır (Şekil 3). Lif türlerinin her biri kompozit yapıda oluşturulan farklı harç kompozisyonlarında gerek doğal donatı amaçlı gerekse harcın

işlenebilirliğinin artırılması, priz alma süreçlerinde olası büzülme ve çatlama olgularının minimize edilmesi için tercihen de kullanılan lif türlerdir.

### 2.1.7. Su

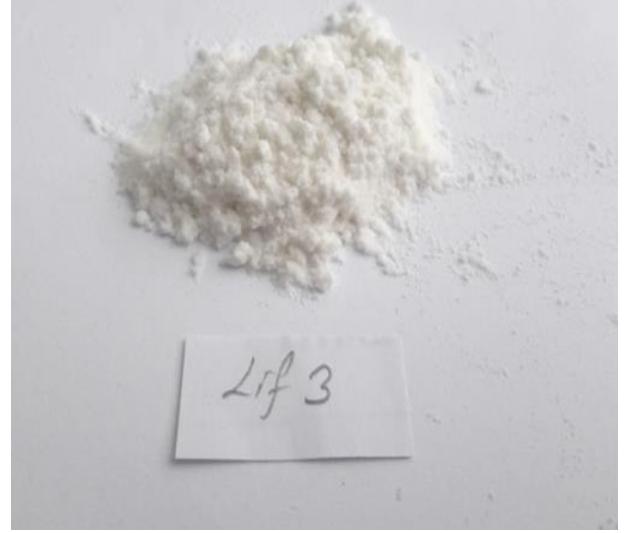
Tüm test örneklerinin hazırlanmasında karma suyu olarak çeşme suyu kullanılmış olup, elektrikli bir ısıtıcı yardımıyla 80°C'ye kadar ısıtılmış ve kimyasal reaksiyonun kısa sürede gerçekleşmesinin sağlanması amacıyla bu sıcaklık değerini koruyarak karışımlara dâhil edilmiştir.



Şekil 1. Lif 1 malzemenin genel görünümü.



Şekil 2. Lif 2 malzemenin genel görünümü.



Şekil 3. Lif 3 malzemenin genel görünümü.

## 2.1. Karışım Tasarımı ve Testler

Bu deneysel incelemede, endüstriyel atık liflerin kullanımıyla üretilen otoklavlanmamış gazbeton numuneler üzerindeki etkisini incelemek üzere farklı karışım oranları tasarlanmıştır. Ayrıca atık lif kullanımından kaynaklanabilecek etkileri daha reel bir şekilde irdeleyebilmek amacıyla, ayrı bir karışım formu olarak da kontrol karışımları tasarlanmıştır. Harç kombinasyonlarının tasarımı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'den de görüleceği gibi MK1 ve MK2 kodlu karışımlar, otoklavlanmamış gazbeton numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırabilmek amacıyla, endüstriyel atık lifler kullanılmadan formülize edilmiştir. MK1 karışım kombinasyonunda atık lif kullanımının kullanılmamasının yanı sıra ayrıca karışım bileşiminde sodyum sülfat kullanımı da yoktur. MK1 hariç diğer tüm karışım kombinasyonlarında sodyum sülfat katkı oranı ağırlıkça %2 oranında sabit olarak uygulanmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında MU1 ve MU2 kodlu karışımlarda Lif 1, Mİ1 ve Mİ2 kodlu karışımlarda Lif 2 türü ve MB1 ve MB2 kodlu karışımlarda ise Lif 3 türü kullanılmıştır. MU1, Mİ1 ve MB1 karışımlarında lif kullanım oranları ağırlıkça %1,25 ve MU2, Mİ2 ve MB2 karışımlarında ise lif kullanım oranları ağırlıkça %1,50 olarak uygulanmıştır. Böylece inceleme sürecinde her bir lif türü için 2 ayrı kullanım oranının etkilerinin karşılaştırılabilmesi hedeflenmiştir. Lif kullanımı olan tüm karışımlarda lif miktarı, karışımdaki ana agrega bileşeni kum ile ağırlıkça yer değiştirmeli olarak tasarlanmıştır. Bununla birlikte, kontrol örnekleri de dahil olmak üzere tüm karışımlarında çimento oranı ağırlıkça %34, CaO oranı ağırlıkça %9, alüminyum tozu oranı ağırlıkça %0,1 ve CaCl<sub>2</sub> oranı da ağırlıkça %1 oranlarında sabit değerler olarak uygulanmıştır. Karışımların kıvam ve form açısından daha sağlıklı karşılaştırılabilmesini sağlamak amacıyla tüm karışımların Su/Katı oranı da 0,65 olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 1. Test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça).

Numune	Çimento (%)	Lif (%)	Kum (%)	CaO (%)	Al (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	CaCl <sub>2</sub> (%)	Su/Katı
MK1	34	0	55,90	9	0,10	0	1	0,65
MK2	34	0	53,90	9	0,10	2	1	0,65
MU1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
MU2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65
Mİ1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
Mİ2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65
MB1	34	1,25	52,65	9	0,10	2	1	0,65
MB2	34	1,50	52,40	9	0,10	2	1	0,65

Tüm harç kombinasyonlarının karıştırma işleminde önce ana karışım bileşenleri olarak kum, çimento, CaO ve lif malzemeler öncelikli olarak karıştırılmış ve daha sonra kimyasal katkı olarak Al, sodyum sülfat ve CaCl<sub>2</sub>, karma suyu ilavesiyle eş zamanlı olarak karışıma dâhil edilmiştir. Karma suyu olarak kullanılan suyun sıcaklığı tüm karışımlarda 80°C olarak sabit tutulmuş olup, karışıma su ilavesiyle birlikte 3 dakika süreyle karıştırma işlemi yapılmış, oluşan yaş harç formu hazırlanmış olan test örnek kalıplarına zaman gecikmesi olmaksızın dökümü sağlanmıştır. Kalıplanan yaş harçlar, sonrasında sıcaklığı önceden 60°C olarak ayarlanmış bir etüv ortamında minimum 6 saat süreyle ön kürlenme işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında ise etüvden alınan örnekler 24 saat boyunca kapalı ve sıcaklığı minimum +18°C olacak bir ortamda kürlenme işlemine devam edilerek kalıplardan çıkartılmış ve normal oda koşullarında nihai kürlenmeye bırakılmıştır. Tüm örneklerin kürlenmesinde herhangi bir otoklav kürlenme işlemi yapılmamıştır.

Endüstriyel atık liflerin kullanımıyla üretilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok örneklerini temsil edebilmesi amacıyla, deneysel çalışmada 100x100x120 mm boyutlu dikdörtgen şekilli numunelerden her bir karışım için en az 15 adet numune dökümü yapılmıştır. Ayrıca 3 adet de levha şekilli örnek dökümleri de gerçekleştirilmiştir. Kalıplardan çıkartılan test örneklerinin 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde özellikle kuruma ve sertleşme durumları gözlenmiş, bu sürelerde birim ağırlıklarındaki değişimler düzenli olarak tartılarak kaydedilmiştir. 28 gün kür sonrası her bir karışım kombinasyonunun birim hacim kütle, basınç dayanımı, su emme, gözeneklilik oranı ve ısıl iletkenlik değerleri analiz edilmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 standardına uygun olarak tespit edilmiş olup, diğer fiziksel ve mekanik analizler TS EN 771-4 standardı ve ilgili standartların öngördüğü prensiplere göre uyarlanarak analiz edilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında hazırlanan örnekler üzerinde yapılan test ve değerlendirmelerde elde edilen fiziksel ve mekanik özellikler, ortalama değerler olarak Çizelge 2’de özetlenmiştir.

#### 3.1. Mikroskobik Yapısal Analiz

Mikroskobik analiz, malzemelerin veya ürünlerin mikro yapısını anlamak ve görsel olarak irdelemek için uygulanabilen

bir yöntemdir. Mikroskobik analizlerden elde edilen veriler, yürütülmekte olan bir araştırma ve/veya ürün geliştirme programlarının daha da geliştirilebilmesi, matris yapıda etkin olan görsel parametrelerin tanımlanması vb. hususlar için önemlidir. Mikroskobik yapısal inceleme, özellikle matris yapının irdelenebilmesi, oluşan gözeneklilik durumu, karışım bileşenlerinde yer alan agrega veya donatı materyallerinin fiziksel şekilleri, matriste oluşturdukları formlar vb. gibi hususların incelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında hidrate olmuş ve sertleşmiş otoklavsız tüm gazbeton test örneklerinin mikroskobik analizleri yapılmış ve genel bulgular bazı karışım kombinasyonları için Şekil 4-Şekil 7’de sembolik olarak verilmiştir.



Şekil 4. MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 5. MU2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 7. MB2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 6. Mİ2 örneğine ait genel yapısal görünümü.

Çizelge 2. Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler.

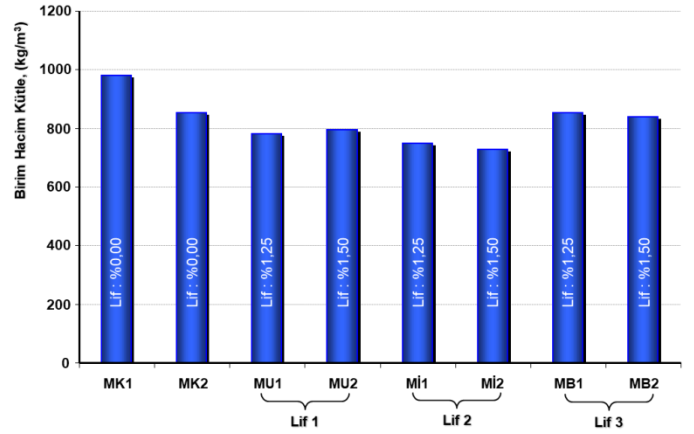
Numune	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kütlece Su Emme (%)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Görünür Gözeneklilik (%)	Isıl İletkenlik (W/mK)
MK1	979	41,90	1,46	49,12	0,288
MK2	854	44,55	0,76	45,94	0,241
MU1	781	47,82	1,70	46,61	0,205
MU2	793	49,85	1,88	50,51	0,218
Mİ1	749	45,80	1,28	44,60	0,214
Mİ2	725	48,87	1,12	46,86	0,196
MB1	852	44,85	1,44	47,97	0,234
MB2	839	45,97	1,18	47,33	0,235

Şekil 4 - Şekil 7'den görüleceği üzere, endüstriyel atık lif katkılarının matris yapıda saçınımlı olarak düzenli ve/veya düzensiz dağılımlar sergileyebildiği görülmekle birlikte, karışım kombinasyonlarında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonrası farklı gözeneklilik oranlarında boşluklu matris yapılarının oluştuğu görülmektedir. Özellikle, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş doğal ve yüksek oranda saf selüloz içeren lif katkılı karışım kombinasyonlarına ait matris yapılar, kot kumaşının geri dönüşümünde kot elyaf açma işleminden geçirilerek elde edilen lif türlerinin kullanıldığı matris yapılar göre daha düzensiz boşluklu harç matrislerinin oluştuğu gözlenmiştir. Bunun da daha zayıf dayanımlı matris yapıları oluşturduğu ve harcın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek bir durum olarak değerlendirilebilir.

### 3.2. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık değeri otoklavsız gazbeton kâğır blok elemanlarının irdelenmesinde önemli bir özelliktir. Özellikle, kâğır elemanın uygulama yerine uygunluğu açısından basınç dayanımının ve ayrıca ısı iletkenlik performansının analizinde önem kazanmaktadır. Düşük birim hacim kütle değerine sahip kâğır blok elemanlarının genellikle basınç dayanım değerleri de düşük değerlerde olabilmekte ve bu tür kâğır elemanların taşıyıcı olmayan yapılarda kullanımları uygun olabilmektedir. Bununla birlikte birim hacim ağırlık değeri düşük olan kâğır blok elemanları ile örülen duvarların binaya olan ölü yük değerleri de düşük düzeylerde olup, özellikle binanın depremsellik açısından daha efektif duraylılığını da gündeme getirmektedir. Çalışma kapsamında özellikle herhangi bir lif ve sodyum sülfat katkısının kullanılmadığı kontrol örneğinin ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri  $979 \text{ kg/m}^3$  iken, lif ilave edilmeksizin %2'lik sodyum sülfat katkısı ile hazırlanan örneklerin ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri %12,7'lik hafifleme ile  $854 \text{ kg/m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Lif katkılarının kullanıldığı örneklerin ortalama kuru birim hacim ağırlık değerleri  $725 \text{ kg/m}^3$  ile  $852 \text{ kg/m}^3$  aralığında değişim gösterdiği görülmüştür. Tüm örneklerin kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim grafiksel olarak Şekil 8'de görülmektedir.

Bu analizden görüleceği üzere, lif katkılı örneklerin hazırlanmasında ana agrega bileşenleri, bağlayıcı ve kimyasal katkı oranları ve su/katı oranları eşdeğer özellikte olmasının yanı sıra, kullanılan lifin türü ve kullanım oranına bağlı olmak koşuluyla sertleşmiş blok örneği formlarının birim hacim ağırlık değerlerinin değişkenlik göstermesine sebep olmuştur. Lif 1 (90/10 pamuk/sentetik) türünün aynı karışım bileşenine sahip kontrol örneğine göre birim hacim ağırlığında düşme gözlenmiş olup, %1,25 lif oranında %8,6 ve %1,5 lif oranında ise %7,1'lik bir hafifleme olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Lif 2 (70/30 pamuk/sentetik) türü için %1,25 lif oranında %12,3 ve %1,5 lif kullanım oranında ise %15,1'lik bir hafifleme olduğu tespit edilmiştir. Bu analizler göstermiştir ki, lif kullanım oranları aynı olmasına rağmen lif bileşiminin etkin olduğu ve özellikle lif bileşiminde pamuk oranının artmasına bağlı harcın daha fazla sıkışarak düşük oranda genişlemesine sebep olduğu görülmektedir. Ayrıca, Lif 3 türü doğal selüloz orijinli lif için ise kontrol örneğine göre bu değişim, %1,25 lif oranında %0,3 ve %1,5 lif oranında ise %1,8'lik değişim oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu tür lifin kâğır blok örneğinin kuru birim hacim ağırlık değişimine ihmal edilebilecek düzeyde bir etki ettiği görülmüştür.



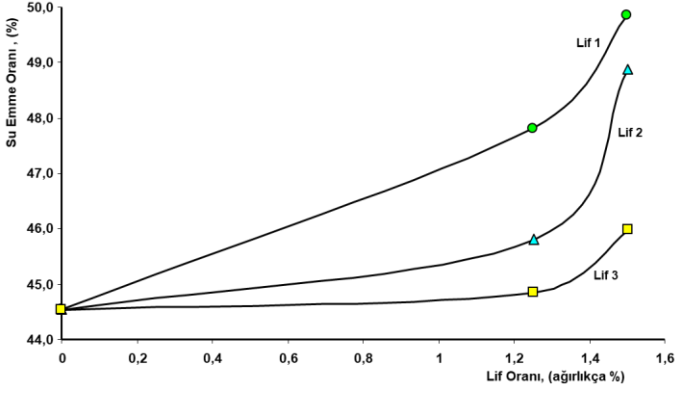
Şekil 8. Otoklavsız test örneklerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri değişimi.

### 3.3. Kütlece Su Emme

Uygulama sonrası iç ve/veya dış yüzeyleri sıvasız olarak kullanılması düşünülen ya da yüksek oranda suya maruz kalabilecek ortamlarda kâğır bloklarla örülen duvarların kütlece su emme özellikleri, yapı elemanın nem barındırma ve buna bağlı olarak gelişebilecek bazı olumsuzlukların irdelenmesi açısından önem arz etmektedir. Örneğin, yüksek su emme değerine sahip olan yapı elemanlarının bünyelerinde tuttuğu nem ölçütüne göre ısı performanslarında önemli düşmeler söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte neme bağlı olarak yük taşıma kapasitesi özelliklerinde de zayıflamalar söz konusu olabilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan farklı lif türlerinin otoklavsız gazbeton kâğır blok elemanı test örneklerine olan etkileri incelenmiş olup, kütlece su emme değerleri Çizelge 2 ve grafiksel olarak da Şekil 9'da verilmiştir. Bu analizden görüleceği üzere, çalışma kapsamında herhangi bir lif ve sodyum sülfat katkısının kullanılmadığı kontrol örneğinin ortalama kütlece su emme değeri %41,90 iken, lif ilave edilmeksizin %2'lik sodyum sülfat katkısı ile hazırlanan örneklerin ortalama kütlece su emme değeri %6,3'lük bir artışla %44,55 olduğu belirlenmiştir. Bu su emme değerindeki artışın %2'lik sodyum sülfat katkısı sebebiyle daha gözenekli bir matris yapı oluşmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında lif katkılı örneklerin kütlece su emme değerlerinin ortalama %44,85 - %49,85 aralığında değişim sergilediği belirlenmiştir. Bu analizlerde birim hacim ağırlık değişiminde gözlemlenen olguya benzer şekilde Lif 1 türünde pamuk oranının Lif 2'ye göre 20 birim daha fazla olması, örneklerin kütlece su emme özelliğinin daha yüksek değerlere ulaşmasına sebep olduğu gözlenmiştir. Lif 1 türünün aynı karışım bileşenine sahip kontrol örneğine göre kütlece su emme özelliğinde artış olduğu gözlenmiş olup, %1,25 lif oranında %7,35 ve %1,5 lif oranında ise %11,9'luk bir su emme artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Bu değer artışıdaki diğer bir etken faktörün, lifin ortalama uzunluğu ile doğrudan ilgili olduğu da tecrübe edinilmiştir. Malzeme karakteristiği açısından su tutma eğilimi yüksek liflerin aynı zamanda daha uzun boylarda kullanımı, harç matrisinin daha yüksek su tutma kapasitesi oluşturmasına ve dolayısıyla su emme değerinin yükselmesine sebep olabilmektedir.



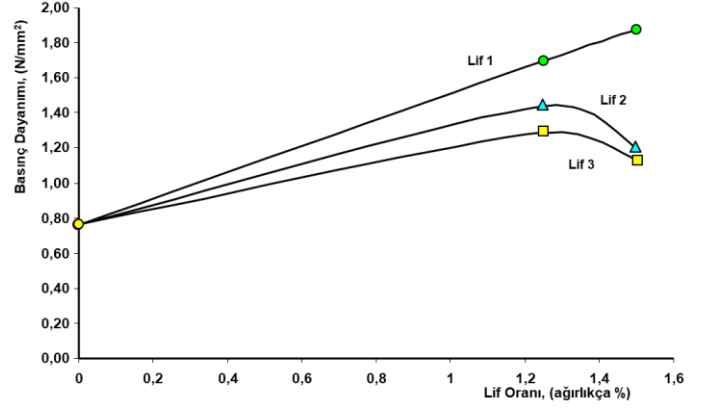


Şekil 9. Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi.

Benzer şekilde Lif 2 (70/30 pamuk/sentetik) türü için %1,25 lif oranında %2,8 ve %1,5 lif oranında ise %9,7'lik bir su emme özelliğinde artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Buradan görüleceği gibi, endüstriyel atık lif bileşiminde sentetik oranı arttıkça, lif kullanım oranına da bağlı olmak koşuluyla su emme değerlerinde bir düşüş söz konusu olmuştur. Bu bağlamda, düşük su emme değeri arzu edilen örneklerin elde edilmesinde, sentetik oranı yüksek ve daha kısa lif boyutuna sahip lif kullanımının önemli olduğu görülmektedir. Doğal selüloz orijinli ve sentetik madde içermeyen Lif 3 türü ile yapılan örneklerde ise kontrol örneğine göre %1,25 lif oranında %0,7 ve %1,5 lif oranında ise %3,2'lik bir su emme oranlarında artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, doğal selüloz içerikli endüstriyel lif atıklarının boyutunun küçük olması ve bileşimine de bağlı olarak pamuk/sentetik bileşimli liflere göre daha düşük su emme olgulu örneklerin elde edilmesine olanak sağladığı görülmektedir. Ayrıca genel bir olgu olarak, matris yapıda yer alan pamuk bileşimli ve/veya doğal selüloz orijinli lif kullanımlarında, lif boyu arttıkça matris yapıda daha yüksek oranda su tutan birimlerin oluşmasına sebep olduğu tecrübe edinilmiştir.

### 3.4. Basınç Dayanımı

Basınç dayanım özelliği, kâgir blok elemanlarının uygulama yerinde ne büyüklükte bir taşıma yükü sağlayabileceğinin ölçütü olması bakımından önemli bir mekanik parametredir. Genel bir olgu olarak, çoğu inceleme çalışmalarında bir harcın mekanik dayanımının artırılması amacıyla bünyesine yerleştirilen donatı bileşenlerinin önemli bir etkisi olduğu tecrübe edinilmiştir. Bu bağlamda, harcın mekanik dayanım değerinin artırılması için ne oranda, hangi boyutlarda ve hangi orijinlerde donatı olarak da değerlendirilebilecek materyallerin karışım bünyesine ilave edilmesi gerektiği detay bir inceleme gerektiren husustur. Bu çalışma kapsamında 3 ayrı lif türünün 2 farklı kullanım oranında uygulanmasıyla elde edilen otoklavsız gazbeton örneklerinin 28 günlük kür sonrası mekanik dayanım değerlerine olan etkileri kontrol numuneleri ile kıyaslamalı olarak irdelenmiştir. Genel bulgular ortalama değerler olarak Çizelge 2 ve grafiksel olarak da Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi.

Bu analizden görüleceği üzere, çalışma kapsamında herhangi bir lif ve sodyum sülfat katkısının kullanılmadığı kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası basınç dayanım değeri 1,46 N/mm<sup>2</sup> iken, lif ilave edilmeksizin sadece %2'lik sodyum sülfat katkısı ile hazırlanan örneklerin ortalama basınç dayanım değeri %47,8'lik bir düşüşle 0,76 N/mm<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Bu basınç dayanım değerindeki önemli düşüşün %2'lik sodyum sülfat katkısı sebebiyle daha gözenekli bir matris ve daha zayıf bir bağ dokusu oluşmasının sonucu olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında lif katkılı örneklerin basınç dayanım değerlerinin ortalama 1,12 N/mm<sup>2</sup> - 1,88 N/mm<sup>2</sup> aralığında değişim sergilediği belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan her üç lif türünden kontrol örneğinin basınç dayanım değerine göre beklenildiği gibi önemli ölçütlerde iyileştirme olguları gösterdiği tespit edilmiş olup, lif bileşimi ve kullanım oranının harç matrisinde oluşturduğu donatı ve kompaktlık özelliği sayesinde tüm lif kullanımlarında dayanım artışlarına sebep olduğu görülmüştür. Özellikle Lif 1 türünün kullanımında aynı karışım bileşimine sahip kontrol örneğine göre basınç dayanım değerinde %1,25 lif oranında 2,23 kat ve %1,5 lif oranında ise 2,47 kat dayanım iyileşmesi tespit edilmiştir. Ayrıca, bu lif türü için elde edilen örneklerde lif kullanım oranındaki %0,25'lik bir artışın dayanımda %10,5'lük bir iyileşmeye neden olduğu görülmektedir. Bu lif türünde 90/10 pamuk/sentetik oranında yüksek pamuk bileşimli ve 3 mm'lik lif boyutu ile örneklerin matris yapısında daha yüksek sarmal bir lif olgusu ve daha kompakt form oluşturduğu gözlenmiş olup, bu durumun dayanım değerlerinde daha rasyonel bir iyileşmeye neden olduğu tecrübe edinilmiştir. Diğer taraftan Lif 2 türünde ise, 70/30 oranlı daha düşük oranda pamuk bileşene sahip ve 2 mm'lik lif boyutları ile daha kısa formdaki lif varlığında, kontrol örneğine göre basınç dayanım değerinde %1,25 lif oranında 1,68 kat ve %1,5 lif oranında ise 1,48 kat dayanım iyileşmesi tespit edilmiştir. Bu iyileşme miktarları, daha düşük oranda pamuk ve görece kısa lif varlığının doğal bir sonucu olarak tecrübe edinilmiştir. Ancak, bu lif türü için örneklerin hazırlanmasında %0,25'lik bir lif kullanım oranı (%1,25'den %1,50'ye çıkartılması) artışının dayanımda %12,3'lük bir düşmeye neden olduğu görülmüştür. Görece daha kısa boyutlu lif kullanım oranı, yüksek miktarlarda kullanımlarda yeterli düzeyde dayanım açısından donatı görevi oluşturamadığı gözlenmiştir. Bu bağlamda, lif kullanımı için optimum değerlerin tespiti daha önemli olmaktadır. Bu optimum değerlerin Lif 2 türü için bu çalışma kapsamında uygulanan karışım kombinasyonunda ağırlıkça %1,33'lük bir kullanım oranına denk geldiği istatistiksel

analizden elde edilmiştir. Doğal orijinli selüloz lif (Lif 3) kullanımıyla elde edilen örneklerin kontrol örneğine göre basınç dayanım değerlerinde ise %1,25 lif oranında 1,89 kat ve %1,5 lif oranında ise 1,55 kat dayanım iyileşmesi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu lif türü için örneklerin bileşiminde yer alan %0,25'lik bir lif kullanım artışının dayanımda %17,8'lik bir zayıflamaya neden olduğu görülmüştür. Lif 2 türünde olduğuna benzer şekilde, görece daha kısa boyutlu lif kullanım oranının artması, nihai basınç dayanımlarında da bir düşüşe sebep olduğu tecrübe edilmiştir. Genel bir olgu olarak, lif katkılı tüm örneklerin dayanım değerlerinin eşdeğer karışimli kontrol örneklerinin değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen bu bulgular bağlamında, normal harçlarda tecrübe edinilen hususlara kıyasla, genişleme yoluyla elde edilmiş ve otoklavlanmamış hafif beton kâgir birimlerde, kısa boyutlu lif kullanımlarının beklenildiği düzeyde basınç dayanım artışlarına yeterli cevap veremediği gözlenmiştir. Ancak, karışım bileşenlerine yeni ilave edilebilecek farklı tür katkılar ile matris yapının kuvvetlendirilmesiyle bu olgu beklenen düzeylere ulaştırılabilir. Bu çalışmada lif katkılı örnekler için elde edilen basınç dayanım değerlerinin, taşıyıcı olmayan özelliklerde ve dolgu/yalıtım amaçlı kâgir birimlerin üretilmesine imkân tanıyabilecek özellikler taşıdığı görülmektedir.

### 3.5. Görünür Gözeneklilik

Gözeneklilik, gözenek boşluğunun hacmi ile numunenin toplam hacmi arasındaki yüzde ilişkisi olarak tanımlanabilmektedir. Gözeneklilik, sertleşmiş harç formundaki yapı elemanlarının birim ağırlık değerleri, ısı performans etkilerinin incelenmesi ve dayanım değerlerinin analizi gibi hususlarda önem arz eden parametreler arasında yer almaktadır. Genellikle yüksek gözenekliliğe sahip malzeme yapılarında özellikle kapalı gözenek olgularının yüksek olması, bünyelerinde hapsolmuş durağan hava varlığının bir ölçütünü temsil etmekte ve ısı performans değerlerinin göreceli olarak yüksek ve birim ağırlıklarının da düşük olmasına olanak sağlamaktadır. Görünür gözeneklilik, bir numunedeki yığın dokusunun numunenin yığın hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, numunelerin görünen gözeneklilik oranı, birim hacim ağırlık ve su emme değerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanarak belirlenmiştir. Görünür gözeneklilik aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$P_1 = \frac{W_f \cdot \rho_t}{\rho_w} \quad (1)$$

Burada;

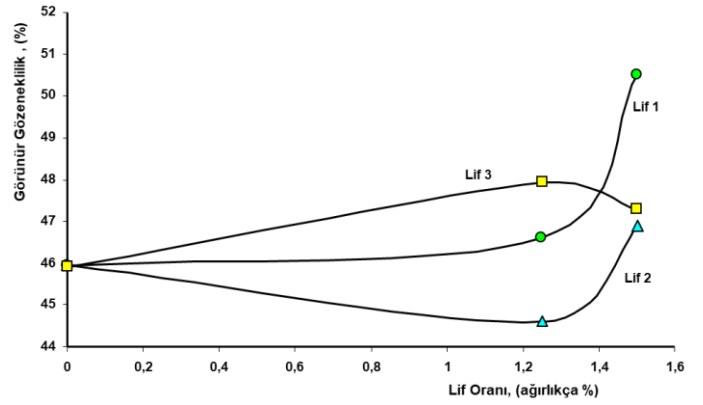
$P_1$  : Görünür gözeneklilik (%),

$W_f$  : Kütlece Su Emme (%),

$\rho_t$  : Kuru birim hacim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ ),

$\rho_w$  : Suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

Bu çalışma kapsamında 3 ayrı lif türünün 2 farklı kullanım oranında uygulanmasıyla elde edilen otoklavsız gazbeton örneklerinin 28 günlük kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerlerine olan etkileri kontrol numuneleri ile karşılaştırılarak irdelenmiştir. Genel bulgular ortalama değerler olarak Çizelge 2 ve grafiksel olarak da Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi.

Lif ve sodyum sülfat katkısı kullanılmadan elde edilen kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası ortalama görünür gözeneklilik oran değeri %49,12 iken, lif ilave edilmeksizin yalnızca %2'lik sodyum sülfat katkısı ile hazırlanan örneklerin ortalama görünür gözeneklilik değeri %6,5'lik bir düşüşle %45,94 olduğu belirlenmiştir.

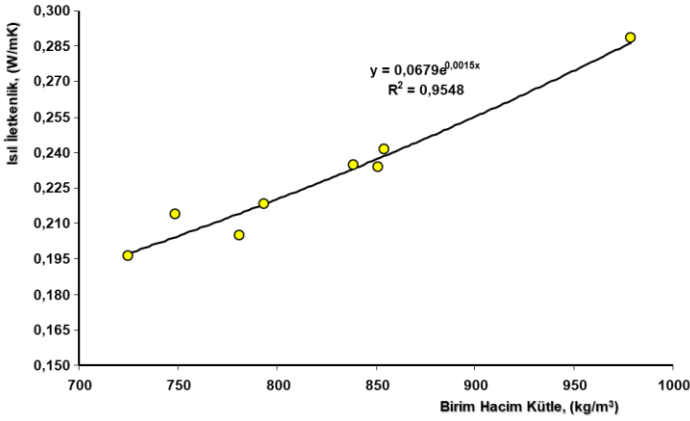
Lif 1 türünün kullanımında eşdeğer bileşime sahip kontrol örneğine göre görünür gözeneklilik değerinde %1,25 lif oranında %1,46'lık ve %1,5 lif oranında ise %9,96'lık bir artış olduğu tespit edilmiştir. Lif kullanım oranındaki artış, sertleşmiş kâgir örneğinin matris yapısında daha yüksek bir gözenekliliğin oluşmasına neden olmuştur. Bu olgu, lif bileşimindeki pamuk oranının yüksekliğine bağlı olarak liflerin matriste daha saçınımlı bir formda yer alması ve lif boyunun da görece uzun olması sebebiyle daha fazla boşluk oluşumlarının meydana gelmesini mümkün kılmaktadır. Diğer taraftan, Lif 1'e göre daha kısa boyutta ve daha az oranda pamuk ihtiva eden Lif 2 türü için irdelendiğinde, kontrol örneğine göre görünür gözeneklilik değerinin %1,25 lif oranında %2,92'lik bir düşüş, ancak %1,5 lif oranında ise %2,02'lik bir artış sergilediği tespit edilmiştir. Burada, lif oranlarındaki kullanıma bağlı düşme veya artışın lif boyutu ile doğru orantılı olarak gelişim gösterdiği tecrübe edinilmiştir. Diğer bir değişle, lif boyutlarının kısaltması, matris yapıda karıştırma, kalıba yerleştirme ve özellikle de genişleme özelliği ile elde edilen gazbeton türü matris yapılarında düzensiz formda dağılımlara ve dolayısıyla daha farklı olgularda gözenek oluşumlarına neden olabilmektedir. Benzer bir durum, bu çalışmada Lif 3 türü için de gözlenmiştir. Lif 3 türü kullanımında, kontrol örneğine göre görünür gözeneklilik değerinde %1,25 lif oranında %4,44 ve %1,5 lif oranında ise %3,04'lük bir artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.6. Isıl İletkenlik Özelliği

Gözenekli matris yapılarına sahip kâgir elemanların en önemli özelliklerinden biri de gözenekliliğinin bir fonksiyonu olarak düşük yoğunluk değerlerinde sağladıkları ısı yalıtım performans özelliğidir. Malzemelerin ısı iletkenlik değeri ( $\lambda$ ) genellikle birim ağırlığın bir fonksiyonu olarak değişir. Genel olarak, birim hacim ağırlığı arttıkça termal iletkenlik değerinin artma eğiliminde olması beklenir. Bu ayrıca malzemenin ısısal konfor özelliğinin düştüğü ve daha zayıf bir performans değeri sergilediği anlamını da taşıyabilir. Bu sebeple, düşük ısı iletkenlik değerine sahip kâgir elemanların, kullanıldıkları yapı

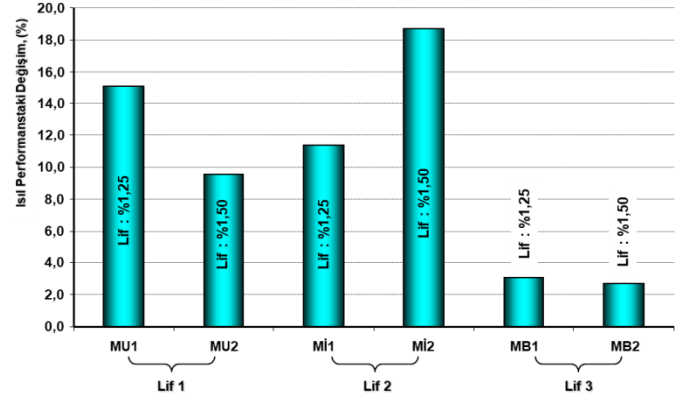
kesitlerinin daha yüksek enerji verimli yapıların oluşmasına sebep olabilmektedir. Sertleştirilmiş otoklavsız tüm gazbeton örneklerinin 28 günlük kür süresinden sonra ısı iletkenlik değerleri belirlenmiş olup, genel bulgular ortalama değerler olarak Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca, test örneklerinin birim hacim ağırlık değişimlerine bağlı ısı iletkenlik değerleri arasındaki ilişki ise grafiksel olarak da Şekil 12’de analiz edilmiştir.

Şekil 12 irdelendiğinde görüldüğü üzere, gazbeton örneklerin beklenildiği gibi birim hacim ağırlık değerleri ile ısı iletkenlik değerleri arasında lineer kabul edilebilecek istatistiksel bir ilişki söz konusudur. Birim hacim ağırlık değerlerinin azalmasına paralel olarak, ısı iletkenlik değerlerinde de düşme ve dolayısıyla daha enerji verimli bir form kazandıkları görülmektedir. Lif ve sodyum sülfat katkısı kullanılmadan elde edilen kontrol örneğinin 28 gün kür sonrası ortalama ısı iletkenlik değeri 0,288 W/mK iken, lif ilave edilmeksizin yalnızca %2’lik sodyum sülfat katkısı ile hazırlanan örneklerin ortalama ısı iletkenlik değeri ise 0,241 W/mK olduğu belirlenmiştir.



Şekil 12. Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri ilişkisi.

Lif 1 türünün kullanımında aynı karışım bileşenine sahip kontrol örneğine göre ısı iletkenlik değerinde %1,25 lif oranında %15’lik ve %1,5 lif oranında ise %9,5’lik bir düşme olduğu tespit edilmiştir. Bu lif türü kullanımında artan lif oranının, ısısal performans değerinin zayıflamasına sebep olduğu tecrübe edinilmiştir. Diğer taraftan, Lif 2 türünün kullanımında ise bu olgunun tersine bir durum gözlenmiş olup, aynı karışım bileşenine sahip kontrol örneğine göre ısı iletkenlik değerinde %1,25 lif oranında %11,3’lük ve %1,5 lif oranında ise %18,7’lik bir düşme olduğu tespit edilmiştir. Bu lif türünde artan lif oranının, ısısal performans değerinin iyileşmesine sebep olduğu görülmektedir. Lif 1 türüne benzer şekilde Lif 3 türü ile yapılan otoklavsız gazbeton örneklerinin aynı karışım bileşenine sahip kontrol örneğine göre ısı iletkenlik değerinde %1,25 lif oranında %3’lük ve %1,5 lif oranında ise %2,7’lik bir marjinal bir düşme oranı sergilediği tespit edilmiştir. Tüm bu değerlendirmeler grafiksel bir gösterimle Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Lif türleri – ısısal performans değişim analizi.

Bu grafiksel gösterim irdelendiğinde görüleceği üzere, binalarda enerji verimliliğine katma değer sağlayacak otoklavsız gazbeton ürünlerinin elde edilmesinde endüstriyel lif atıkları kullanımı söz konusu olduğu durumda, bu çalışmada edinilen tecrübe bağlamında öncelik sırasıyla Lif 2, Lif 1 ve Lif 3 türlerinin kullanımlarının irdelenebileceği görülmüştür.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, özellikle taşıyıcı özellikte olmayan kâgir duvar elemanı kullanımlarında otoklavsız gazbeton üretimlerinde endüstriyel lif atıklarından 3 farklı tür malzemenin kullanım durumu ve kâgir elemanın teknik özelliklerine olan etkileri üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgular bağlamında, genel olarak kot kumaşının geri dönüşümünde kot elyaf açma işleminden geçirilerek elde edilmiş elyaf malzemesinden oluşan liflerin, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş doğal ve yüksek oranda saf selüloz içeren liflere göre daha rasyonel sonuçlar oluşturduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kot kumaşının geri dönüşümünden elde edilen lif türlerinde pamuk/sentetik oranının ve ayrıca lif uzunluğunun önemli bir etken parametre olduğu tespit edilmiş olup, mukavemet, gözeneklilik ve enerji verimlilik özelliklerinde iyileştirmelerin arzu edildiği durumlarda kot kumaşı lif türevlerinin bileşiminde pamuk oranının daha yüksek olması gerektiği tecrübe edinilmiştir. Ancak, lif bileşiminde yüksek pamuk oranı varlığı ve uzun lif boyunun, örneklerin su emme kabiliyetlerini artırdığı sonucuna varılmıştır. Düşük yoğunluk değerli örneklerin elde edilmesinde kot kumaşının geri dönüşümünden elde edilmiş liflerin, endüstriyel kâğıt atıklarının geri dönüşümünden elde edilmiş doğal ve yüksek oranda saf selüloz içeren liflere göre teknik kullanılabilirlik kriterlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen test örneklerinin birim hacim kütle, basınç dayanım ve gözeneklilik vb. gibi teknik değerleri, karışımda yer alan agrega - katkı malzeme türleri ve kullanım oranlarının değişimi ve/veya ilave alternatif malzemelerin kullanımları ile yapılabilecek yeni araştırma çalışmalarında daha ergonomik sonuçlar sağlanabilir. Diğer bir deyişle, bu çalışmada elde edilen bulgulara kıyasla birim hacim ağırlık değerleri daha düşük, bunun yanı sıra gözeneklilik, ısısal performans ve basınç dayanım değerleri daha yüksek bulgular da elde edilebilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın her aşamasında laboratuvar imkânlarından yararlanma fırsatı sunan İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği Bölümüne şükranlarımı sunarım.

## Kaynakça

- Babu, D.S. (2008). *Mechanical and deformational properties, and shrinkage cracking behavior of lightweight concretes*. PhD thesis. national university of Singapore.
- Bakhshi, M., Mobasher, B. (2011). Experimental observations of early-age drying of Portland cement paste under low-pressure conditions. *Cement and Concrete Composites*, 33(4), 474–484. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.01.009
- Bonakdar, A., Babbitt, F., Mobasher, B. (2013). Physical and mechanical characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC), *Cement & Concrete Composites*, 38, 82–91. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.006
- Chen, Y-L., Chang, J-E., Lai, Y-C. and Chou, M-I. M. (2017). A comprehensive study on the production of autoclaved aerated concrete: Effects of silica-lime-cement composition and autoclaving conditions. *Construction and Building Materials*, 153, 622-629. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.116
- El Zareef, M.A. (2010). *Conceptual and structural design of buildings made of lightweight and infra lightweight concrete*. PhD thesis. Deutschen national bibliothek.
- Mobasher, B., Li, C.Y. (1996). Mechanical properties of hybrid cement-based composites. *Materials Journal*, 93(3), 284–292.
- Perez-Pena, M., Mobasher, B. (1994). Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete composites. *Cement and Concrete Research*, 24(6), 1121–1132. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(94)90036-1)
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S. (2017). Behavior of Hybrid-Synthetic Fiber Reinforced Cellular Lightweight Concrete under Uni-axial Tension - Experimental and Analytical 20 Studies. *Construction and Building Materials*, 162, 857-870. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.095
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S. (2015). Mechanical Behavior Of Sustainable Hybrid-Synthetic Fiber Reinforced Cellular Light Weight Concrete For Structural Applications Of Masonry. *Construction and Building Materials*, 98, 631–640. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.137
- Ronald, F., Carol, D.H. (1998). Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete. *Materials Journal*, 95(5), 631–635.
- Sanytsky M.A., (2010), Modified composite cements: A tutorial/ M.A. Sanytsky, H.S. Sobol, T.E. Markiv. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 132 p.
- Spratt, B.H. (1975). *An introduction to lightweight concrete* (5. bs.):Cement and Concrete Association.
- Sukmana, N.C., Khifdillah, M.I., Nurkholil, A.S., Anggarini, U. (2019). Optimization Of Non-Autoclaved Aerated Concrete Using Phosphogypsum Of Industrial Waste Based On The Taguchi Method. *13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 509, 012095. doi:https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012095
- Tanacan L., Ersoy H., Arpacıoğlu U. (2009). Effect of high temperature and cooling conditions on aerated concrete proerties. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1240-1248. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.007
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S. (2020a). Compression behaviour of polypropylene fibre reinforced cellular light weight concrete masonry prism. *Civil And Environmental Engineering Reports*, 30(1), 145-160. doi:http://dx.doi.org/10.2478/ceer-2020-0011
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S. (2020b). Experimental investigation into banana fibre reinforced lightweight concrete masonry prism sandwiched with GFRP sheet. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 30(2), 15-31. doi:http://dx.doi.org/10.2478/ceer-2020-0017



# Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle Emme Manifoldunun Tasarımı

Cihangir Kaplan<sup>1\*</sup>, Hasan Aydoğan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kentpar Otomotiv, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6972-7959), kaplancihangir@gmail.com

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1404-6352), haydogan@selcuk.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Kaplan, C. & Aydoğan, H. (2021). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle Emme Manifoldunun Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), Xx-XX.

## Öz

Günümüzde yüksek verimli bir motorun geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. İçten yanmalı motorlardan birden fazla parçadan oluşmaktadır. Bu nedenle motor verimi bu parçalarla etkileşim halinde olmaktadır. Motorun verimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de silindir içerisine alınacak hava miktarıdır. Emme manifoldu ise silindir içerisine alınacak havanın ya da taze karışımının her silindir için eşit bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Silindirlere gönderilecek olan hava karakteristiğini belirlemek için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi ise hesaplamalı akışkanlar dinamiğidir. Bu çalışmada altı silindirli motor için emme manifoldu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde emme manifold ile ilgili birçok çalışma görülmüştür. Bu yapılan çalışmalara istinaden farklı hava giriş port tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımları gerçekleştirilen emme manifoldları için hesaplamalı akışkan yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar temel akış parametresi olan hız değişimleri cinsinden detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Emme manifoldu, Akış analizi, İçten yanmalı motorlar.

## Design of Intake Manifold with Computational Fluid Dynamics Method

### Abstract

Nowadays, studies are carried out to develop a high efficiency motor. It consists of multiple parts from internal combustion engines. Therefore, motor efficiency interacts with these parts. One of the most important factors affecting the efficiency of the engine is the amount of air to be taken into the cylinder. The intake manifold ensures that the air or fresh mixture to be taken into the cylinder is distributed equally for each cylinder. Some methods are used to determine the characteristics of the air to be sent to the cylinders. One of these methods is computational fluid dynamics. In this study, the design of the intake manifold for a six-cylinder engine was carried out. When the literature studies are examined, many studies on the intake manifold have been seen. Based on these studies, different air inlet port designs have been made. Computational fluid method was used for the designed intake manifolds. The results obtained from the study were discussed in detail in terms of velocity changes, which is the basic flow parameter.

**Keywords:** Air intake manifold, Flow analysis, Internal combustion engine.

\* Sorumlu Yazar: kaplancihangir@gmail.com

## 1. Giriş

Günlük hayatta içten yanmalı motorlar binek otomobiller, kamyonet, motosiklet, uçak, gemi, tren gibi taşıma araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar, birden fazla parçadan oluşan karmaşık yapıya sahip olmaktadır. İçten yanmalı bir motorun performansı birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerden en önemlisi silindirlerdeki yanmanın, ideal yanma koşullarını sağlamasıdır. İdeal yanma, silindir içinde reaksiyona giren hava ve yakıtın yeterli oranlarda karışması ile mümkündür. Hava-yakıt karışımını emme manifoldu yardımıyla silindirler içerisine taşınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle motor tasarımcıları emme manifoldu dizaynına önem vermektedir (Shinde, 2014). Emme manifoldu hava-yakıt sistemi ile motor arasında bir tampon görevini üstlenmektedir. Emme manifold tasarımları, performans ile birlikte, motordaki konumu da göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu da önemli bir parametredir. Bunun sonucunda bazı seri üretim motorlarda düşük performanslı manifoldlar ile karşılaşabilmektedir (Ataman, 2017).

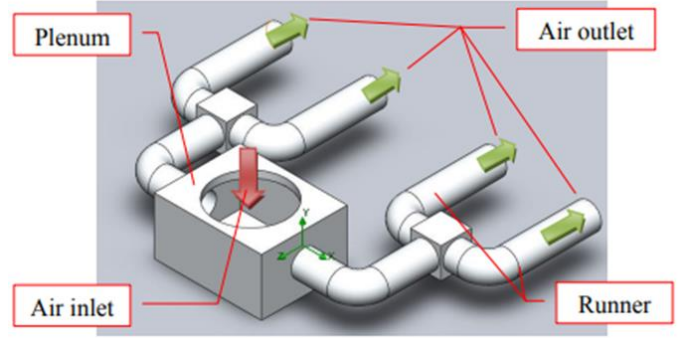
Tasarımdan sonra gelen en önemli bir parametre ise motor verimidir. Motorun verimini etkileyen en önemli faktörlerden biri de yanma odasına giren yakıtın tamamının yanmasını sağlamasıdır. Bu durum yakıtın tamamı ile yanma reaksiyonuna girecek olan oksijenin, doğru miktarda ve doğru hız ve basınçlarda yanma odasına gönderilmesi ile sağlanır (Demircan ve ark.).

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak emme manifoldları birbirinden farklı şekilde ve motora uygun çeşitlerde tasarlanmaktadır. Motor tiplerine bağlı olarak hava giriş portu, dolgu hacmi ve emme kanalları değişikliğe uğramaktadır. Ana hedef, silindirler içerisine alınacak havanın eşit olarak dağıtılması istenmektedir (Göçmen ve ark., 2020). Şekil 1'de emme manifoldu görülmektedir.



Şekil 1. Emme manifold görünümü

Emme manifoldu, yakıt ve hava karışımını motora taşımak için kullanılan bir motor parçasıdır. Emme manifoldu ram borusu (manifold girişi), plenum (dolgu hacmi) ve koşuculardan (borular) oluşur. Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Emme manifold bölümlerinin görünümü

Emme manifoldları taşıt motor performansı ve kirleticilerin emisyonu üzerinde yüksek etkileri vardır (Kannan ve ark., 2016). Hava, motor tarafından oluşturulan vakum sayesinde emme manifold giriş kısmıyla plenuma girmektedir. Plenum yanma esnasında kullanılacak havayı depo olarak saklar ve daha sonra yanma havasını koşucular (boru) yardımıyla silindirler içerisine aktarmaktadır (Porter, 2009).

Tasarım sırasında problemleri en aza indirmek ve optimum bir emme manifoldu elde etmek için bazı parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

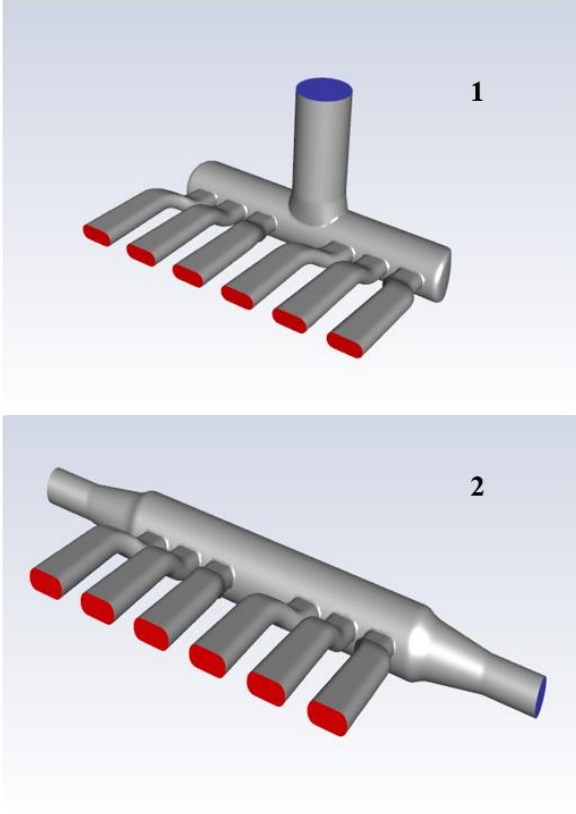
- Havanın tüm silindirlere eşit dağılımı
- Emme manifoldu koşucularda (boru) minimum direnç
- Üretim için uygun geometride emme manifoldu tasarımının gerçekleştirilmesi
- Emme manifoldundaki gereksiz türbülans ve girdap oluşumunun azaltılması
- Gaz keleşbeği gövdesi konumunu doğru seçilmesi (Plenuma simetrik) (Safari ve ark., 2003).

Söz konusu çalışmamızda içten yanmalı motor için emme manifold ve hava giriş port tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen emme manifoldlar için hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemi kullanılarak havanın silindirlere dağılımı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

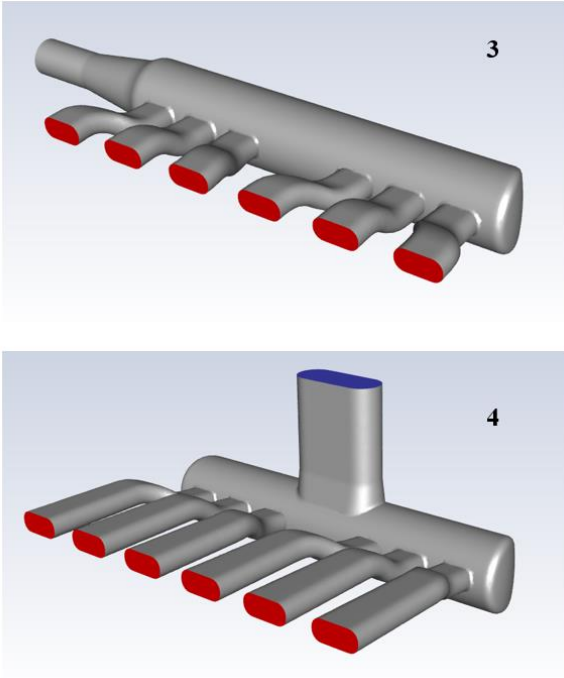
### 2.1. Emme Manifold Tasarımı

Bilgisayar destekli tasarım programlarının yardımıyla emme manifoldun tasarımları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmamızda Ford markalı altı silindirli bir motordan esinlenerek SolidWorks programıyla tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlardan yola çıkılarak ve çalışmamızın özgün yanı olan dört farklı hava giriş port tasarımı ile desteklenmiştir. Model-1 emme manifoldunun hava giriş portu dolgu hacmine dik olarak tasarlanmıştır. Model-2 emme manifoldu ise yan kısımlardan iki ayrı hava giriş kısmı ayarlanmıştır. Tasarımlar şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Model-1 ve Model-2 numaralı emme manifold tasarım görünümü

Model-3 emme manifolduna tek girişli hava portu ve model-4'de ise daha düz geniş bir şekilde tasarımları gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Model-3 ve Model-4 numaralı emme manifold tasarım görünümü

## 2.2. Emme Manifold Analizi

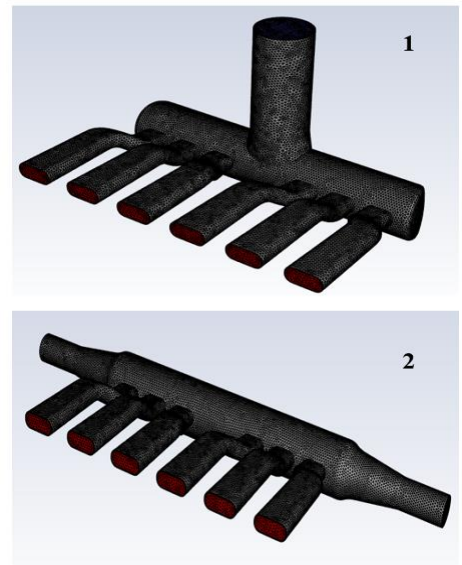
Mühendislik hesaplama ve çalışmalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan kompleks modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), ilgili alanda detaylı hesaplamaların yapılabilirdiği, akış alanı ve diğer fiziksel detayların gösterilebildiği, bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. HAD analizlerinin sonuçları, ürün tasarım sürecinde ürünün çalışmasını, oluşabilecek problemleri bilgisayar ortamında simüle etmeye ve ürün performansını optimize etmekte önemli faydalar sağlar.

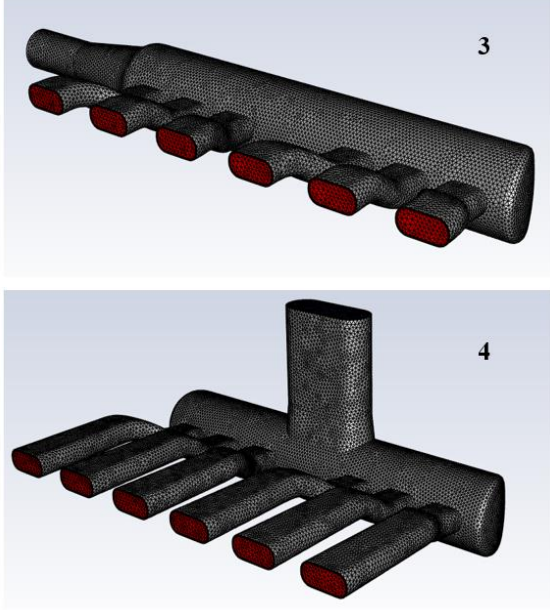
Teorik ve deneysel çalışmalarla emme manifold koşucuları, dolgu hacmi gibi tasarım parametreleri değişikliklerinin getirdiği etkileri incelemek için emme manifold giriş hızı, basıncı sıcakları sabit tutularak çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmamızda tasarımı gerçekleştirilen dört farklı hava giriş portlu emme manifoldları için giriş hızı, basınç ve sıcaklık gibi parametreler sabit tutulacaktır. Bu sayede, giriş portlarına bağlı olarak emme manifoldun performanslarını izleme fırsatı bulunmuştur. Emme manifold geometrilerinin 3 boyutlu modellemeleri sonrasında çalışmamızda, ANSYS Fluent ticari yazılım kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere sonlu elemanlar metodu ile yapılan çalışmalar; tasarım üzerinde meshlerin oluşturulması ve sınır şartları belirlenerek modeller kurulmaktadır.

Geometri üzerinde oluşturulan mesh (ağ) tipleri, boyutları ve kalitesi diğer parametrelerin sabit kalmasına rağmen elde edilebilecek sonuçları etkilemektedir.

Bu çalışmamızda yalnızca giriş portlarının geometrik ölçüleri ve giriş sayılarının emme manifoldundaki etkilerinin incelenmesi ve sonuçları etkilememesi için ANSYS üzerinden mesh (ağ) yapısı oluşturulmuştur. Emme manifold geometrilerinin mesh (ağ) yapısı şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 ve 2 numaralı emme manifoldun mesh (ağ) yapısı



Şekil 6. 3 ve 4 numaralı emme manifoldun mesh (ağ) yapısı

Literatür çalışmaları incelendiğinde, emme manifoldlar için k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Harlow ve Nakayama tarafından yapılan çalışmalar k-ε modeline ilişkin ilk çalışmalardır. Kullanımı yaygın olması nedeniyle standart k-ε olarak adlandırılmaktadır. Launder ve Sharma modele ait kapama katsayıları düzeltilmişlerdir ve bu haliyle model araştırmacılar tarafından kabul görmektedir. Bu çalışmadaki temel amacımız basınç, hız gibi akış parametreleri dikkate alınarak üç boyutlu, kararlı akışkan durumu için gerçekleştirilen sayısal simülasyon için türbülans modeli olarak k-ε kullanılmıştır. Standart k-ε modeli, iki denklemlilik türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik modeldir.

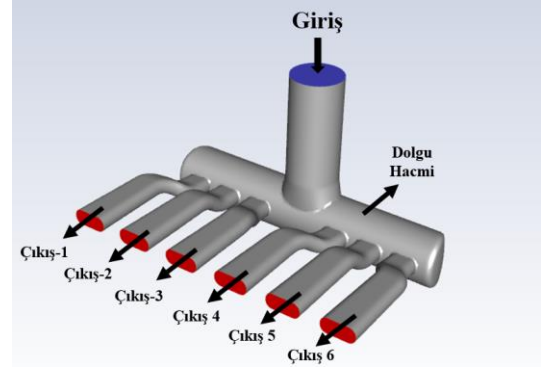
Tablo 1. Çalışma sınır şartları

Veriler	Değerler
Hava giriş hızı	37,5 m/sn
Hava giriş basıncı	1 atm
Hava çıkış basıncı	1 atm
Sıcaklık	313 K
Türbülans modeli	k-ε modeli
Zaman modeli	Steady

Yukarıda tablo 1’de bahsedilen çalışma şartları ile analiz için hazırlık yapılmıştır. Analiz çözümlenmesinde steady state yani zamandan bağımsız bir çözümleme gerçekleştirilmiştir.

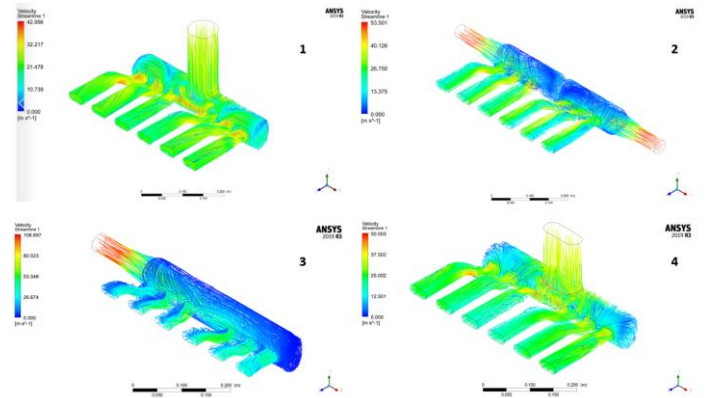
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Söz konusu çalışmamızda, altı silindri bir motor için farklı hava giriş portlarına sahip emme manifold tasarımları gerçekleştirilmiştir. Analiz verilerini incelemek için örnek tasarım üzerinde emme manifold koşucuları (çıkışlar), dolgu hacmi ve giriş bölümleri şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Emme manifold koşucuların görünümü

Tasarımı gerçekleştirilen modeller için ANSYS-Fluent ticari yazılımı kullanılarak analizi yapılmış ve sayısal veriler elde edilmiştir.



Şekil 8. Tasarım modellerine göre emme manifold hızları

Analiz sonucunda elde edilen emme manifold hız dağılımları bizlere alçak veya yüksek olduğunu bölgeler hakkında bilgiler vermektedir. Manifold giriş ve çıkışlarda kullanılan genişleme ya da daralma, dirsekler akışkanın düzgün akışını kesintiye uğratması kayıplara neden olacaktır. Yukarıdaki resim incelendiğinde, modellerdeki koşucu ve hava giriş portlarında keskin köşelerden kaçınılmıştır. Şekil 8’de gösterilen model-1 emme manifoldunun hız vektörleri ve tablo 2’de ise modele ait maksimum hız verileri gösterilmiştir.

Tablo 2. Model-1 emme manifold hızları

Model-1	
Çıkış-1	22,30 m/sn
Çıkış-2	22,19 m/sn
Çıkış-3	20,67 m/sn
Çıkış-4	20,60 m/sn
Çıkış-5	21,93 m/sn
Çıkış-6	22,22 m/sn



Model-1 emme manifold çıkışları hızları incelendiğinde akış hızlarını birbirlerini yakın olduğu gözlemlenmiştir. Giriş bölümünde bahsedildiği gibi emme manifoldlarından silindirlere alınacak hava eşit dağılımalıdır. Bu tasarım ile sağlanabilmektedir.

**Tablo 3.** Model-2 emme manifold hızları

Model-2	
Çıkış-1	20,40 m/sn
Çıkış-2	21,85 m/sn
Çıkış-3	22,91 m/sn
Çıkış-4	22,58 m/sn
Çıkış-5	21,36 m/sn
Çıkış-6	20,19 m/sn

Model-2 emme manifold analizinin hız verileri tablo 3’de gösterilmiştir. Hız verileri incelendiğinde çıkış 1 ve 6’da hızların düştüğü görülmektedir. Emme manifold tasarımı incelendiğinde iki taraftan hava girişinin olması ve havanın manifold koşucularına gelmeden dolgu hacminde akışın çarpması ile hız düşüşleri meydana gelmiştir.

**Tablo 4.** Model-3 emme manifold hızları

Model-3	
Çıkış-1	17,41 m/sn
Çıkış-2	21,89 m/sn
Çıkış-3	25,87 m/sn
Çıkış-4	25,18 m/sn
Çıkış-5	27,35 m/sn
Çıkış-6	28,59 m/sn

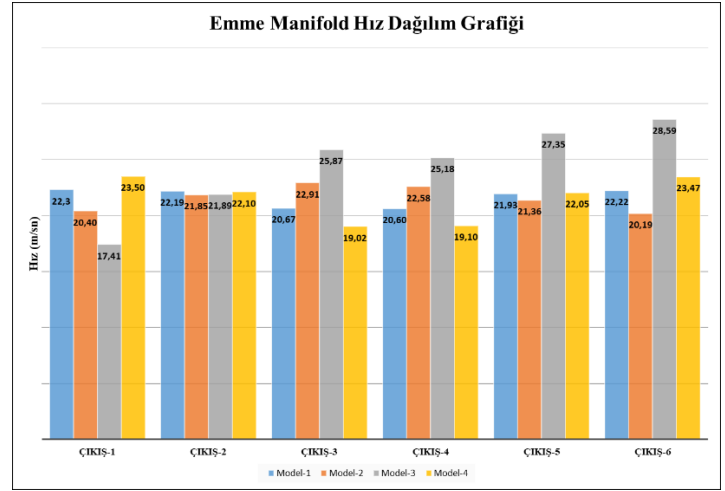
Model-3 hız verileri tablo 4’de gösterilmiştir. Akış hızları incelendiğinde çıkış-1 hızının diğer koşuculara göre daha az ve çıkış-6 ise yüksek hız gözlenmiştir. Giriş portuna yakın olan koşucu tarafında basınç kaybı meydana gelmiştir. Basınç kaybının nedeni akış dolgu hacminden koşuculara iletilmesi esnasında meydana gelmektedir. Dolgu hacmi yaşanan yansımalar ve koşucu (boru) duvarına çarpması hız kayıplarını meydana getirmektedir. Çıkış-6 ise akışkan havada kayıplar yaşanmaması ve daha fazla hava çekmesi nedeniyle hız artışına sebebiyet vermiştir.

**Tablo 5.** Model-4 emme manifold hızları

Model-4	
Çıkış-1	23,50 m/sn
Çıkış-2	22,10 m/sn
Çıkış-3	19,02 m/sn
Çıkış-4	19,10 m/sn
Çıkış-5	22,05 m/sn
Çıkış-6	23,47 m/sn

Model-4 analiz verileri ise tablo 5’de gösterilmiştir. Bu emme manifold incelendiğinde çıkış 3 ve 4’de hız düşüşleri meydana gelmiştir. Manifold girişinin geniş olması nedeniyle türbülans

oluşturmuştur. Buda istenilen hava akış hareketinin oluşmasını engellemiştir.



**Şekil 9.** Analiz sonuçlarına göre emme manifoldu dağılım grafiği

İçten yanmalı motorlarda silindirler içerisine alınacak hava yada hava-yakıt karışımı homojen ve eşit bir şekilde emme manifold tarafından taşınması sağlanmalıdır. Yukarıdaki grafik incelendiğinde model-1 tasarımı daha uygun olduğu gözükmektedir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, 6 silindirli içten yanmalı motor için farklı hava portlarına sahip emme manifold tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan emme manifoldlar hava akışının karakteristiğini belirlemede ise hesaplamalı akışkanlar yöntemi kullanılarak sayısal incelemeler yapılmıştır. Analizler aşağıda maddeler belirtilmiştir. Bunlar;

- Emme manifold tasarımında hava giriş portunun genişliği ve şekli havanın akışı hızını etkilediği görülmüştür.
- Emme manifold koşucuların tasarımında dirsek, köşe ve daralmaların olması basınç düşüşlerine meydana getirdiği tepit edilmiştir.
- Model-1 tasarımı incelendiğinde silindir içerisine alınacak hava daha eşit bir şekilde gönderileceği görülmüştür.
- Model-3 tasarımı incelendiğinde çıkış-1 (koşucu)’de hız çok düşük olduğu çıkış-6 (koşucu)’da ise akış hızı çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni plenum içerisindeki yansımalar hız kayıplarına sebebiyet vermiştir.

## Kaynakça

Shinde, P. A. (2014). Research and optimization of intake restrictor for Formula SAE car engine. International Journal of Scientific and Research Publications, 4(4), 1.

- Ataman, T. (2017). Farklı Tasarımlardaki Emme Manifoldlarının Akış Analizlerinin Yapılarak En Uygun Tasarımın Belirlenmesi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demircan, T., Polat, Z. E., & Polat, H. T. (2017). İçten Yanmalı Bir Motorun Emme Manifoldunun Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile Tasarımı.
- Göçmen, K., & Soyhan, H. S. (2020). An intake manifold geometry for enhancement of pressure drop in a diesel engine. *Fuel*, 261, 116193.
- Porter, M. (2009). Intake manifold design using computational fluid dynamics. The UNSW Canberra at ADFA Journal of Undergraduate Engineering Research, 1(2), 31.
- Kannan, C. R., & Jose, S. S. H. (2016). CFD Analysis of Plenum Chamber in Intake Manifold of a Multi Cylinder SI Engine-A. IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology, 2, 179-83.
- Safari, M., Ghamari, M., & Nasiritosi, A. (2003). Intake manifold optimization by using 3-D CFD analysis (No. 2003-32-0073). SAE Technical Paper.



# Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Kontrolünün Akıllı Yapı Tabanlı Modellemesi

Hasan Bektaş Perçin<sup>1\*</sup>, Abuzer Çalışkan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8968-969X), [hbpercin@firat.edu.tr](mailto:hpperçin@firat.edu.tr)

<sup>2</sup> Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8262-7912), [acalışkan@firat.edu.tr](mailto:acalışkan@firat.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898952)

**ATIF/REFERENCE:** Percin, H.B., Caliskan, A., (2021). Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Kontrolünün Akıllı Yapı Tabanlı Modellemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 219-225.

## Öz

Rüzgâr enerjisi, elektrik üretiminde kullanımı giderek artan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgârdan elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan sistemin verimliliği, uygun elemanların ve kontrol tekniğinin seçimine bağlıdır. Bu tür dönüşüm sistemlerinde, değişken hızlı rüzgâr türbinleriyle doğrudan bağlantılı olarak kullanılabilen kalıcı mıknatıslı senkron generatörler ön plana çıkmaktadır. Bu generatörler, elektriksel kayıpları ve mekanik bileşenlere bağımlılığı azaltarak genel sistem performansını yükseltme özelliğine sahiptir. Dönüşüm sistemlerinde sistemin anlık çalışma hızı ayarlanarak yapılan kontrol maksimum güç noktası izleme kontrolü olarak tanımlanmaktadır. Bu kontrol, anlık rüzgâra göre sistemin üretim verimliliği en üst düzeyde tutarak daha uzun ömürlü ve daha az maliyetli enerji üretimi sağlayabilir. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi ve maksimum güç noktası izleme kontrolünün temel prensibi açıklanmıştır. Akıllı kontrol yapısı olarak tanımlanan bulanık mantık kontrolü Matlab/Simulink ortamında modellenerek çeşitli sistem büyüklükleri üzerinden kontrol yapısının analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol yapısı, değişken rüzgâr profiline göre dönüşüm sisteminin daha kararlı ve daha verimli çalışmasını sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr Enerjisi, Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatör, Modelleme, Maksimum Güç Noktası İzleme, Bulanık Mantık Kontrol.

## Intelligent Structure Based Modelling of Maximum Power Control in Wind Energy Conversion Systems with Permanent Magnet Synchronous Generator

### Abstract

Wind energy is a renewable energy source increasingly used in electricity generation. System efficiency in electrical energy production from wind depends on the selection of suitable components and control technique. In this type of conversion systems, Permanent magnet synchronous generators, which can be used directly connected to variable speed wind turbines, come to the fore. These generators have the ability to increase overall system performance by reducing electrical losses and dependency on mechanical components. The control performed in conversion systems by adjusting the instant operating speed of the system is defined as the maximum power point tracking control. This control can provide more durable and less costly energy production by keeping the production efficiency of the system at the highest level according to the instant wind. In this study; wind energy conversion system and basic principle of maximum power point tracking control were explained. Fuzzy logic control, defined as an intelligent control structure, was analyzed based on various system parameters through modelling in Matlab/Simulink environment. This control structure enabled the conversion system to operate more stable and more efficiently according to the variable wind speed profile.

**Keywords:** Wind Energy, Permanent Magnet Synchronous Generator, Modelling, Maximum Power Point Tracking Control, Fuzzy Logic Control.

\* Sorumlu Yazar: [hbpercin@firat.edu.tr](mailto:hpperçin@firat.edu.tr)

## 1. Giriş

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtlar; sera gazı salınımı, hava kalitesinde bozulma, su ve çevre kirliliği gibi birçok soruna sebep olmaktadır. Bu problemler, çevresel etkisi daha az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır.

Yenilenebilir enerji türlerinden yaygın olarak kullanılanlardan biri de rüzgâr enerjisidir. Gelişen teknolojiyle birlikte uygun maliyetli enerji dönüşüm sistemleriyle kullanılabilirliği, sera gazı etkisi yaratmamaları gibi avantajlara sahiptir. Ancak rüzgârın sabit bir kaynak olmayıp değişkenlik gösteren yapıda olması bu enerji için kullanılan dönüşüm sistemlerinin iyi bir şekilde kontrolünü gerektirir.

Rüzgârdan elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi (REDS)'ler, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. REDS'nin iyi bir verimlilikle kullanılabilmesi hem rüzgârdan maksimum oranda yararlanma hem de sistemin uzun süre kullanılması açısından önemlidir. Son yıllarda gelişen teknolojiyle değişken hızlı türbinlerle uyumlu, kalıcı mıknatıslı senkron generatör (KMSG) içeren REDS'ler ön plana çıkmaktadır. Rotorlarında bulunan kalıcı mıknatıslarla harici bir uyarıma ihtiyaç duymadan çok kutuplu tasarlanarak doğrudan türbin bağlantılı kullanılabilirliği, güçlü mekanik karakteristikleri ve her hız seviyesinde güç üretebilmeleri REDS'lerde kullanımını yaygınlaştırmıştır.

REDS'ler için üretim verimliliğini esas alan çalışmalarda anlık rüzgârdan maksimum seviyede yararlanabilmek adına kullanılan yöntemler maksimum güç noktası izleme (MGNİ) yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Değişken hızlı REDS'ler için bu yöntemler, esasında kullanılan genratörün çalışma hızının belirli hız aralıklarında rüzgâr hızına göre ayarlanmasına göre çalışmaktadır.

MGNİ için kullanılan kontrol yöntemleri, generatör ve yük arasındaki ara yüzlere göre farklılık gösterebilmektedir. Bu ara yüz yapılarından biri de kıyıcı içeren ara yüzlerdir. Kıyıcının doluluk oranı üzerinden maksimum gücün anlık olarak elde edilmesiyle değişken rüzgâr hızlarında MGNİ kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. Bu prensibe göre çalışan klasik kontrol yapısı olarak tanımlanabilecek PID kontrolör tabanlı çalışmalarda [1-3] kontrol yapısının REDS'nin anlık çalışma noktasını ayarlayacak şekilde çalışması sağlanmış. Farklı kontrol yapıları için giriş çıkış değişkenlerine göre çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tekniklerin hızlı değişimler karşısında düşük performansları söz konusudur. REDS'ler gibi nonlineer kontrol özelliği gösteren yapılarda MGNİ kontrolü için akıllı yapı olarak tanımlanabilecek yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Bu yapıların en önemli özelliği uyarlanabilir ve hızlı kontrol imkânı verebilmeleridir. Akıllı yapılardan bulanık mantığı esas alan çalışmalarda [4-7] farklı bulanık mantık kontrol tasarımlarıyla değişken rüzgâr hızlarında MGNİ kontrolü gerçekleştirilmiştir. Farklı şekillerde kontrol yöntemi analiz edilmiştir.

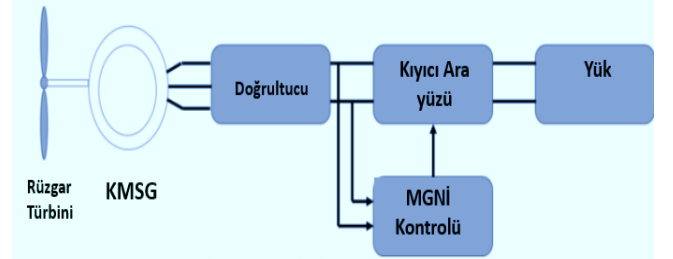
Bu çalışmada değişken hızlı rüzgâr türbinleriyle uyumlu KMSG'li REDS için enerji dönüşümü sistem büyüklükleri üzerinden açıklanmış. Bulanık mantık yapısını esas alan MGNİ kontrolünün genel bir sistem modeliyle birlikte Matlab/Simulink ortamında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemin

çeşitli büyüklükler ve grafikler üzerinden performansı değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemi

REDS'ye ait genel dönüşüm şeması Şekil 1'de görülmektedir



Şekil 1 REDS genel dönüşüm şeması

Şekil 1'e göre rüzgâr türbininde elde edilen mekanik enerji generatör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. KMSG'den sonra gelen doğrultucu çıkışında rüzgârdaki değişimlere göre değişken yapıda bir doğru gerilim elde edilir. Burada kullanılan kıyıcı ara yüzünün türüne göre değişken yapıdaki doğrultulmuş gerilim kıyıcı çıkışında belirli bir seviyeye ayarlanır. Bu gerilim sabit gerilimle beslenen yüklere sağlanabileceği gibi inverter aracılığıyla alternatif gerilim olarak da kullanılabilir.

#### 2.1.1. Rüzgâr Türbini Modeli

REDS'de sisteme ait bileşenler üzerinden elde edilen matematiksel modeller, enerji dönüşümü ve MGNİ kontrolünü anlayabilmek adına önemlidir [8]. Enerji üretiminin ilk aşamasında kullanılan türbin tarafından anlık rüzgâra göre elde edilen mekanik güç matematiksel olarak Eşitlik 1'deki gibi ifade edilir.

$$P_{Mekanik} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times V_R^3 \quad (1)$$

Burada  $\rho$  hava yoğunluğu,  $A$  türbin kanatlarının taradığı alan,  $V_R$  rüzgâr hızı olarak tanımlanır. Eşitlikteki  $C_p$  terimi ise REDS'lerde türbinden elde edilen mekanik gücün rüzgârın mevcut gücüne oranı olarak tanımlanabileceği gibi rüzgârdan ne kadar oranda faydalanılabildiğini gösteren güç (verimlilik) katsayısıdır [8-10]. Bu katsayı iki farklı değişkene göre Eşitlik 2'deki gibi ifade edilir.

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \times \beta - C_4 \right) e^{-(C_5/\lambda_i)} + C_6 \times \lambda \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}$$

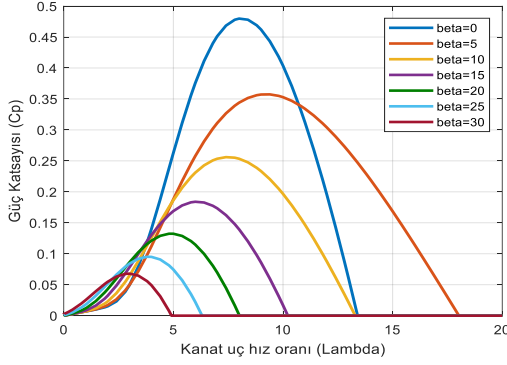
$C_{1-6}$  ile ifade edilen parametreler, türbinlerin tasarımına özgü sabit değerlerdir.  $\beta$  ise yüksek hızlarda türbinin zarar görmesini engelleyecek şekilde devreye girebilen kanat açısı,  $\lambda$  ise kanat uç hız oranı (KHO) olarak tanımlanır. Bu oran matematiksel olarak Eşitlik 3'deki gibi ifade edilir.

$$\lambda = \frac{w_M \times R}{V_R} \quad (3)$$

Burada  $R$  türbin kanat yarıçapı,  $w_M$  türbinin ve türbinle doğrudan bağlantılı KMSG'nin rotor hızı,  $V_R$  ise rüzgâr hızıdır. Güç katsayısı en optimal KHO ve kanat açısı değerlerinde maksimum 0.5926 değerini almaktadır. Bu maksimum değer aynı zamanda betz limiti olarak da adlandırılmaktadır. Bu değere

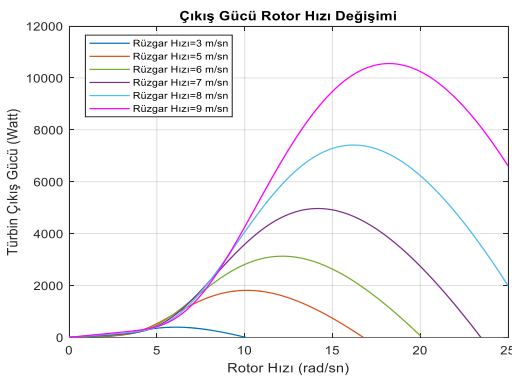
göre rüzgârdan elde edilebilecek maksimum mekanik güç teorik olarak rüzgâr gücünün %59,26'sına denk gelir. Ancak kayıplar, aerodinamik özelliklerden dolayı günümüzdeki rüzgâr türbinlerinde türbin dönüşüm verimliliği %40-50 arasındadır. Bu da en uygun koşullarda güç kasayısının 0.4 ile 0.5 arasında değer alacağını gösterir.

Farklı kanat açısı (beta) değerlerine göre güç katsayısı ve KHO arasındaki değişimi gösteren grafik Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Güç katsayısı- KHO değişimi

Güç katsayısı Cp'nin en yüksek seviyede tutulabilmesi, türbinden en yüksek verimlilikte güç elde edilebilmesini sağlar. Şekil 2'ye göre, nominal rüzgâr hızı değerinin altında kanat açısı değerinin en küçük değerinde, KHO'nun uygun değerinde tutulmasıyla güç katsayısı maksimum değerini almaktadır. Eşitlik 3'teki ifadeye göre KHO değeri, türbin kanat yarıçapı ve rotor hızına bağlıdır. Denklemde kullanılan türbin kanat yarıçapı, sabit bir değer olduğundan değişen rüzgâr hızlarına göre rotor hızını ayarlamak suretiyle KHO ve güç katsayısının en uygun değerlerde tutulması, hız kontrolünün dolayısıyla anlık maksimum güç kontrolünün temelini oluşturur. Ayrıca Şekil 2'ye göre kanat açısı değerinin artırılmasıyla güç katsayısının düşmesi ise anlık gücün anma gücünden daha yüksek seviyelere çıktığında gücün sınırlanmasıyla sistemde koruma işleminin yapılabileceğini de gösterir [11]. Şekil 3'te değişen rüzgâr hızlarına göre türbin çıkış gücünün rotor hızına göre değişimi görülmektedir.

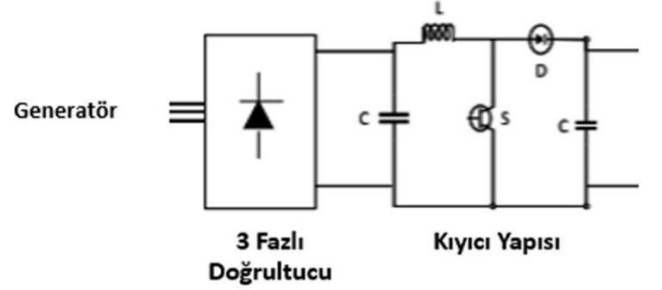


Şekil 3. Türbin çıkış gücünün rotor hızına göre değişimi

Şekil 3 incelendiğinde çıkış gücü, belirli rotor hızlarında maksimum değeri alabilmektedir. Kullanılacak farklı MGNİ yöntemleriyle anlık rotor hızının rüzgâr hızına göre ayarlanmasıyla KHO'nun ve güç katsayısının değerleri de ayarlanarak sistem verimliliği maksimum seviyede tutulabilir.

## 2.1.2. Arayüz Modeli

Türbinden gelen mekanik gücün anlık rüzgâra göre değişken yapıda olmasından dolayı generatör çıkışında elde edilen değişken yapıdaki gerilimin yük ile generatör arasındaki arayüz yapısıyla belirli seviyeye ayarlanarak kullanılmasını gerekir. Bu çalışmada kullanılan doğrultucu ve kıyıcı devresinden oluşan örnek arayüz Şekil 4'te görülmektedir.



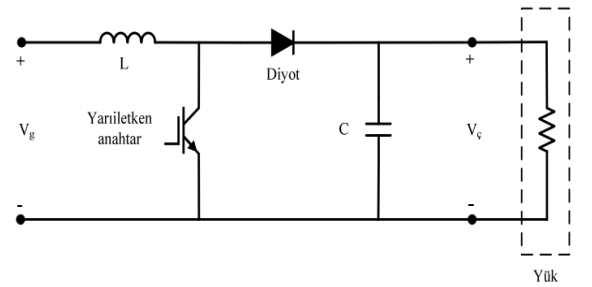
Şekil 4. Doğrultucu kıyıcı arayüz şeması

Generatör ve doğrultucu çıkışındaki akım ve gerilimler arasındaki bağıntı Eşitlik 4 ve 5'teki gibi ifade edilir.

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_{gen} \quad (4)$$

$$I_{DC} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} I_{gen} \quad (5)$$

Eşitliklerde  $V_{gen}$ ,  $I_{gen}$  generatör gerilimi ve akımını;  $V_{DC}$  ve  $I_{DC}$  doğrultucu çıkış gerilimi ve akımını ifade etmektedir. Doğrultucu çıkışındaki gerilimin belirli bir seviyede tutulabilmesi, sistemin beslediği yük, inverter ve depolama elemanları açısından önemlidir. Kullanılan kıyıcı devreleri, doğrultucu çıkışından gelen gerilime göre çıkışında istenen seviyede gerilim sağlayabilecek şekilde çalışabilir. Bu çalışmada kullanılan yükselten (boost) tip kıyıcı devresinin anlık kontrolüyle doğrultucudan gelen gerilime göre çıkışta daha yüksek seviyede bir gerilim elde edilebilir. Şekil 5'te yükselten tip (boost) kıyıcı devre şeması görülmektedir.



Şekil 5. Yükselten Tip (Boost) Kıyıcı Devre Şeması

Kıyıcıda kullanılan yarı iletken anahtarın iletim ve kesim sürelerine göre Eşitlik 6 ve 7 elde edilir.

$$T_S = t_{on} + t_{off} \quad (6)$$

$$d = \frac{t_{on}}{T} \quad (7)$$

Bu eşitliklere göre  $T_S$  anahtarlama periyodunu,  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  sırasıyla anahtarın iletimde ve kesimde kalma sürelerini,  $d$  ise anahtarlama sürelerine göre elde edilen doluluk oranı (görev periyodu)'dır. Bu değer 0 ile 1 arasında bir değerdir. Kıyıcının uygun şekilde çalışması doluluk oranının kontrolüyle doğrudan ilgilidir. Doluluk oranına göre yükselten tip kıyıcı devresinde giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki bağıntı Eşitlik 8'deki gibidir.

$$\frac{V_{Çıkış}}{V_{Giriş}} = \frac{1}{1-d} \quad (8)$$

Girişine uygulanan gerilim ( $V_{Giriş}$ ) sabit ya da değişken olmasına bakılmaksızın görev periyodunun anlık kontrolüyle gerilim ayarı yapılabileceği Eşitlik 8’de görülmektedir. Kullanılan kontrol tekniğiyle kıyıcının doluluk oranıyla kıyıcı giriş gerilimi istenen şekilde ayarlanabilirse generatörde indüklenen gerilimin hızıyla orantılı olduğu düşünüldüğünde dolaylı yoldan generatörün hızı da ayarlanabilir. Bu kontrol mantığı, kıyıcı arayüz içeren REDS’de MGNİ kontrolünün temel prensibidir [12].

Kullanılan kontrol yapısının yanında yükselten tip kıyıcının kontrol yapısına uygun kararlılıkta çalışabilmesi, kıyıcı’da kullanılan anahtarlans (L), kondansatör (C) ve yarı iletken elemanın anahtarlama frekansının uygun şekilde seçimine bağlıdır. Kıyıcıyı devresinde kullanılacak L ve C değerleri, Eşitlik 9 ve 10’daki gibi hesaplanır.

$$L = \frac{V_{g(Min)} * d}{\Delta I_L * f_s} \quad (9)$$

$$C = \frac{I_{ç(Max)} * d}{\Delta V_C * f_s} \quad (10)$$

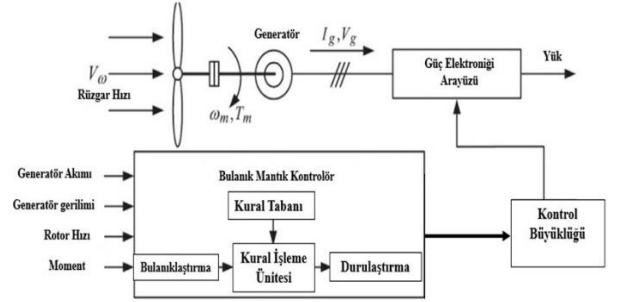
Eşitlikler giriş geriliminin minimum değeri  $V_{g(Min)}$  çıkış akımının maksimum değeri  $I_{ç(Max)}$ , kıyıcının anahtarlama frekansı  $f_s$  ile göstermektedir.  $\Delta I_L$  ve  $\Delta V_C$ ’nin endüktans akımı ve kondansatör geriliminde yüzdesel olarak ne kadarlık dalgalanmaya izin verilebileceğini gösteren yüzdesel değerler olup yapılan hesaplamalar uygun devre elemanlarının seçimine ve bunlara uygun kıyıcı devresinin tasarımına imkan verir [12].

## 2.2. MGNİ Yöntemleri

REDS’de kullanılabilen MGNİ kontrol yöntemleri; ek donanım gereklilikleri, sistem parametrelerinden bağımsız olup olmamaları, uygulanma şekilleri gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Uygulanma şekillerine göre dolaylı, doğrudan, akıllı yapı tabanlı yöntemler bulunmaktadır. Dolaylı ve doğrudan yöntemler kullandıkları sistem parametresinin türüne göre

tanımlanmaktadır. Akıllı yapı tabanlı yöntemler ise bulanık mantık, yapay sinir ağları, optimizasyon teknikleri gibi yöntemlerin MGNİ kontrolü için kullanıldığı tekniklerdir. [13].

Doğrudan ve dolaylı MGNİ yöntemlerinin ek donanım ihtiyaçları, karmaşık tasarımları ve yavaş çalışma hızları gibi dezavantajları, nonlineer yapıdaki REDS’ler için anlık koşullara göre uyarlanabilir performans sunan akıllı yapı tabanlı MGNİ yöntemlerinin kullanımına zemin hazırlamıştır [14]. Bu tip yöntemlerden bulanık mantık yöntemi, uzman bilgisi ve bu bilgiye göre oluşturulan sözel olarak ifade edilen değişkenler üzerinden çalışan ve farklı aşamalardan meydana gelen kontrol yapısı olarak tanımlanabilir. REDS’lerde farklı sistem büyüklüklerini kullanarak çalışan bulanık mantık yapısının prensip şeması Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6 Bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolü

Bulanık mantıklı MGNİ yapıları, genellikle çok girişli ve tek çıkışlı olarak tasarlanabilirler. Seçilen değişkenler farklı türde olabileceği gibi bu büyüklüklerin birbirlerine göre değişimleri de kullanılabilir. Mekanik büyüklükler yerine elektriksel büyüklüklerinin kullanımı ek donanım ve maliyet açısından fayda sağlayabilir. Kontrolörün performansını kullanıcı bilgisi, kullanılan sözel değişkenler, bunlara göre oluşturulan üyelik fonksiyonları ve kural tabanı belirler [15,16]

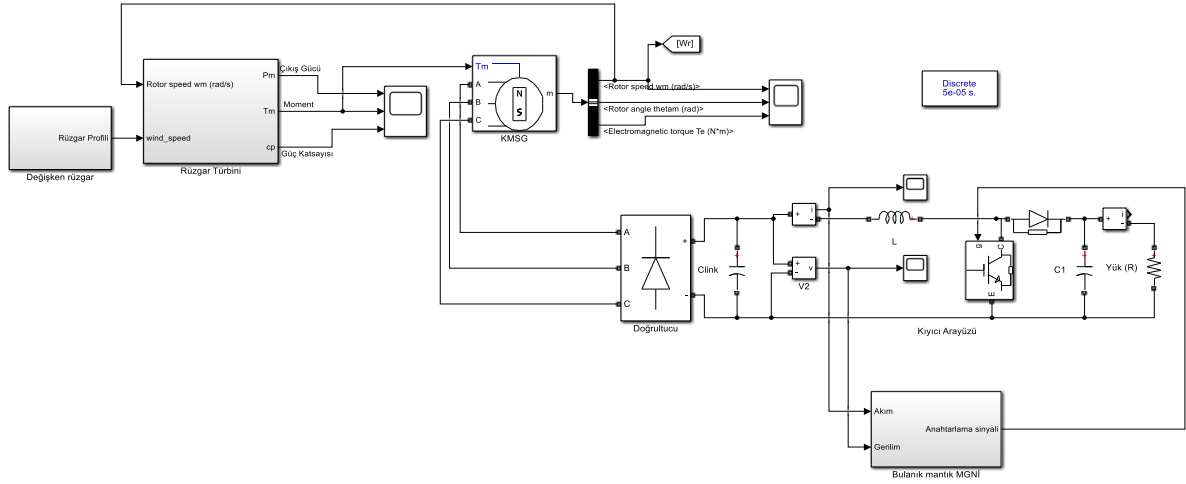
Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Türbin ve Generatör Parametreleri

Türbin Parametreleri		KMSG Parametreleri	
Rotor Yarıçapı	4 m	Stator Direnci	0.425 $\Omega$
$\rho$ (Hava Yoğunluğu)	1.2 Kg/m <sup>3</sup>	Armatür Endüktansı	0.000835 H
Kanat Açısı	0°	Akı Bağı	0.433 Wb
Optimal KHO	8.4	Atalet (J)	0.01197 kg.m <sup>2</sup>
Optimal Güç katsayısı	0.48	Sürtünme (Viskoz) Katsayısı (B)	0.001189 Nms
Yük	50 $\Omega$	Kutup Çifti	8

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada KMSG içeren değişken rüzgâr hızlarında kullanıma uygun REDS modeli, Tablo 1’de verilen parametreler

üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantıklı yapı üzerinden MGNİ kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kullanılan REDS’ye ait Simulink modeli Şekil 7’de görülmektedir.

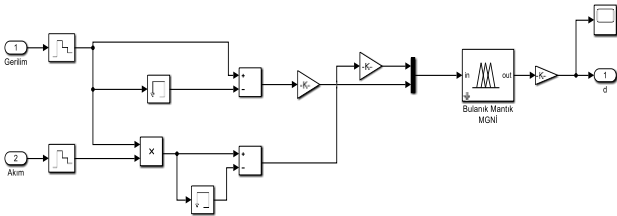


Şekil 7 REDS Matlab/Simulink modeli

Şekil 7’deki modele göre değişken rüzgâra göre rüzgâr türbininden anlık üretilen momentin KMSG’ye uygulanmasıyla generatör çıkışında rüzgarla uyumlu olarak üretilen gerilim, kontrolsüz doğrultucu tarafından doğrultulur ve kırıyıcı devreye aktarılır. Kullanılan bulanık mantık MGNİ bloğu, kırıyıcı devresinin kontrolü için kullanılır. Modelde kullanılan türbin, generatör için hazır bloklardan yararlanılabileceği gibi sistem büyüklüklerin matematiksel modelleri üzerinden de oluşturulabilir. Çalışmada kullanılan yükselten tip (boost) kırıyıcı devresini oluşturan temel elemanların seçiminde kullanılan değerler önceki bölümde verilen eşitliklere göre hesaplanabilir.

Çalışmada MGNİ kontrolüne odaklanıldığından güç katsayısının maksimum değerini elde edebilmek için kanat açısı minimum olacak şekilde  $0^\circ$  olarak alınmıştır. REDS için en uygun KHO’nun değeri  $8.4$  güç katsayısının buna karşılık  $0.48$  olduğu belirlenmiştir. Kullanılan tekniklerle bu parametrelerin anlık değerlerinin bu değerlere yakın değişimler göstermesi verimlilik adına temel hedeftir.

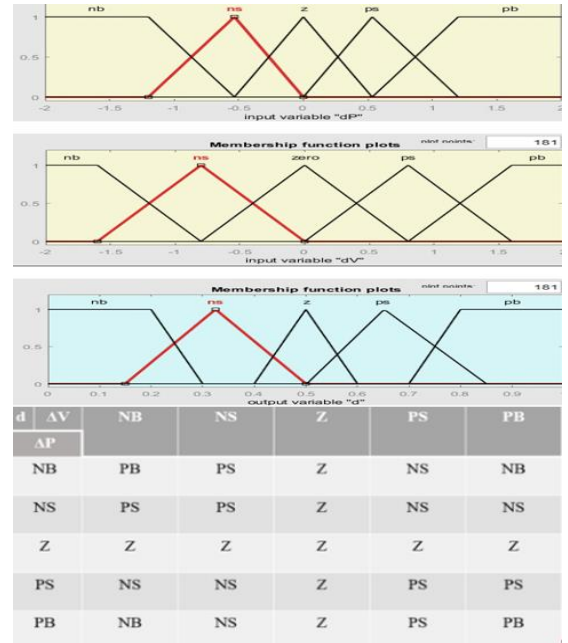
Akıllı yapı MGNİ kontrolü olarak kullanılan bulanık mantık yöntemine göre oluşturulan simulink modeli Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8 Bulanık mantık MGNİ modeli

Şekil 8’deki modele göre giriş değişkenleri olarak kırıyıcı girişinde elde edilen akım ve gerilimlere göre elde edilen gücün değişimi ( $\Delta P$ ) ve generatör geriliminin değişimi ( $\Delta V$ ) seçilmiş, bulanık kontrol yapısının çıkış değişkeni olarak kırıyıcının doluluk oranı alınmıştır. Bu oran daha sonra belirli bir

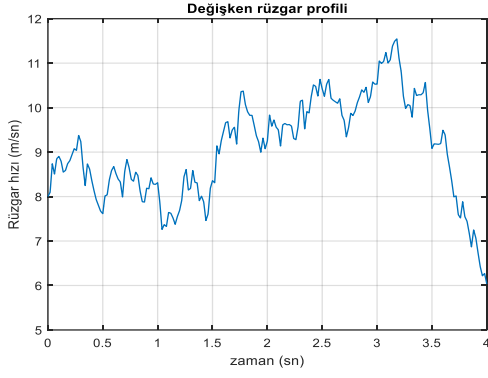
anahtarlama sinyaliyle kırıyıcı devresine anlık uygulanır. Hem değişimleri elde edebilmek hem de modeli optimize edebilmek için farklı bloklardan yararlanılmıştır. Seçilen giriş değişkenleri ve kontrol değişkenine göre bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolü için oluşturulan üyelik fonksiyonları ve kural tabanı Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9 Bulanık mantık üyelik fonksiyonları ve kural tabanı

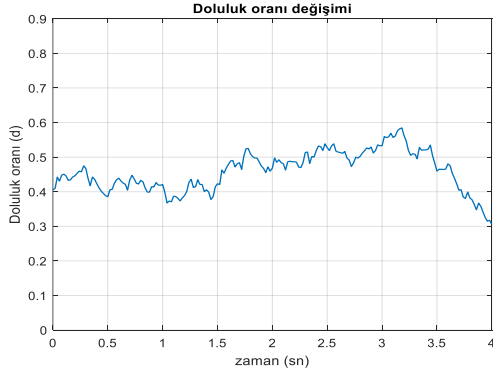
Şekil 9’da Kural tabanında belirtilen değişkenler, NB (Negatif Büyük), NS (Negatif Küçük), Z (Sıfır), PS (Pozitif Küçük), PB (Pozitif Büyük) şeklindedir. Sözel olarak ifade edilen değişkenlere göre trapezoid ve üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Kural tabanı güç ve gerilimdeki değişimlerin negatif ya da pozitif olması ve bu değişimlerin büyüklüğüne göre doluluk oranını artıracak ya da azaltacak şekilde bulanık mantık yapısını çalıştıracak şekilde oluşturulmuştur.

Kullanılan akıllı yapının performansını ölçebilme adına türbin girişinden uygulanan değişken rüzgâr profili Şekil 10’da görülmektedir.



Şekil 10 Değişken rüzgâr profili

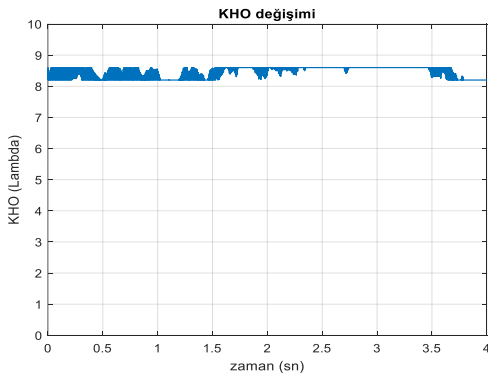
Kullanılan bulanık mantık yapısıyla değişen rüzgâr hızlarına göre doluluk oranındaki değişim Şekil 11'deki gibidir.



Şekil 11 Anlık doluluk oranı değişimi

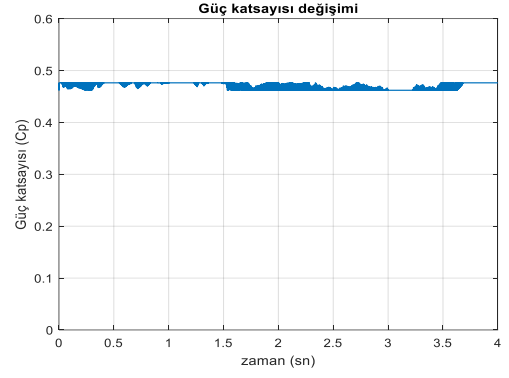
Rüzgâr hızı değişimleriyle uyumlu doluluk oranı değişimi, kontrol yapısı tarafından sağlanmıştır. Değişimler hedeflendiği gibi anlık rüzgâra göre doluluk oranını artırarak ya da azaltarak çalışmaktadır.

Kullanılan kontrolün performansının değerlendirmesinde KHO ve güç katsayılarının değişimi önemlidir. Bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolü için KHO değişimi Şekil 12'de görülmektedir.



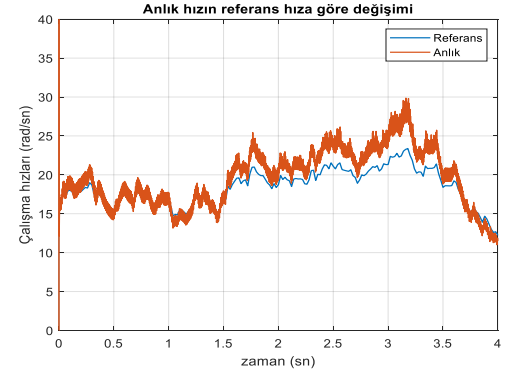
Şekil 12 Bulanık mantık yapısı KHO değişimi

Şekil 12'deki KHO değişimi incelendiğinde referans KHO değeri 8.4 dolaylarında bir değişim elde edilmiştir. Bu değişime göre güç katsayısındaki değişim Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 13 Bulanık mantık yapısı güç katsayısı değişimi

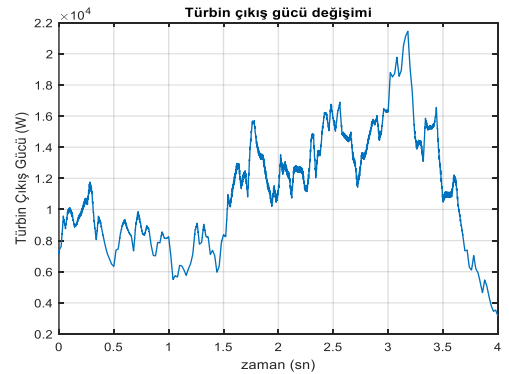
Güç katsayısı değişimi, KHO'daki değişim gibi referans değer 0.48'e yakın bir değişim göstermiştir. Bu da kontrol yapısının değişen rüzgâra göre iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır. Değişen rüzgâr hızlarına göre MGNİ kontrolü, anlık hız kontrolünü sağlayacak şekilde çalışmaktadır. Bulanık mantık yapısı için rotor hızının, hesaplanan referans hıza göre değişimi Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14 Bulanık mantık yapısı rotor hızı değişimleri

Şekil 14 incelendiğinde anlık rotor hızının referans hızdaki değişimlerle uyumlu şekilde değiştiği görülmektedir. Referans hızdaki değişimlerle benzer değerlerde değişim gösteren çalışma hızı, kullanılan tekniğin iyi performansını kanıtlayan başka bir sonuçtur.

Kullanılan bulanık mantık yapısı için türbin çıkış gücü değişimi ise Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15 Bulanık mantık yapısı türbin çıkış gücü değişimi

Şekil 15'te rüzgâr hızındaki değişimlerle uyumlu güç değişimi, kullanılan bulanık mantık yapısının REDS'de MGNİ kontrolü için iyi bir kontrol performansı verdiğini göstermiştir.



## 4. Sonuç

Anlık rüzgâra göre sistem verimliliğinin en üst seviyede tutulması sağlanarak maliyetlerin düşürülmesi, daha uzun ömürlü, daha yüksek seviyede enerji üretimi sağlanabilir. Farklı rüzgâr koşullarına göre REDS'nin verimliliğini ayarlayan MGNİ kontrolü için kullanılabilir birçok teknik olmasına rağmen anlık koşullara kolay uyum sağlayabilen, esnek ve hızlı çalışma imkânı sunan, ek donanım ihtiyacını ortadan kaldırabilme imkânı veren akıllı yapılar son yıllarda öne çıkmaktadır. Bu akıllı yapılardan bulanık mantığı esas alan MGNİ kontrolü, bu çalışmadaki REDS modeliyle analiz edildiğinde verimlilik açısından referans kabul edilen değerlere yakın, kararlı ve verimli çalışmayı sağlamıştır. Sağladığı faydalar hızlı değişimlere maruz kalabilen KMSG'li REDS'ler için maksimum güç kontrolünde bulanık mantık yapısının uygunluğunu kanıtlamıştır.

Bu çalışmada kullanılan yöntem dışında yapay sinir ağları, bulanık-sinir ağı yapıları veya farklı optimizasyon teknikleri gibi akıllı yapılar, başta MGNİ olmak üzere REDS'de farklı kontrol amaçları için kullanılabilirler. Bu çalışmadaki gibi bilgisayar ortamında yapılabilecek modelleme ve analiz çalışmalarıyla REDS'lerle ilgili farklı kontrol çalışmalarına katkı sunulabilir.

## Kaynakça

- [1] Tammaruckwattana, S., Ohyama, K. (2013). Modeling and simulation of permanent magnet synchronous generator wind power generation system using boost converter circuit. *In 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, pp. 1-10.
- [2] Sharma, H. K., Samaria, A., & Gidwani, L. (2017). Designing and performance analysis of controller for PMSG based wind energy conversion system. *In 2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)*, pp. 1-6. IEEE.
- [3] Abbaker, O. (2017). Control of wind turbine for variable speed based on fuzzy-PID controller. *Journal of Engineering and Computer Science (JECS)*, cilt 18(1), pp. 40-51.
- [4] Prajapati, K. R. (2019). Application of fuzzy logic for MPPT control in stand-alone wind energy conversion system with a battery storage system. *In 2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, pp. 1-6.
- [5] Shahi, A., & Bhattacharjee, C. (2018). A study & analysis of fuzzy based P&O MPPT scheme in PMSG based wind turbine. *In 2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, pp. 1-4.
- [6] Tiwari, R., & Babu, N. R. (2016). Fuzzy logic based MPPT for permanent magnet synchronous generator in wind energy conversion system. *IFAC-PapersOnLine*, cilt 49(1), ss.462-467.
- [6] Putri, A. I., Ahn, M., & Choi, J. (2012). Speed sensorless fuzzy MPPT control of grid-connected PMSG for wind power generation. *In 2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, pp. 1-6.
- [7] Ngo, Q. V., Yi, C., & Nguyen, T. T. (2020). The maximum power point tracking based-control system for small-scale wind turbine using fuzzy logic. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, cilt 10(4), pp. 3927-3935.
- [8] Wu, B., Lang, Y., Zargari, N., & Kouro, S. (2011). *Power conversion and control of wind energy systems (Vol. 76)*. John Wiley & Sons, New York.
- [9] Rolan, A., Luna, A., Vazquez, G., Aguilar, D., & Azevedo, G. (2009). Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator. *In 2009 IEEE international symposium on industrial electronics*, pp. 734-739.
- [10] Patel, M. R. (2005). *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. CRC press, New York.
- [11] Percin H.B., Caliskan A. (2020). Modeling And Analysis Of Pitch Angle Control On Variable Speed Wind Turbines, *In 2020 International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC)*, pp. 131-140.
- [12] Sahu, D. (2013). Maximum power extraction for direct driven variable speed wind turbine system using PMSG and fixed pitch angle. *In 2013 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)*, pp. 1-7.
- [13] Abdullah, M. A., Yatim, A. H. M., Tan, C. W., & Saidur, R. (2012). A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, cilt 16(5), ss. 3220-3227.
- [14] Thongam, J. S., & Ouhrouche, M. (2011). MPPT control methods in wind energy conversion systems. *Fundamental and advanced topics in wind power*, (1), ss. 339-360.
- [15] Lee, J., Kim, Y. S. (2016). Sensorless fuzzy-logic-based maximum power point tracking control for a small-scale wind power generation systems with a switched-mode rectifier. *IET Renewable Power Generation*, cilt 10(2), ss.194-202.
- [16] Simoes, M., Bose, B. K., & Spiegel, R. J. (1997). Design and performance evaluation of a fuzzy-logic-based variable-speed wind generation system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, cilt 33(4), ss. 956-965.



# Analysis of Generations' Preferences for Buying Gold Earrings

Ozgenur Tuncer<sup>1\*</sup>, Ufuk Cebeci<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Goldenline Bogazici Hediyeelik Eşya ve El Sanatları San. Ve Tic. A.S, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3440-2561), [ozgetuncer@goldenlinejew.com](mailto:ozgetuncer@goldenlinejew.com)

<sup>2</sup> Istanbul Technical University, Faculty of Management, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4367-6206), [cebeciu@itu.edu.tr](mailto:cebeciu@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.904073)

**ATIF/REFERENCE:** Tuncer, O., Cebeci, U. (2021). Analysis of Generations' Preferences for Buying Gold Earrings. *European Journal of Science and Technology*, (24), 226-234.

## Abstract

Customer satisfaction in product design is the shaping and the creating content of the product according to the expectations and wishes of the customer with the understanding that I can sell the product which I can produce the customer's requests In these days, where competition is increasing, it is extremely important to ensure the design of products that will provide customer satisfaction for businesses to survive and go one step further. For this reason, businesses should realize in studies that will recognize their customers in the target market.

Considering the cost of gold, workmanship, time and the number of competitors in the market, gold jewelry design should be made to meet customer expectations. The study examines the effect of color, carat, model, appearance and figure status variables on the purchasing behavior of different generations by conjoint analysis. This study was conducted with 216 participants from across Turkey is the first study examining the gold jewelry buying behavior of generations.

**Keywords:** Gold Earrings, Generation, Conjoint Analysis, Customer Satisfaction.

## Kuşakların Altın Küpe Satın Alma Tercihlerinin Analizi

### Öz

Ürün tasarımında müşteri memnuniyeti, müşterinin isteklerini üretebilirim satabilirim anlayışı ile ürünün müşterinin beklenti ve isteklerine göre şekillenmesi ve içeriğinin oluşturulmasıdır. Rekabetin giderek arttığı bu günlerde müşteri memnuniyetini sağlayacak ürünlerin tasarımının sağlanması işletmelerin ayakta kalmaları ve bir adım ileriye gidebilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle işletmelerin hedef pazardaki müşterilerini tanıyacak çalışmalar içerisinde bulunmaları gerekir.

Altın takı üretimi yapan firmaların altının maliyeti, işçilik, zaman gibi faktörler ile pazardaki rakiplerinin sayısı değerlendirildiğinde altın takı tasarımının müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Çalışma kuşakların altın küpe tasarımına etki eden renk, ayar, model, görünüm ve figür durumu değişkenlerinin farklı kuşakların satın alma davranışları üzerindeki etkisini konjoint analizi ile incelemektedir. Türkiye genelinden 216 katılımcı ile gerçekleştirilen bu çalışma kuşakların altın takı satın alma davranışlarının incelendiği ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Altın Küpe, Kuşak, Konjoint Analizi, Müşteri Memnuniyeti.

\* Sorumlu Yazar: [ozgetuncer@goldenlinejew.com](mailto:ozgetuncer@goldenlinejew.com)

## 1. Introduction

Businesses that want their customers to be satisfied by meeting the demands and needs of their consumers; have difficulties due to their many competitors and the wide variety of goods and services. For this reason, it is important that companies develop the right strategies depending on the sector they are in. The most important factor to be taken into account in developing strategies correctly is undoubtedly herself of customer. Therefore, the cultural, social, psychological and individual situations of the consumers are effective in determining the strategies of the businesses.

Jewelry is the getting of precious like gold and semi-precious metals and stones into jewelry by processing (Akmermer & Ayyıldız, 2016). The jewelry sector, which is generally passed on from father to son, is an important sector with its deep-rooted history and contributions to the country's economy. Turkey was ranked ninth in gold jewelry exports in 2018. In 2019, according to TUIK data, gold jewelry exports of 5 billion US dollars were realized. (Mücevherat Sektör Raporu, 2020). It has average of 5,000 manufacturers and 35,000 retail shops in this sector. The Center of production in Turkey is Istanbul and also manufacture is realized in high amounts in Ankara and Izmir (Mücevherat Sektör Raporu, 2020). The changing demands and needs of consumers and the excess of competitors in this sector increase the competitive environment. It is seen that gold jewelry producers do works in this field after 2000 by starting to pay more attention to customer demand and needs in order to avoid this intense competition.

It is necessary to examine how people consume according to their some characteristics to be evaluated the consumers in a healthier and more objective way. Generations are communities formed by individuals who gathered around common thought and behavior patterns. Individuals in the same generation witness the same technological developments, social advances, problems and economic changes. Howe and Strauss (2009) argue that individuals of the same generation born in the same time period will display a common buying and consumption behavior. Depending on this view, generations are considered as an important factor to be examined on the purchasing behavior of consumers (Bayrakdaroğlu & Özbek, 2018). Businesses use generations in order to determine their target customers, reach customers more easily and divide the market (Özden, 2019). In studies which do on gold jewelry consumers, trying to discover customers over generations will enable to develop more consistent marketing strategies of business by giving a different perspective to business.

There are some differences in terms of purchasing behavior between generations. In the period of Generation X (1965-1979), ruler of the market is producers and there is mass production (Altuntuğ, 2012). They are hesitant about shopping online (Bahçivan, 2019). They prefer to shop by seeing, tasting and bargaining. They are reluctant to try new products and services and are willing to shop from brands they know (Aslan, 2019). The transition of sovereignty from producer to consumer was provided with Generation Y (1980-1999). Easy access to information and questioning attitudes of generation Y individuals forced sellers to be honest (Altuntuğ, 2012). Also with the effect of globalization, an orientation towards different, private and personal consumption has been provided. Generation Y individuals, on the other hand, display an undecided attitude in

their purchasing decisions. However, generation Y consumers who actively use mobile technology and social media generally adopt online shopping (Bahçivan, 2019). They are willing to try new products or services. They like it hard, but they get bored quickly and give up (Aslan, 2019). Results of the survey conducted by Barkley, one of the leading independent marketing agencies in America, with more than 5000 young participants in August 2011; revealed the differences of generation Y from previous generations in marketing, traveling, clothing, eating and drinking habits, especially the use of social media and technology (Tükel, 2014). Generation Z (2000 and later) individuals are the consumer mass of the future; they are individuals who want to buy and consume every product which they want immediately (Altuntuğ, 2012). Since generation Z consumers, who actively use technologies such as smartphones, tablets and computers, have the purchasing power in their hands in recent years, importance of the e-commerce concept has increased (Bahçivan, 2019).

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

It is possible to obtain very different designs according to the consumer preferences and the imagination of the designers in the models designed as gold earrings. These differences occur due to the different qualities which product has and are taken into account by people. The main characteristics that make up the differences are the variables of color, carat, model, appearance, figure, and size.

The color of pure gold, which is obtained from nature and not mixed with other elements, is yellow. As a result of mixing pure gold with the element of silver, an alloy of green gold is obtained. In people's perception, mostly green gold is known as yellow gold. While a result of plating the alloy of nickel and platinum elements and pure gold with rhodium, white gold is obtained; by adding copper predominantly into pure gold, rose (pinkish) gold is obtained. It is possible to obtain different design models by using these colors alone or together (Altında Fırsat, 2018).

Since pure gold has a soft feature in jewelry, it is used in the production of gold jewelry by forming an alloy with precious auxiliary metals. The purity of alloys is expressed with carat or miliem in jewelry. Pure gold is considered to be 24K (1000 milliemi). The value of purity decreases as the carat approaches towards zero with the addition of additives.

Gold earrings can be classified in various ways such as circle model earrings, dangly model earrings, mini model earrings.

In the design of gold earrings, besides simple earrings, patterned can design be made with a pencil, which we can express as patterned, the design can be differentiated with different stones, or designs in different colors can be obtained by enameling.

In gold earrings, depending on preference different figures such as hearts, stars, flowers and infinity signs can be used; as well as simple designs without figures can be created.

The sizes of the earrings and figures of the earrings vary depending on the design.

Based on all these qualities, gold earrings which have different models, colors, carats, looks and figures create the

main material of the study. In order to evaluate the purchasing decision of the gold earrings, the gold earring models produced by Goldenline Jewelry Company were examined and according to these models and the opinions of the employees, the factors that will affect the purchasing decision were determined. Accordingly, the factors to be evaluated in the study are color, carat, model, figure status and appearance.



Figure 1. Gold Earrings Sample Photos (Runda, 2021)

## 2.2. Method

A wide variety of methods are used to determine the preferences of consumers in market researches. One of these methods is conjoint analysis, which provides clear and objective numerical results to researchers. Therefore, in the study, it was decided to use conjoint analysis to evaluate the factors affecting the gold earring purchasing preferences of the generations.

### 2.2.1. Conjoint Analysis

Conjoint analysis is a statistical method that at the purchasing stage, enables the determination of the combination that will provide the most benefit for the consumer from factors which product or service has and to determine the most preferred factor levels on that product or service (Çevik & Yiğit, 2011). It is an analysis that enables to estimate the common effect of a group of independent variables that measure the characteristics of a product or service on the dependent variable that measures consumers' preferences (Bodog & Florian, 2012). The first studies of conjoint analysis were carried out in the 1920s. In 1971, the first consumer-focused study was carried out by Paul Green and Vithala R. Rao (Çevik & Yiğit, 2011). Conjoint analysis, which has been used in many fields such as retail, health, mobile technologies and automotive, is one of the preferred multivariate analysis techniques to determine consumer behavior (Turanlı, Taşpınar Cengiz, & Işık, 2013). Conjoint analysis enables quantitative comparison of qualities by transforming factors that are not expressed numerically such as color and brand into data that can be expressed numerically (Çevik & Yiğit, 2011).

Conjoint analysis is carried out in four stages: determining the independent variables and their levels, creating scorecards for these levels with orthogonal design, ranking or scoring the cards according to participant preferences, and finally finding and interpreting the benefit coefficients by applying conjoint analysis.

### 2.2.2. Application of Conjoint Analysis

There are many criterias in designing a gold earring. Buyers get hard to consider all these criteria when they make a purchasing decision. Therefore, it was aimed to estimate the benefit values for the buyers by utilizing the criteria that are important in the decision to buy gold earrings with conjoint analysis and the levels of these criteria. In this study, a questionnaire form was applied to 220 participants through the internet and face to face in two ways. As the sampling method,

convenience sampling, which is one of the non-random sampling methods, was used because of time constraints. The research was conducted with participants from across Turkey.

Since the number of factors that can affect the decision which people buy gold earrings and the numbers of levels belonging to these factors are high, the factors and levels of these factors to be used in the research were determined by examining the models which are manufactured in Goldenline Jewelry Company and by benefiting from the opinions of the manufacturers there. As it becomes difficult for participants to answer the questionnaire when the number of combination is too high, the least possible factor was chosen for the study. Accordingly, the variables and levels of color, carat, model, appearance and figure status are independent variables, and the gold earring purchasing behavior of consumers constitutes the dependent variable. The independent variables and levels of these independent variables determined in the study are shown in Table 1.

Table 1. Independent Variables and Their Levels

Color	Carat	Model	Figure Status	Appearance
One - color	10K	Eardrops	Figured	Simple
Two - color	14K	Hoop Earrings	No figure	Patterned
Three - color	18K	Tiny Earrings		Stony
	22K			

While conjoint analysis is being applied, it is necessary determining the type of relationship between the factor and the preference order of the scorecards levels examined in the SPSS statistical package program. Both continuous and categorical variables can be used to measure the attributes involved in the analysis (Bodog & Florian, 2012). If the preferability increases when the factor levels increase, it is called a linear increasing model, and if the preferability decreases when the factor levels increase, it is called a linear decreasing model. If there is a categorical relationship between factor levels, they are discrete models. It was found appropriate that all of the factors preferred in the study are evaluated as discrete.

In our study, the partial utility model was chosen since the direction of the relationship between the levels of the variable determined as the preference model and the preference scores could not be determined.

One of the data collection methods in conjoint analysis is the full profile method. In the full profile method, participants are given cards containing all sub-factor combinations related to the product or service. It is wanted that the participants should score their favorites with a high score or rank with the best card in such a way that first rank by evaluating the sub-factor combinations on these cards. When all sub-factors are evaluated together, it is more likely to reach more meaningful results (Güngör & Özdemir, 2009). In this study, the full profile method was preferred as the data collection method.

The reduced design model was used in selecting the data collection design. Because there are five independent variables accepted in the full factorial design and these independent

variables have 3, 4, 3, 3, 2 levels, respectively. Accordingly, 3x4x3x3x2; In other words, 216 election cards are formed. It is very time-consuming for participants to analyze and evaluate 216 selection cards; it is not even possible in some cases. Therefore, the reduced design has been chosen. Orthogonal design has been used in obtaining the reduced design model. Thus, 216 score selection cards were reduced to 16. The reduced

design can also be generated randomly. However, the most appropriate method for the design to be effective and balanced is the orthogonal design method. In the study, orthogonal design was obtained by using SPSS 22.0 package program. The score cards created are shown in Table 2. Earring samples presented to the participants in the questionnaire to form an opinion are given as an attachment.

Table 2. Scorecards Obtained with SPSS 22

Card No	Color	Carat	Model	Figure Status	Appearance
1	Three – color	18K	Eardrops	No figure	Stony
2	Two – color	10K	Eardrops	Figured	Patterned
3	One – color	18K	Hoop Earrings	No figure	Patterned
4	Two – color	14K	Tiny Earrings	No figure	Stony
5	One – color	14K	Eardrops	No figure	Patterned
6	One – color	22K	Eardrops	Figured	Stony
7	Two – color	22K	Hoop Earrings	No figure	Simple
8	One – color	10K	Hoop Earrings	Figured	Stony
9	Three – color	10K	Eardrops	No figure	Simple
10	Three – color	22K	Tiny Earrings	Figured	Patterned
11	One – color	14K	Eardrops	Figured	Simple
12	Two – color	18K	Eardrops	Figured	Simple
13	One – color	22K	Eardrops	No figure	Simple
14	Three – color	14K	Hoop Earrings	Figured	Simple
15	One – color	10K	Tiny Earrings	No figure	Simple
16	One – color	18K	Tiny Earrings	Figured	Simple

### 3. Results and Discussion

Conjoint analysis survey is applied to 220 participants in Turkey; and in study, it was decided to use data of 216 participants from X, Y and Z generations. The results of the other 4 participants were not found appropriate because they do not belong to the X, Y and Z generations. Consumers' decision-making styles are affected by demographic characteristics such as age and gender. Stating the demographic characteristics of these participants will be useful in interpreting the analysis results. Accordingly, 78% of the participants in the study are women and 22% are men. In addition, 25% of these participants include individuals belonging to the X generation, 51% to the Y generation and 24% to the Z generation. The data of the

participants regarding gender and age distributions are shown in Table 3.

Table 3. Gender and Age Distribution of the Participants

	Gen.X	Gen.Y	Gen. Z	Total
Woman	37	90	41	168
Man	17	21	10	48
Total	54	111	51	216

When the education levels of the respondents are examined, it is seen that the ratio of high school graduates and university graduates are high. In Figure 2, the distribution of the the education levels of the participants is given.

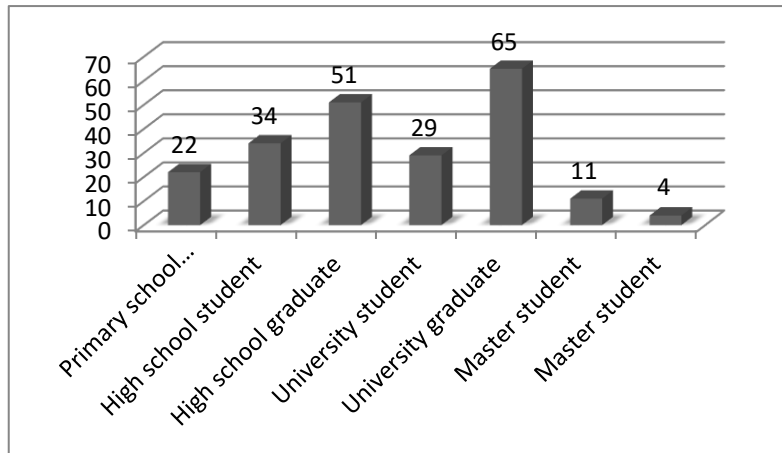


Figure 2. Educational Levels of Participants

The analysis of the research data was achieved in SPSS 22.0 package program with the help of the syntax instruction module.

Table 4. Conjoint Analysis Results Regarding the General Model

Factor	Level	Average Weight	Utility coefficient	Standard error
Color	One – color	31,441	0,728	0,489
	Two – color		0,675	0,573
	Three – color		-1,404	0,573
Carat	14K	21,046	-0,245	0,635
	10K		-0,675	0,635
	18K		0,168	0,635
	22K		0,752	0,635
Model	Eardrops	15,567	0,025	0,489
	Tiny Earrings		-0,540	0,573
	Hoop Earrings		0,515	0,573
Figure Status	Figured	12,051	0,409	0,367
	No figure		-0,409	0,367
Appearance	Simple	19,894	0,783	0,489
	Patterned		-0,566	0,573
	Stony		-0,217	0,573
Constant			8,116	0,423
Pearson's R		0,852	(p=0,000)	
Kendall's tau		0,683	(p=0,000)	

When Table 4, which includes the results of the general model, is examined, it is seen that the participants in the survey pay attention to the color factor with an average weight of 31,441 when purchasing gold earrings. When the benefits of the color factor are examined, the order of importance in terms of contribution to the total benefit was realized as one color, two colors and three colors. In other words, the participants mostly prefer to buy gold earrings with one color.

The second important factor influencing the decision to buy gold earrings is the carat of gold. Accordingly, when the utility coefficients are examined, it is seen that 22K is preferred at most and at least 10K is preferred.

The third factor is the appearance. For the participants, according to the benefit coefficients, simple gold earrings are most preferred. Then the models with stones, and finally the models which have pattern done with pencil on the surface, affect the purchasing decision.

The model of the gold earring with an average weight of 15,567 affects the purchasing decision as the fourth. The order of

importance in terms of contributing to the total benefit is hoop earrings, eardrops and tiny earrings.

Finally, the least influencing factor is the figure status with an average weight of 12,051. When the benefit coefficients are examined according to the answers given by the participants, figured models are preferred more than those without figures.

The rate of compliance of the established model with the preferences of the participants was 85.2% according to Pearson's R test; According to the Kendall's Tau test, it was determined to be 68.3%. It can be said that there is a positive and significant relationship between the established conjuncture model and the observed results.

The conjoint model obtained:

$$\text{Benefit} = 8,116 + \text{Color} + \text{Carat} + \text{Model} + \text{Figure Status} + \text{Appearance}$$

According to the model, when the utility values are substituted, the card with the highest benefit is card number 12. The least useful card is the score card given with number 1.

Table 5. Conjoint Analysis Results for Generation X

Factor	Level	Average Weight	Utility coefficient	Standard error
Color	One – color	27,006	0,049	0,525
	Two – color		0,860	0,616
	Three – color		-0,909	0,616
Carat	14K	27,359	-0,588	0,682
	10K		-0,838	0,682
	18K		0,472	0,682
	22K		0,954	0,682
Model	Eardrops	20,255	0,515	0,525
	Tiny Earrings		-0,811	0,616
	Hoop Earrings		0,296	0,616
Figure Status	Figured	16,614	0,544	0,394
	No figure		-0,544	0,394
Appearance	Simple	8,766	0,210	0,525
	Patterned		-0,364	0,616
	Stony		0,154	0,616
Constant			8,306	0,455
Pearson's R		0,820	(p=0,000)	
Kendall's tau		0,561	(p=0,001)	

The results of the conjoint analysis of the factors that affect the decision of individuals of generation X to purchase gold earrings are shown in Table 5. According to the analysis results in Table 5, the factors affecting the purchasing decision of the X generation individuals are the carat, color, model, figure status and appearance, respectively. Accordingly, while individuals of the X generation are purchasing gold earrings, they give importance to the most carat of the earring and least its appearance.

When the benefit coefficients of the X generation individuals born between 1965-1979 are examined, in terms of the carat factor, they want to buy most 22K least 10K gold earrings. When evaluated in terms of color factor, it is seen that the most preferred two-color with 0.860 benefit coefficient. Then one-color and three-color models are preferred. In terms of the

third affecting model factor with an average weight of 20,255, the eardrops models have the highest benefit coefficient. The fourth factor is figure status. Individuals of the X generation prefer figured model earrings rather than unfigured models. Finally, in terms of the appearance factor, simple gold earrings with a benefit coefficient of 0.210, stony with a utility coefficient of 0.154 and patterned gold earrings with a utility coefficient of -0.364 are appreciated by the X generation.

The rate of compliance of the established model with the preferences of the participants is 82% according to the Pearson's R test; According to the Kendall's Tau test, it was determined to be 56.1%. It can be said that there is a positive, significant, good relationship between the established conjuncture model and the observed results.

Table 6. Conjoint Analysis Results for Generation Y

Factor	Level	Average Weight	Utility coefficient	Standard error
Color	One – color	37,616	1,002	0,528
	Two – color		0,638	0,619
	Three – color		-1,639	0,619
Carat	14K	17,677	-0,354	0,686
	10K		-0,615	0,686
	18K		0,342	0,686
	22K		0,626	0,686
Model	Eardrops	16,009	-0,456	0,528
	Tiny Earrings		-0,211	0,619
	Hoop Earrings		0,667	0,619
Figure Status	Figured	5,261	0,185	0,396
	No figure		-0,185	0,396
Appearance	Simple	23,436	0,998	0,528
	Patterned		-0,647	0,619
	Stony		-0,352	0,619
Constant			8,114	0,457
Pearson's R		0,863	(p=0,000)	
Kendall's tau		0,667	(p=0,000)	

Generation Y individuals borned between 1980-1999 pay attention to the color of gold with an average weight of 37,616 when purchasing gold earrings. This is followed by the appearance with an average weight of 23,436, the carat with an average weight of 17,677, the model with an average weight of 16,009 and finally the figure status with an average weight of 5,261.

In terms of color factor, one-color, two-color and three-color models are preferred, respectively. According to the appearance factor, it is desired to buy the most simple and the least patterned models. In terms of the carat factor, it is seen that the utility

coefficient decreases from 22K to 10K. When the levels of the model factor are examined, hoop earrings, tiny earrings, and eardrops are preferred, respectively. Finally, figured models have more utility coefficients than non-figured models.

The rate of compliance of the established model with the preferences of the participants is 86,3% according to the Pearson's R test; According to the Kendall's Tau test, it was determined to be 66,7%. It can be said that there is a positive, significant, good relationship between the established conjuncture model and the observed results.

*Table 7. Conjoint Analysis Results for Generation Z*

Factor	Level	Average Weight	Utility coefficient	Standard error
Color	One – color	27,432	0,853	0,448
	Two – color		0,561	0,526
	Three – color		-1,414	0,526
Carat	14K	17,497	0,353	0,582
	10K		-0,632	0,582
	18K		-0,534	0,582
	22K		0,814	0,582
Model	Eardrops	18,416	0,552	0,448
	Tiny Earrings		-0,970	0,526
	Hoop Earrings		0,417	0,526
Figure Status	Figured	18,209	0,752	0,336
	No figure		-0,752	0,336
Appearance	Simple	18,446	0,922	0,448
	Patterned		-0,603	0,526
	Stony		-0,319	0,526
Constant			7,918	0,388
Pearson's R		0,910	(p=0,000)	
Kendall's tau		0,717	(p=0,000)	

According to the participants belonging to Generation Z, although there is no big difference between the average weights in the decision to purchase gold earrings, the color, appearance, model, figure status and carat factors affect the purchasing decision, respectively.

When the generation Z individuals are evaluated according to the utility coefficients, one-color models in terms of color factor; then are preferred two and three color models. According to the appearance factor which is second important; most simple models, least patterned models that are created with a pencil process on the surface are preferred. As a model, eardrops, hoop earrings and tiny earrings are preferred. Figured models are required more than those without figures. Also, in terms of carat factor, it is preferred to buy 22K, 14K, 18K and 10K gold earrings, respectively.

The rate of compliance of the established model with the preferences of the participants is 91% according to the Pearson's R test; According to the Kendall's Tau test, it was determined to be 71,7%. It can be said that there is a positive, significant, high relationship between the established conjuncture model and the observed results.

Finally, the differences between male and female participants were examined in the study. According to these results, while the most important factor affecting the purchasing decision for women is the color of gold, for men it is the carat of

gold. When the benefit coefficients of women are examined, they prefer 22K, 14K, 18K and 10K, respectively, while men prefer 22K, 18K, 14K and 10K. Both gender groups stated that they would buy one color, simple, figured and eardrops.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

Exclusive and luxury products like gold jewelry; despite their high prices, it is demanded by many people around the world for various purposes such as looking good, investing, giving gifts (Pongyeela, 2012). The fact that there is still demand for gold jewelry causes the protection of its high price for a long time and the creation of a competitive environment among the manufacturers. Companies should take into account the needs and wishes of their customers in order to survive in this competitive environment and to continue their existence successfully. It is important to constantly increase the value of the product offered to the customer and to determine the trend by regularly following the customer's needs (Nasir, Deveciyan, & Yurder, 2020). According to the study of Nasir et al. (2016) conducted with 1019 employees in the jewelry industry, it was concluded that the customer product preferences changed over time. It has been observed that customers always tend to seek new products and services, and the needs and expectations regarding the product of new customers differ from the needs and expectations of their current customers.



Various demographic characteristics such as gender, age, education level, and city of residence should be paid attention in the studies to be carried out to determine customer needs. Another factor that can reveal the differences between customer needs is generations. Generations can exhibit different behaviors depending on the periods they live in. As well one of these differences is seen in purchasing behavior. Cetin (2017) supported the idea that there should be different marketing strategies for certain age ranges in his study. Foulkes (2016), in his study comparing the luxury perceptions of X and Y generation consumers in the UK, concluded that the generation Y customers in the UK tend to have more luxury brands than those of the X generation and they see this as a social status (Kahraman & Dağlı, 2019).

Conjoint analysis is used in consumer research to examine people's product preferences (Poortinga, 2002). In this study, the differences between the gold earring purchasing preferences of the X, Y and Z generations were examined by conjoint analysis. The independent variables of color, carat, model, appearance and figure status, which are thought to have the greatest effect on gold earring buying behavior, were accepted as factors. There are three sub-levels for the color factor: one - color, two - color, and three - color. The carat factor represents the material aspect of purchasing behavior. And it is handled in four sub-levels as 10K, 14K, 18K, and 22K. In terms of the model factor, the models are divided into three classes as eardrops, hoop earrings and tiny earrings. The appearance of the models has three sub-levels such as simple, stony or patterned. Finally, the figure status independent variable is divided into two sub-levels according to whether it contains figures or not. With orthogonal design, 16 design cards containing these factors and sub-factors were evaluated by presenting to the participants in the conjoint questionnaire. After the answers of the participants were ranked from 1 to 16, the conjoint analysis was performed with the syntax module in the SPSS 22.0 package program. The study is important in that it is the first study in the world to examine the differences in gold purchase behavior of generations.

According to survey results which are answered 216 participants over Turkey; color, carat, appearance, model and figure status respectively affect to the purchase of gold earrings. Consumers generally prefer one color, 22K, simple, figured hoop earrings.

When the data of the participants are evaluated according to the generations they belong to, the factors that affect the purchase decision of Generation X are carat, color, model, figure status and appearance according to their average weight. Individuals of the X generation mostly prefer earrings in two colors, 22K, figured, simple, and eardrops. Color, appearance, carat, model and figure status respectively are important for Y generation individuals. Individuals of this generation mostly prefer one color, 22K, simple, figured, hoop earrings. The factors affecting the purchasing behavior of the generation Z individuals borned in 2000 and after are color, appearance, model, figure status and carat, respectively. When levels belonging to the factors were evaluated, it was concluded that they mostly preferred one color, 22K, simple, figured, eardrops.

When the results are evaluated, the carat factor representing the financial aspect for the individuals of the X generation is in the first rank in the purchasing decision, the third for the Y generation and the last for the Z generation. Accordingly, as the

generation gets younger, the aim of getting gold earrings can be interpreted that it focuses on the design of gold rather than investment. It was concluded that the color factor generally has high effect and whether the gold earring has a figure or not has a low effect on the purchase.

When the analysis according to the gender variable is repeated, the most important factor affecting the purchasing decision for women is the color of gold, while for men is the carat of gold. While women prefer 22K, 14K, 18K and 10K, respectively, the preference decreases from 22 to 10 for men. Both gender groups stated that they would buy one color, simple, figured and eardrops.

According to the results of the study in which Gungor and Ozdemir (2009) examined the jewelry purchasing preferences of working women with conjoint analysis, women attach importance to the company that produces the most jewelry. This is followed by the stone used in jewelry, the model of the jewelry, the carat of the jewelry and the price of the jewelry. According to the factors they examined, they prefer lower-priced 14K jewelry rather than 18K and 22K. In this study carried out in 2021, the carat factor is the second important factor among the factors evaluated. And the majority of participants prefer gold earrings with 22K.

According to the study of Sultana et al. (2015) realized with 60 customers who the majority of whom are housewives between the ages of 34 and 41 in the Dhaka New Market in Bangladesh, people usually prefer to buy 22K. In addition, 48% of the participants prefer simple gold jewelry among the simple gold jewelry, colorful jewelry, stone jewelry and trendy jewelry available in the market. These results are similar to the results of our study.

This study was carried out on a gold earring, considering the ease of classification. The study can be repeated for different product groups (such as bracelet, necklace, ring). In the study, factors were kept low in order to make it easier for the respondent to answer. The study can be repeated by increasing the number of these factors. In addition, another study can be made for white gold, green gold, rose gold colors by including more specific expressions for the color factor. Finally, gold earrings with enamel were not included in the study. A study including enameled products can also be carried out to be evaluated in the new designs of the manufacturer.

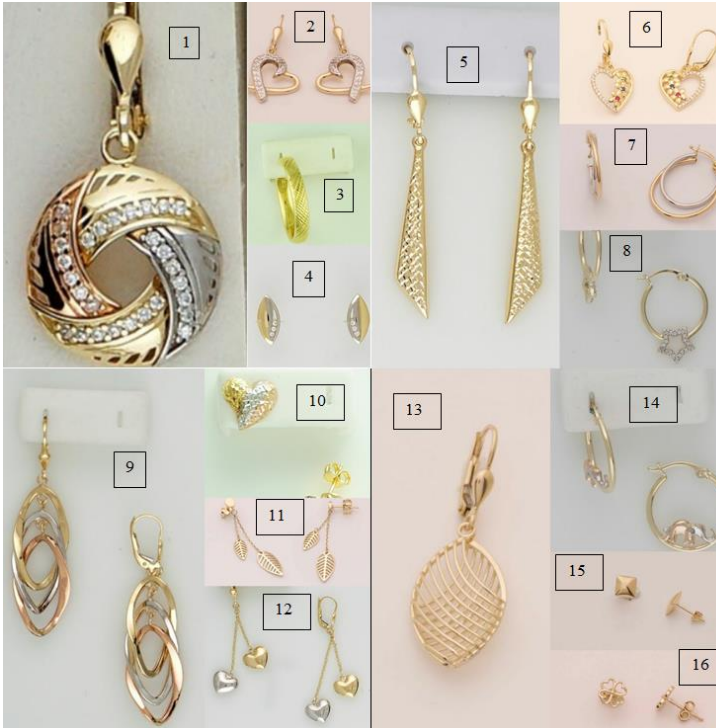
## **5. Acknowledge**

I would like to thank Mesut Abdik, Huseyin Abdik, Caner Akkoyunlu, Selcuk Ozer, Kubra Ates and all other employees from Goldenline Jewelry Company for their support during the study and to the other participants provided to reveal this study by participating to this survey.

## References

- Akmermer, B., & Ayyıldız, H. (2016, Haziran). Kuyumculuk Sektörünün Porter'ın Beş Güç Modeli İle Rekabetçilik Analizi: Tranzon İli Örneği. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(11), 47-68.
- Altında Fırsat. (2018). 2020 tarihinde <https://www.altindafirsat.com/altin-renkleri-nasil-belirlenir/> adresinden alındı
- Altuntuğ, N. (2012). Kuşaktan Kuşağa Tüketim Olgusu ve Geleceğin Tüketici Profili. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 203-212.
- Aslan, B. (2019). Perakende Alımlarında X, Y ve Z Kuşaklarının Satın Alma Lokasyonlarını Tercih Etme Sebeplerinin İncelenmesi. *Tez Çalışması*. İstanbul.
- Bahçıvan, G. (2019). Preference of Online and Offline Shopping Place; A Comparison of Y and Z Generations. *Tez Çalışması*. İstanbul.
- Bayrakdaroğlu, F., & Özbek, Ç. (2018). Kadınların Tüketim Alışkanlıklarının Kuşaklararası Boyutu. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, 19(42), 1-12.
- Bodog, S., & Florian, G. (2012, May). Conjoint Analysis in Marketing Research. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(1), 19-22.
- Çetin, M. (2017, Aralık). Satın Alma Davranışlarını Etkileyen Faktörlerin Tüketici Tercihlerine Etkisi: Katılım Bankacılığı Araçları Üzerine Bir Araştırma Karaman İli Örneği. Konya.
- Çevik, O., & Yiğit, A. (2011). Konjoint Analizi ile Ofis Mobilyası Tüketicilerinin Tercihlerinin Belirlenmesi. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 13(20), 105-110.
- Güngör, M., & Özdemir, M. (2009). Çalışan Bayanların Takı Satın Alma Tercihleri ve Konjoint Analiz Yönteminin Uygulanması. 1. Uluslararası Katılımlı Mücevher-Takı Tasarımı ve Eğitimi Sempozyumu, (s. 32-40). Aydın.
- Kahraman, M., & Dağlı, S. (2019). Marka Algısı, Müşteri Memnuniyeti ve Marka Tercihi İlişkisinin X ve Y Kuşağına Göre İncelenmesi. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 3(2), 381-398.
- (2020). *Mücevherat Sektör Raporu*. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, Ankara.
- Nasir, S., Deveciyan, M., & Yurder, Y. (2020). *Kuyumculuk Sektöründe İşletmelerin Pazar Odaklı Stratejilere Yönelik Tutumları*. İstanbul: İstanbul Kuyumcular Odası.
- Özden, A. (2019). Pozitif Algının ve Tüketici Karar Verme Tarzlarının Y ve Z Kuşakları Açısından Karşılaştırılması. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 5(1), 1-20.
- Pongyeela, A. (2012). The Decision Making Process of Jewelry Buyers in Thailand. *Procedia Economics and Finance*, 3, 188-192.
- Poortinga, W. (2002). Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology*, 49-64.
- Runda. (2021). Şubat 19, 2021 tarihinde <https://rundajewelry.com/collections/kupe> adresinden alındı
- Sultana, M., Siddique, P., & Islam, S. (2015). Factor Analysis of Consumer Behaviour in Jewellery Business: An Empirical Study on Bangladesh. *European Journal of Business and Management*, 7(5), 79-84.
- Turanlı, M., Taşpınar Cengiz, D., & Işık, M. (2013). Konjoint Analizi ile Gazete Tercihlerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*(19), 1-26.
- Tükel, İ. (2014, Kasım). Tüketicinin Yeni Aktörleri: "Y Kuşağı". *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar Elektronik Dergisi*, 1-22.

## Appendix





# Design and Realization of Online Auto Tuning PID Controller Based on Cohen-Coon Method

Ali Egemen Taşören<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Hacettepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8711-2010), [taliagemen@gmail.com](mailto:taliagemen@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.897727)

**ATIF/REFERENCE:** Taşören, A. E. (2021). Design and Realization of Online Auto Tuning PID Controller Based on Cohen-Coon Method. *European Journal of Science and Technology*, (24), 235-239.

## Abstract

In this paper, a controller which is capable of automatically obtaining proportional integral derivative (PID) parameters using Cohen-Coon tuning method is developed and tested on a real system consisting of an L298N circuit and a 1.1W brushless DC motor. The main purpose of this paper is to propose a fast, portable, and model-independent automatic controller. ATmega2560 microcontroller is programmed as a PID controller and a Raspberry Pi programmed to collect, compute, send and receive data from ATmega2560 through serial communication. Finally, the system is proven for its performance with satisfactory results.

**Keywords:** PID, Parameter Tuning, Serial Communication.

## Cohen-Coon Tabanlı Otomatik Ayarlayıcılı Online PID Denetleyici Tasarımı ve Gerçeklenmesi

### Özet

Çalışmada, Cohen-Coon yöntemini kullanarak otomatik olarak Oransal-İntegral-Türevsel (PID) katsayılarını elde eden denetleyici tasarlanır, L298N devresi ve 1.1 W fırçasız doğru akım motoru içeren gerçek sistemde test edilir. Çalışmada hızlı, taşınabilir ve modelden bağımsız bir otomatik denetleyici önerilir. ATmega2560 mikrodenetleyici PID denetleyici olarak programlanır. ATmega2560 seri haberleşme aracılığıyla veri eldesi, işleme ve gönderimi için programlanmış Raspberry Pi ile haberleşir. Önerilen sistemin performansı, yapılan testler ile kanıtlanır.

**Anahtar Kelimeler:** PID, Parametre Ayarlama, Seri Haberleşme.

# 1. Introduction

Proportional-Integral-Derivative (PID) is a prominent linear controller, nearly 95% of industrial processes are controlled by them and most of them are implemented on microcontrollers (Åström & Hägglund, 1995). PID controllers are easy to set up for most systems and they can be used for several different control systems applications namely speed, position, or temperature control (Ogata, 2010). Although PID controllers have only three parameters, the proper approach has to be applied. Without using the appropriate PID parameters, desired control conditions cannot be obtained (Skogestad, 2003). To obtain appropriate PID parameters, Ziegler-Nichols (Ziegler & Nichols, 1942) and Cohen-Coon (Cohen & Coon, 1953) tuning methods are generally used. However, there are several types of PID tuning methods in literature (Sheel & Gupta, 2012). A study on comparing conventional PID tuning methods is recently published and Cohen-Coon method is found to be the best performing among compared methods (Taşören, Örenbaş, & Şahin, 2018).

Tuning a PID controller manually takes the time and effort of the system operator. To minimize human interaction with PID controllers, Automatic Tuning Methods have been developed (Astrom & Hagglund, 2006). Using these methods with MATLAB, a model dependent Adaptive Automatically Tuning PID Control for Vertical Take-off and Landing module has been simulated (Taşören, Gökçen, Şahin & Soydemir, 2020). Also, a comparison has been made for various Auto-Tuning methods are proposed (Hang & Sin, 1993).

The main aim of this paper is to design and realize an open-source model independent online automatically tuning PID controller based on Cohen-Coon tuning method to obtain feasible PID parameters. The design also will be portable, versatile and open sourced [<https://github.com/taliegemem/PID-Autotuner>].

In this paper, designed hardware and software which are used to automatically tune a BLDC system using the Cohen-Coon method has online properties, which aims to quickly tune a plant with close to no human interaction. A brief explanation of the hardware and software of the system that's used to create Automatic Tuner is, information about finding proper tuning parameters for Cohen-Coon without using any transfer function, and the algorithm of the system, and performance information about the Automatic Tuner system is given in Section 2. The third section includes discussions about the obtained results meanwhile the fourth section concludes the paper also offers topics for future research.

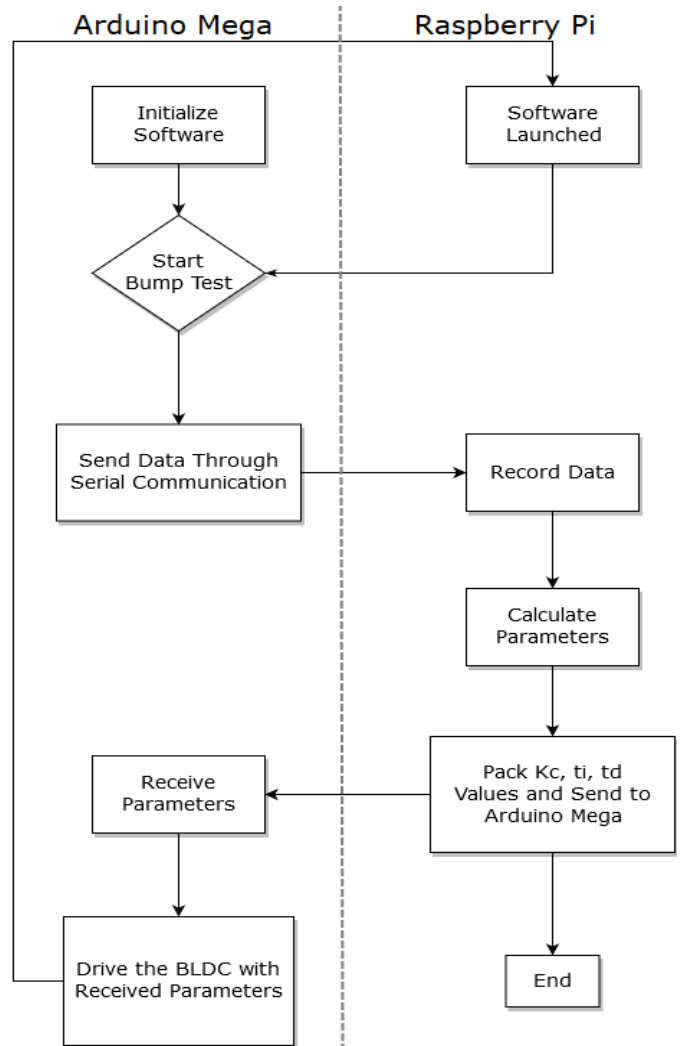
## 2. Description of Setup

### 2. 1. Hardware Design of Plant

The designed test plant consists of a Raspberry Pi 3B+ (A computer which has a 1.4 GHz quad-core processor and 1 GB LPDDR2 SDRAM) with Ubuntu Mate 16.04 operating system, an ATmega2560 based microcontroller unit (Arduino Mega) which is programmed as a PID Controller, an L298N h-bridge transistor circuit and a Maxon 344515 BLDC Motor with Encoder and 1:16 reducer.

Since there can be an interruption from the operating system of Raspberry Pi, it cannot be used as a standalone PID Controller also, an Arduino Mega cannot be used for a standalone device for auto-tuning operation since it struggles with calculations of big arrays, thus it cannot drive the motor properly and calculate the parameters at the same time. For better performance, instead of the approaches mentioned above, Arduino Mega and Raspberry Pi are connected with a USB cable which allows serial communication between devices. This configuration will allow Raspberry Pi to handle array operations and Arduino will be responsible for controlling the BLDC with calculated gain parameters which are found after the bump test.

Figure 1. Software Flowchart



There is data that cannot be able to reach from Arduino Mega to Raspberry Pi because of operating system interruption but since this only happens once per 7-8 seconds and it takes few microseconds, there is no loss of big data in the process. Also, the hardware of Arduino Mega only can run the software uploaded for this process only once per 1-2 milliseconds, which sets our sampling rate.

Maxon Motor 344515 has 16000 rpm speed without any loads, and it runs at 1000 rpm with the reductor on the motor. It also has a 2-channel encoder which generates 770 pulses per one revolution of the motor. L298N H-Bridge Transistor circuit is used to control the revolution direction of the BLDC mentioned above.

## 2. 2. Software Design of Plant

A Raspberry Pi and an Arduino Mega are properly coded separately to enable serial communication between devices and PID Control of BLDC. For this setup, the Ideal PID algorithm has been used for Arduino Mega since the Ideal PID algorithm is the most widely used PID algorithm for industrial control purposes (Smuts, 2011). Principles of Ideal PID control algorithms are discussed in the previous study (Taşören, Örenbaş & Şahin, 2018). Software on Arduino Mega enables Arduino to send position and time data of the BLDC to Raspberry Pi using serial communication. The software on Raspberry Pi enables Raspberry Pi to do calculations on data gathered from Arduino Mega, and then send the PID parameters obtained from these calculations to Arduino Mega with serial communication. A basic scheme of the algorithm can be found in Figure 1.

Before further software information, the method for calculating proper PID Control parameters has to be discussed.

### 2. 2. 1. Obtaining PID Parameters

Finding suitable PID controller parameters is a worthy task for most systems. To find feasible PID tuning parameters some calculations have to be made, and these calculations have to be repeated when there are changes in the system. In this section, information about the system which automates this process will be given.

The ideal PID control algorithm scheme consists of 3 parameters. One of the parameters affects the other two directions. But these two parameters do not affect other operations. To be precise, the integral tuning parameter only affects the integral operation of the algorithm meanwhile derivative tuning parameter only affects the derivative operation of the algorithm, and the proportional gain parameter affects all of the operations in the ideal PID algorithm. Ideal PID control algorithm is also known as noninteractive, ISA, and standard PID control algorithm. There are many Tuning Methods proposed for this method namely, Lambda, integral of the absolute error, and Cohen-Coon Tuning Methods (Smuts, 2011). A mathematical expression of the ideal PID algorithm can be found in Equation 1.

$$K_c \left[ e + \left( \frac{1}{T_i} \right) \int edt + T_d \left( \frac{de}{dt} \right) \right] = C_o \quad (1)$$

Where  $K_c$  is the proportional gain parameter,  $T_i$  is the integral tuning parameter,  $T_d$  is the derivative tuning parameter,  $e$  is error,  $t$  is time and  $C_o$  is controller output.

Arduino Mega is programmed in a fashion that the software on it will calculate the  $C_o$  continuously upon receiving input from serial communication as time passes using Equation 1. The first input mentioned in the third row of Algorithm 1 is the input that starts the Automatic Tuning operation.

At first, the proper parameters have to be calculated to tune a BLDC and this can be done by using a method called Bump Test (Smuts, 2011). Bump Test is rather useful when there are no specifications for the system which will be tuned. This method does not require any kind of specification knowledge of a system, rather it only measures the response of the system to the output of the controller without any amplification, so it can be used for practical PID tuning operations easily.

There is an initialization process on Arduino Mega which has to be launched at first. This initialization process settles  $K_c$  to 0 to ensure the software won't work without serial communication input and it starts the serial communication. The first input which is given by Raspberry Pi to Arduino Mega starts the Bump Test of the motor by setting PID parameters on Arduino Mega.  $K_c$  is taken as 1,  $t_d$  has to be 0 and  $t_i$  should be a high number to ensure the integral and derivative part of the PID controller does not interrupt with the Bump Test. Also,  $K_c$  is settled 1 since there is no need for gain in Bump Test.

After the Bump Test has been made, all the position and time data of the test are collected by Raspberry Pi and recorded into a Comma Separated Values (CSV) file. After that operation, the software on Raspberry Pi opens the CSV file and makes the calculations that are needed to find PID controller parameters. 3 specific values have to be found to calculate PID parameters. These values are  $\tau$ , dead time ( $t_d$ ), and Process Gain ( $G_p$ ). To explain briefly,  $\tau$  is the time that passes between the end of dead time and the moment of 0.63 change of motor position, the dead time is the time that needs to pass to the motor to rotate, and gain is the percentage change of system compared to the reference (Equation 2). To find these values, all of the measured position and time values from the Bump Test have been sent to Raspberry Pi via serial communication. Since Arduino Mega cannot handle both controlling the motor and making calculations at the same time, calculations are made by Raspberry Pi in this way. Raspberry Pi has calculated these values with using Equation 2 and Figure 2 as  $G_p = 0.9$ ,  $t_d = 14$  ms and  $\tau = 47.35$ .

$$\frac{\Delta P_{system}}{\Delta P_{reference}} = G_p \quad (2)$$

Where  $\Delta P_{system}$  is the position change in the system,  $\Delta P_{reference}$  is the position change in the reference,  $G_p$  is the process gain.

After these calculations, Raspberry Pi obtains the PID parameters by using the Cohen-Coon Tuning Method formulas which can be seen in Table I (Smuts, 2011), and the obtained parameters can be found in Table II.

COHEN-COON TUNING FORMULAS

	$K_c$	$T_i$	$T_d$
<b>PID</b>	$\frac{1.35\tau}{G_p \times t_d} + \frac{1}{4G_p}$	$\frac{t_d(0.4625t_d + 2.5\tau)}{\tau + 0.611t_d}$	$\frac{0.37\tau t_d}{0.185t_d + \tau}$

EVALUATED PID PARAMETERS

<b>PID</b>	$K_c$	$T_i$	$T_d$
Cohen-Coon	5.35	31.27	4.91

### 2. 2. 2. Online PID Control

After the calculations, Raspberry Pi sends the found PID parameters to Arduino Mega via serial communication by packaging them into bytes, and Arduino Mega reads these parameters and starts to drive the BLDC with the parameters that have been provided by Raspberry Pi. If it is wanted, the algorithm can be started again just by relaunching the software on Raspberry Pi. The algorithm of Arduino Mega and Raspberry Pi can be found in Algorithm 1 and 2 respectively.

**Algorithm 1: Software on Arduino Mega**

```

1:   start: the initial setup process
2:   end: the initial setup process
3:   if there is a signal from the serial communication
4:     set:  $K_c$  to 1,  $t_i$  to 999999,  $t_d$  to 0,
5:     reference position to 100
6:   end
7:   while
8:     read: encoder and timer data
9:     record: encoder data as present position data,
10:    record timer data as present time data
11:    calculate: the time difference by subtracting
12:    previous data from present data
13:    calculate: error by subtracting the reference from
14:    encoder position data and  $C_o$ 
15:    If the  $C_o$  is positive,
16:    drive the BLDC motor by sending PWM
17:    to port number 9
18:    end
19:    If the  $C_o$  is negative,
20:    drive the BLDC motor by sending PWM
21:    to port number 10
22:    end
23:    record: the present position time as previous
24:    position data and present time data as the previous
25:    time data
26:    if there is incoming serial data
27:      read: the packaged data and record it as  $K_c$ ,  $t_i$ ,  $t_d$ 
28:    end
29:  break
30: end

```

**Algorithm 2: Software on Raspberry Pi**

```

1:   start: serial communication with intended baud rate.
2:   send: start command to Arduino Mega
3:   If the position from serial communication is
4:   not the same for the given time variable
5:   (this time can be changed based on the system
6:   that's being used)
7:     receive: position and time information
8:     from Arduino Mega
9:     write: position and time data to the output file
10:  end
11:  convert: data on the output file to 2 different arrays
12:  find: dead time, tau, and Process Gain
13:  calculate:  $K_c$ ,  $t_i$ ,  $t_d$ 
14:  prepare: convert the found PID parameters to bytes
15:  since bytes can be sent via serial communication
16:  send: PID parameters to Arduino Mega
17:  end: stop the software

```

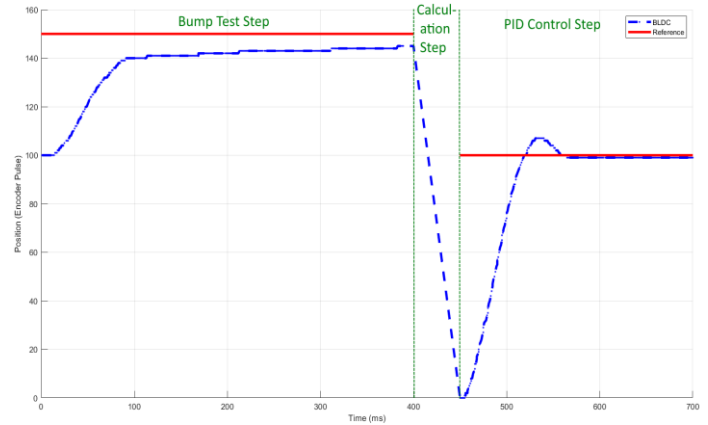
**3. Results and Discussion**

To measure the performance, a little change to the algorithm can be made to the software in Raspberry Pi to continue obtaining position and data values from serial communication. With this addition, the graph in Figure 2 has been presented from the data obtained by Raspberry Pi.

In Figure 2, there is a calculation step that takes 50 ms, and there is a Bump Test which is mentioned detailly at the PID parameter calculation part of the paper, after these steps BLDC is controlled with calculated PID parameters which are calculated with Cohen-Coon Tuning method.

With Automatic Tuner System, BLDC Plant has been controlled with %7 overshoot, 103 milliseconds of settling time, 46 milliseconds of rising time, and 1% steady-state error. This result is very satisfactory considering no calculations are made by humans for this PID tuning operation.

Figure 2. BLDC Response Graph



The motors which are used for various kind of systems have to be tuned again each time when their friction, load, or position changes since these changes affect motor transfer function as well. To apply automatic tuning, there is no need for the model of the motor which is being used with the system because proposed algorithm works independent from the model of the system.

There are lots of required calculations for the process of getting appropriate tuning parameters. Each of the changes that has been made to the system also requires new parameters, with Automatic Tuner Raspberry Pi will do all of the calculations thus the tuning process will be faster, and easier.

The mentioned Automatic Tuner system is very portable since it is made up of a small-sized computer (Raspberry Pi), an H-Bridge Transistor circuit (L298N), and an ATmega2560 based microcontroller (Arduino Mega) is used. With these components Automatic Tuner can be used in different places easily, the proposed controller is also easy to set up with motors that have 2-channel encoders. With a single Automatic Tuner, different systems can be tuned since there are no required information about the plant.

**4. Conclusion**

In this study, an Automatic Tuner System has been designed to Tune PID systems quickly, reducing the human effort that's put into calculations and observations, and with a design as portable as possible. This design is carried out by using an ATmega2560 and a Raspberry Pi. ATmega2560 is coded in a way that is feasible for noninteractive PID control, also the software on the microcontroller allows it to serially communicate with other devices. Raspberry Pi is programmed in a way that allows it to make serial communication with ATmega2560. Moreover, it records the serial communication data which is received and makes calculations on these values using Cohen-Coon parameters and delivers the found parameters to the ATmega2560, allowing ATmega2560 to drive the BLDC with appropriate parameters.

In future work, the automatic tuner system which is developed in this paper can be improved with machine learning to obtain optimal controller performance.

## References

- Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). PID controllers: theory, design, and tuning (Vol. 2). Research Triangle Park, NC: Instrument society of America.
- Ogata, K. (2010). Modern control engineering. Prentice hall.
- Skogestad, S. (2003). Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. *Journal of process control*, 13(4), 291-309.
- Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1942). Optimum settings for automatic controllers. *trans. ASME*, 64(11).
- Cohen, G., & Coon, G. A. (1953). Theoretical consideration of retarded control. *Trans. Asme*, 75, 827-834.
- Sheel, S., & Gupta, O. (2012). New techniques of PID controller tuning of a DC motor—development of a toolbox. *MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering*, 2(2), 65-69.
- Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006). PID control. *IEEE Control Systems Magazine*, 1066(033X/06). Chicago
- Hang, C. C., & Sin, K. K. (1991). A comparative performance study of PID auto-tuners. *IEEE Control Systems Magazine*, 11(5), 41-47.
- Smuts, J. F. (2011). *Process Control for Practitioners: How to Tune PID Controllers and Optimize Control Loops*. OptiControls.
- O'dwyer, A. (2009). *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. World Scientific.
- Taşören, A. E., Örenbaş, H., & Şahin, S. (2018, October). Analyze and comparison of different PID tuning methods on a brushless DC motor using ATmega328 based microcontroller unit. In *2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-4). IEEE.
- Taşören, A. E., Gökçen, A., Soydemir, M. U., Şahin, S. (2020). Artificial Neural Network-Based Adaptive PID Controller Design for Vertical Takeoff and Landing Model. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 87-93.



# Investigation Of The Effect Of Changing Air Flow Velocities In Electric Vehicles On Cylinder Geometry Battery Based On Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis

Gözde Ekmekçi Güçlüten<sup>1\*</sup>, Gökhan Tüccar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0392-1369), [gekmekci@atu.edu.tr](mailto:gekmekci@atu.edu.tr)

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3041-299X), [gtuccaar@atu.edu.tr](mailto:gtuccaar@atu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899811)

**ATIF/REFERENCE:** Ekmekçi-Güçlüten, G., Tüccar, G., (2021). Investigation Of The Effect Of Changing Air Flow Velocities In Electric Vehicles On Cylinder Geometry Battery Based On Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis. *European Journal of Science and Technology*, (24), 240-246.

## Abstract

With the decrease in popularity of internal combustion engine vehicles in today's globalizing world, the engineering and scientific world are working to develop alternative vehicles for these vehicles. These stand out as hybrid and electric vehicles. Electric vehicles have zero emissions, costs, fuel consumption, etc. has an advantage in matters. Besides these advantages, scientists focused on these issues on the disadvantages of the range problem and the battery pack. Especially the battery thermal management system is one of these issues. The basic parameters to be focused on in the battery thermal management system can be listed as cell geometry, cell array within the battery pack, cell material, refrigerant, refrigerant inlet flow rate. Cell geometries investigated in the literature are seen as cylinder, prismatic and envelope type. Cylinder geometry design was chosen in this study. The cells are arranged in a 4x4 shape inside the battery pack. Steel has been assigned as the cell material. The refrigerant has been selected as air. The design in the research was made via CatiaV5R20. The analyzes are simulated using ANSYS CFD. The purpose of this research is to discuss to what extent different inlet air flow rates affect cell heating or cooling of cells. As a result of the research, it has been observed that the temperature of the cells decreases with the increase in the inlet air flow in the cylinder cells with different sizes and has a positive impact on the thermal system.

**Keywords:** Electric vehicles, thermal management system, computational fluid dynamics (CFD).

## Elektrikli Araçlarda Değişen Hava Akış Hızlarının Silindir Geometri Bataryası Üzerindeki Etkisinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Analizine Dayalı Olarak İncelenmesi

### Öz

Günümüz globalleşen dünyada içten yanmalı motorlu araçların popülaritesinin azalması ile birlikte mühendislik ve bilim dünyası bu araçlara alternatif araçlar geliştirme yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bunlar hibrit ve elektrikli araçlar olarak öne çıkar. Elektrikli araçlar sıfır emisyon, maliyet, yakıt tüketimi vb. konularda avantaj sahibidir. Bu avantajların yanı sıra, menzil problemi ve batarya paketi konusundaki dezavantajlar üzerine bilim insanları bu konulara odaklanmıştır. Özellikle batarya ısı yönetim sistemi bu konuların başında gelir. Batarya ısı yönetim sisteminde odaklanması gereken temel parametreler, hücre geometrisi, batarya paketi içerisindeki hücre dizilimi, hücre malzemesi, soğutucu akışkan, soğutucu akışkan giriş debisi olarak sıralanabilir. Literatürde araştırılması yapılan hücre geometrileri silindir, prizmatik ve zarf tipi olarak görülür. Yapılan çalışmada silindir geometri tasarımı seçilmiştir. Hücreler batarya paketi içerisinde 4x4 şeklinde dizilmiştir. Hücre malzemesi olarak çelik atanmıştır. Soğutucu akışkan hava olarak seçilmiştir. Araştırmada tasarım CatiaV5R20 ile yapılmıştır. Analizler ANSYS CFD kullanılarak simüle edilmiştir. Bu araştırmanın amacı farklı giriş hava debilerinin hücre ısınması ya da hücrelerim soğutulmasını ne ölçüde etkilediğini tartışmaktır.

\* Corresponding Author: [gekmekci@atu.edu.tr](mailto:gekmekci@atu.edu.tr)



Araştırma sonucunda farklı boyutlara sahip silindirik hücrelerde giriş hava debisinin artmasıyla hücrelerin sıcaklığının azaldığı ve termal sistemi olumlu etkilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araçlar, Isıl Yönetim Sistemi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

## 1. Introduction

Electric motors have been developed as an alternative to fossil fuel-based internal combustion engines, which have the largest share in the automotive and transportation sector due to the significant contribution of fossil fuels to environmental pollution. When electrical motors are evaluated, they can be defined as more environmentally friendly due to zero emissions.

The ability to store high amounts of fuel, long range, and the number of fuel stations are the advantages of internal combustion engine vehicles. There are also many disadvantages such as not being able to use renewable energy, causing global warming and environmental pollution with the use of fossil fuels, and fuel cost ( [www.muhendishane.org](http://www.muhendishane.org) ). Compared to internal combustion engines, electric vehicles have various advantages such as high energy efficiency, performance, and being more environmentally friendly by reducing fossil fuel dependence.

Electric vehicles have various advantages such as high energy efficiency, performance, and being more environmentally friendly by reducing fossil fuel dependence. Despite all these advantages, it cannot be said that electric vehicle technologies are still fully elaborate. Especially, in terms of the ideal battery geometry and array, the controller, electric motor and thermal management studies continue rapidly. The battery is likened to the heart of an electric vehicle. For this reason, many of the problems that cannot be overcome are still in the battery module. In the literature and in the field, the most concentrated battery operation issues are charging time, cost, vehicle driving range and thermal management (Tamaldin, Yamin, Abdollah, Amiruddin and Abdullah, 2020: 305-312).

When these advantages are considered and evaluated in the long term, according to the KPMG report dated 2015, the potential for electric new vehicle sales in the EU and China to be between 11-15% by 2025 was highlighted (Becker, 2015: 20). These estimates conclude that by 2025, there will be 20% of new electric vehicle sales in North America and 11 million EV sales worldwide (Keskin, 2009: 597).

However, it is of course important to eliminate the disadvantages in electric vehicles in order to realize these predictions. Regarding thermal management, which is the main theme of this study, it can be said that the temperature gradients that may occur between cells and within the inner layers of individual cells are of great concern.

Yang et al. demonstrated that temperature gradients between cells connected in a parallel array can exacerbate unbalanced discharge, and that as the cell-to-cell temperature gradient increases, the aging rate of the cell increases linearly (Yang, Zhang, Shang and Li, 2016: 733-741). Fleckenstein et al. conducted studies at the cell level. Through simulation, he found that temperature variations along the interior of individual

cylindrical cells caused inhomogeneities in cell flow density. He concluded that this caused a local state of charge (SOC) imbalance within the cell (Fleckenstein, Bohlen, Roscher and Baker, 2011: 4769-4778). Troxler et al. further investigated the effects of intracellular temperature gradients. They noticed that cell performance under a temperature gradient was performing as if the cell was operating at an average volume temperature rather than as if it were operating at a higher average temperature than theoretically (Troxler et al., 2014: 1018-1025). However, Hunt et al. recently stated that temperature changes do not only negatively affect cell performance and aging. They also noted that the nature of the gradient could worsen the effect and should be carefully evaluated by energy storage systems engineers tasked with assembling individual components into complete battery modules or packages. Specifically, it has been found that vertical gradients to layers within the cell induced by surface cooling accelerate the overall rate of cell disruption compared to the case where the gradient is along each of the layers (ie in the plane) obtained from the bounce cooling (Hunt, Zhao, Patel and Offer, 2016: 1846-1852).

In order to be able to monitor the thermal process inside the battery pack, the CFD simulation method is widely used. This method is well developed and powerful in terms of applicability (Huang et. al., 2017: 4029-4036). In the late 1900s, Dickinson and Swan used CFD methods for various battery analysis in electric vehicles. They explained that the high temperature difference has a significant negative impact on the capacity of the battery pack. They suggested controlling the battery temperature in the range of 35 ~ 40°C. ( [www.sae.org](http://www.sae.org) )

As seen in the studies in the literature, attention should be paid to the design of the thermal management system to ensure that the method in which heat is added to the cell or extracted from the cell does not create an inappropriate temperature gradient that could compromise the benefit of absolute temperature control. In addition, it appears that the extraction will maintain the optimum operating temperature that should be kept uniform. Considering these parameters, it is desired to keep the inlet air flow rates in the optimum range depending on the design in the thermal management system.

In this study, thermal analyzes were carried out according to 3 different models and 3 different air inlet flows in coils with 3 cylinder geometry. The cooling strategy was designed using thermal modeling method and the effect of different air inlet flow rates on the modeling was investigated.

## 2. Material and Method

### 2.1. Geometry Design

The geometry was designed in CATIA V5R20 in order to examine the battery thermal performance of different air inlet flow rates according to different diameters in cylinder geometry in electric vehicles, which is the main purpose of the study.

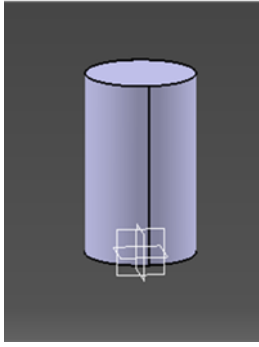


Figure 1. Design of cylinder battery cell

### 2.2. Geometry Types and Case Properties

As seen in the table below, thermal performance analyzes were made for each case by changing the diameters or areas. The height was kept constant at 70 mm in all casings. Analyzes were made in ANSYS Workbench 18.1 using the CFD module. Steel was chosen as the battery cell material and air was chosen as the coolant.

Table 1. Geometry Cases and Properties

Case of Cylinder Cell	Diameter (mm)	Number of Cell
Case 1	50	4x4
Case 2	45	
Case 3	40	

Along with these parameters, the inlet air flow rate was also examined in this study. It was investigated how the flow (air) velocity would affect the thermal performance and, accordingly, on the vehicle performance. Case and inlet flow rates are given in the table below.

Case of Cylinder Cell	Inlet Flow Rate (m/s)
Case 1	0.01
Case 2	0.015
Case 3	0.02

To express the table with an example from the literature, Tamaldin et al. proposed new designs to increase the cooling flow for battery modules, electric motor, and controller. The current air-cooled duct design caused overheating due to the low air velocity passing through it. Slotted ducts disturbed the airflow and the ideal cooling target was not achieved. Thus, low cooling efficiency was achieved with this design. With the new design they proposed, smoother surfaces were provided for smooth air flow at minimum resistance. Thus, better cooling efficiency was obtained (Tamaldin, Yamin, Abdollah, Amiruddin and Abdullah, 2020: 305-312).

## 3. Results and Discussion

CFD simulations with 3 different cylinder cell sizes and 3 different inlet flow rates are discussed in this section to decide on the optimum design for the battery. The analysis is based on the extent to which it can cool different sizes of battery cells at different inlet air flow rates.

### 3.1. Temperature Contour

In total, 3 models were created with 3 different diameters and 3 different air inlet flow rates.

#### 3.1.1. Model 1

Diameter	50 mm
Height	70 mm
Element Size	0.02

Geometry properties are given below. For the first 3 different flow rates, the given dimensions are used.

#### a) v=0.01 m/s

The first model specified is the model consisting of 50 mm cylinders with the largest diameter. It consists of 4x4 cells. In this case of 0.01 inlet air flow, it was observed that the maximum temperature was seen in 4 cells at the air outlet.

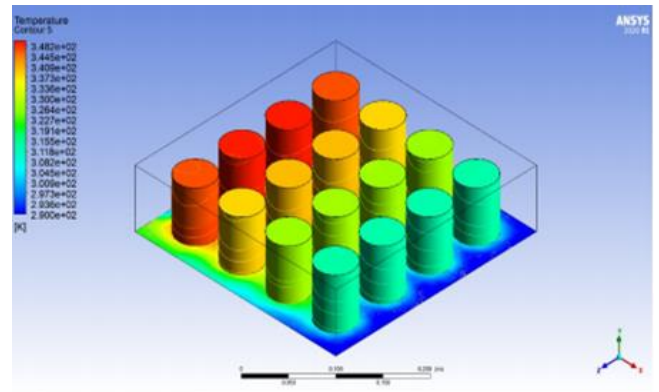


Figure 2a. Temperature Contour of Model 1a

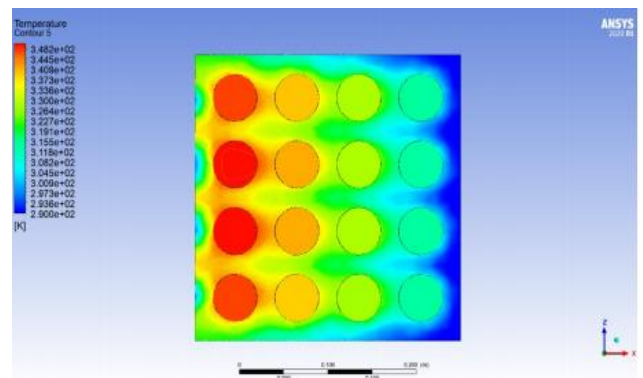


Figure 2b. Temperature Contour of Isometric View of Model 1a

#### b) v=0.015 m/s

In case 2 of Model 1, the package was analyzed in the same dimensions and order. The inlet air flow was determined as 0.015 m / s. Looking at the results, it was seen that the maximum temperature was in 4 cells at the air outlet.

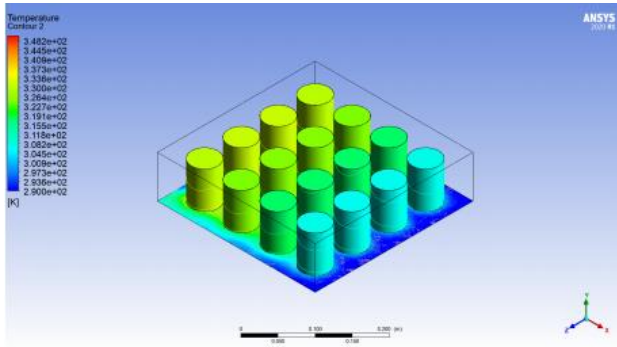


Figure 3a. Temperature Contour of Model 1b

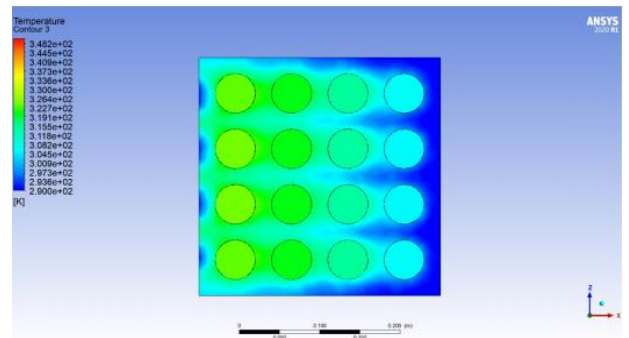


Figure 4b. Temperature Contour of Isometric View of Model 1c

Looking at the results of Model 1c, it was seen that the maximum temperature was in the outlet cells as in Models 1a and 1b. Furthermore, compared to Model 1a and 1b, Model 1c is said to give the best results with increased inlet air flow.

While  $1c > 1b > 1a$  for inlet air flow rates, it was concluded that  $1a > 1b > 1c$  for the maximum temperature in the battery cells.

### 3.1.2. Model 2

Geometry properties are given below. For the first 3 different flow rates, the given dimensions are used.

Diameter	45 mm
Height	70 mm
Element Size	0.02

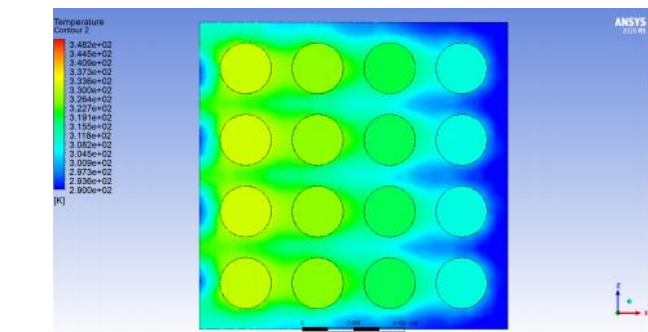


Figure 3b. Temperature Contour of Isometric View of Model 1b

Looking at the Model 1b results, it was seen that the maximum temperature in the outlet cells decreased compared to Model 1a as the inlet air flow increased.

#### c) $v=0.02$ m/s

In the 3rd case of Model 1, the package has the same size and order as the 1st and 2nd case.

#### a) $v=0.01$ m/s

The determined diameter for Model 2 is 45 mm, and the inlet air flow rate in the first casing was determined as 0.01 m / s.

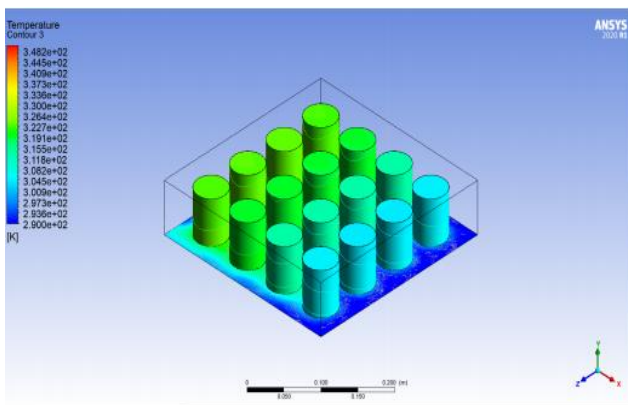


Figure 4a. Temperature Contour of Model 1c

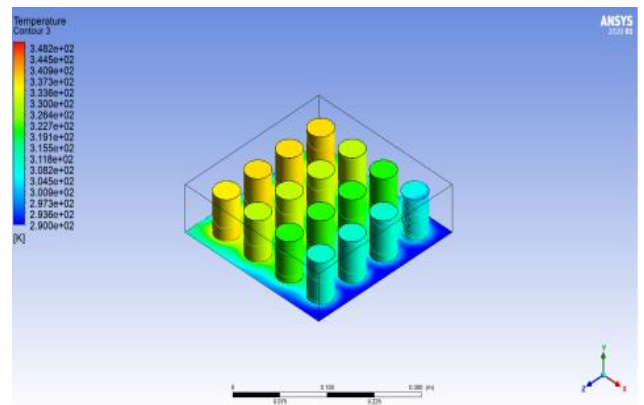


Figure 5a. Temperature Contour of Model 2a

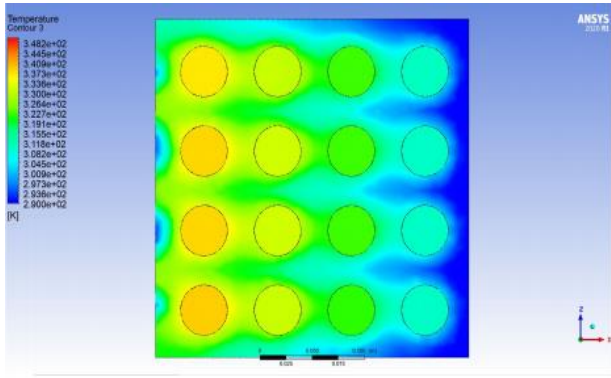


Figure 5b. Temperature Contour of Isometric View of Model 2a

It can be said that reducing the diameter in Model 2a facilitates the cooling of the cells. This is because, in Model 1a, it was concluded that the maximum temperature was higher despite having the same inlet air flow. However, as in the 3 case of the first model, the maximum temperature was seen in the outlet cells.

**b)  $v=0.015$  m/s**

Model 2b is the same as Model 2a in terms of size and order. Only the inlet air flow was increased from 0.01 to 0.015 and the results were examined.

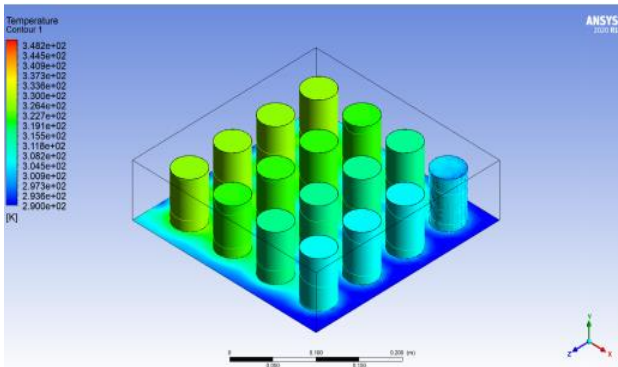


Figure 6a. Temperature Contour of Model 2b

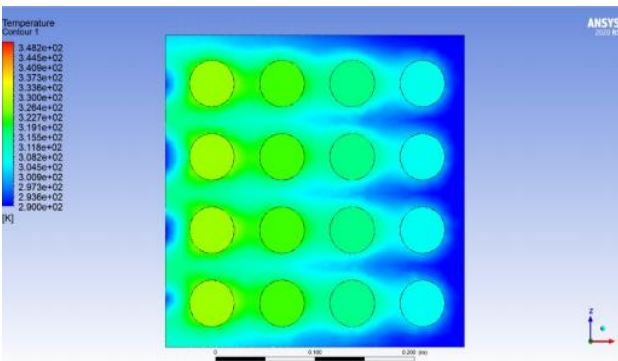


Figure 6b. Temperature Contour of Isometric View of Model 2b

When the analysis results are examined, the increase in the inlet air flow decreased the maximum temperature in the outlet cells compared to Model 1a. However, the outlet cells are the same as the cells with the highest temperature in the 4x4 order.

**c)  $v=0.02$  m/s**

In the last case of Model 2, the inlet air flow was increased to 0.02 m / s without changing the size and order.

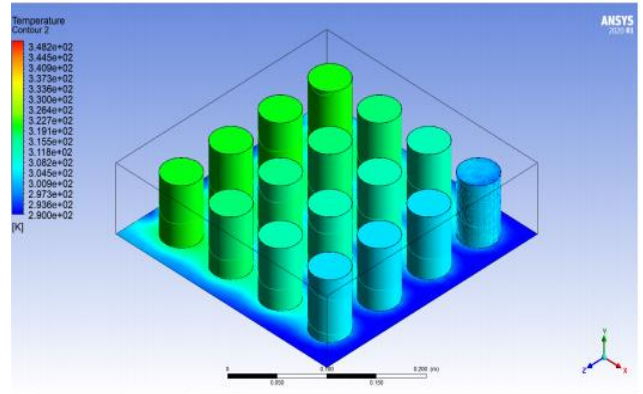


Figure 7a. Temperature Contour of Model 2c

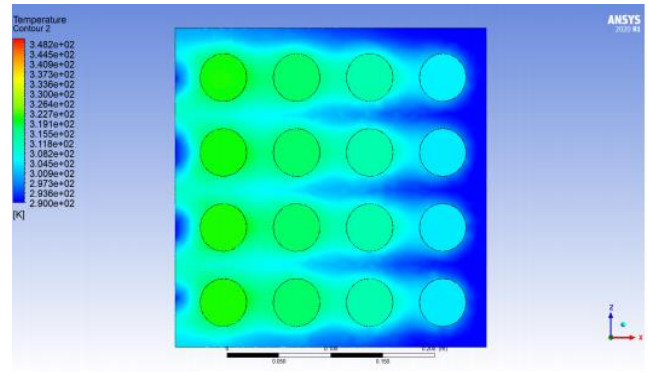


Figure 7b. Temperature Contour of Isometric View of Model 2c

Looking at the analysis results of Model 2 at three different flow rates, it was seen that Model 2c gave the best result. This is because it can be said that the inlet air flow is at the highest level, which affects the cooling of the battery more positively. When Model 1 and Model 2 are compared, it can be seen that decreasing the cell diameter gives more positive results for all 3 flow rates.

**3.1.3. Model 3**

Geometry properties are given below. For the first 3 different flow rates, the given dimensions are used.

Diameter	40 mm
Height	70 mm
Element Size	0.02

**a)  $v=0.01$  m/s**

In Model 3, the latest model in cylinder geometry, the diameter was changed to 40 mm. As in the other 2 models, the first inlet air flow was analyzed as 0.01 m / s.

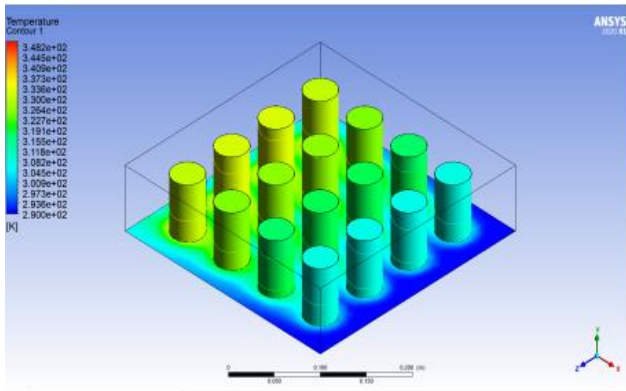


Figure 8a. Temperature Contour of Model 3a

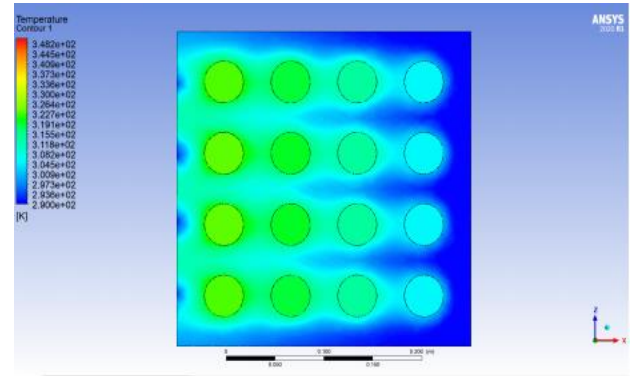


Figure 9b. Temperature Contour of Isometric View of Model 3b

As can be seen from the results, the model gave values that match with the other analysis results in 3b. In addition, the increase in the flow rate caused the maximum temperature to decrease and a result that could be considered closer to the ideal was found.

c)  $v=0.02$  m/s

The analysis values found for both model 3 and the last of all analyzes are given below.

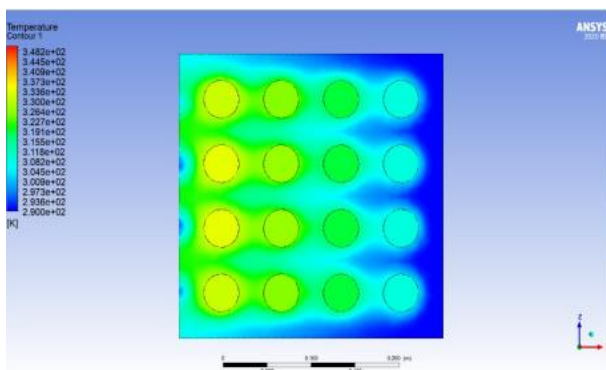


Figure 8b. Temperature Contour of Isometric View of Model 3a

When the first case of Model 3 was examined, it was seen that the temperature in the outlet cells was the cells that formed the maximum temperature of the pack, similar to the 6 cases examined so far. However, the reduction of the diameter in this model also affected the results more positively in parallel with the model 2.

b)  $v=0.015$  m/s

The second case of the Model 3 has the same dimensions and features as the first and the flow rate is increased.

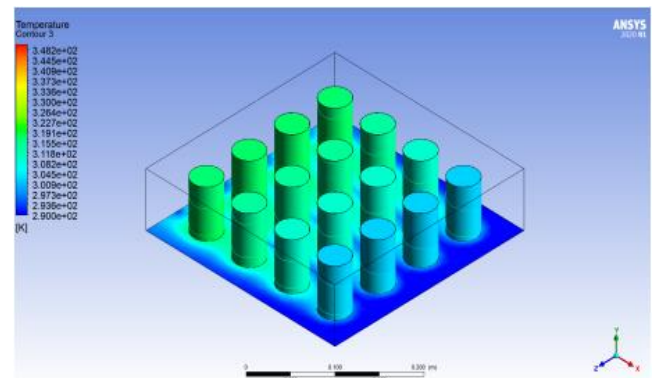


Figure 10a. Temperature Contour of Model 3c

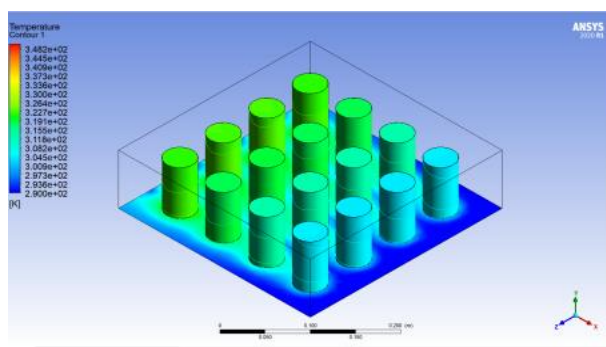


Figure 9a. Temperature Contour of Model 3b

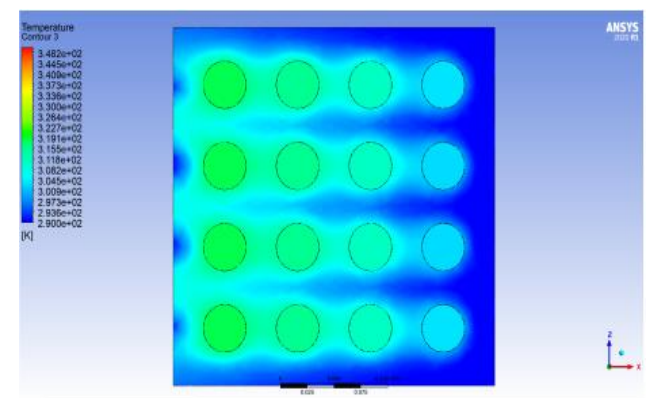


Figure 10b. Temperature Contour of Isometric View of Model 3c

It has been observed how different air inlet flow rates affect the thermal performance in 3 models with the same geometry. It has been observed that the higher the inlet air flow rates, the higher the thermal performance. The increase in flow caused the temperature rise of the cells to decrease. Looking at the model with the lowest flow, it was seen that the cells at the outlet level

were overheated. However, as the inlet flow increased, it was observed that the thermal performance of the cells at the outlet level was almost as good as the cells at the inlet. When the cylinder cells were examined in terms of diameter, it was seen that the thermal performance was negatively affected as the diameter increased. When the same flow rates are compared, it can be said that the cells of the larger diameter model are more heated.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

Different inlet air flow velocities have been investigated in different battery geometries in electric vehicles. For this purpose, a cylinder geometry design was made and the diameter of this geometry was changed and 3 different diameters were investigated. In the simulation modeling, thermal performance evaluation was made for 3 different models for 3 different air inlet flow rates. In this case, a total of 9 different results were found. When the results are examined, it is seen that the increase in inlet air flow rates has a positive impact on thermal performance. It is concluded that the lower the inlet air flow, the higher the outlet temperature and the less cooling the cells.

In addition to the main purpose of the study, it was possible to discuss how diameters affect thermal performance at similar flow rates. Since the increase in diameters increases the thickness of the cells, it can be said that the thickest cell at the same flow rate has the lowest thermal performance with the least cooling. Similarly, it was observed that the battery with the lowest diameter, that is, the thinnest battery, had higher thermal performance at equal flow rates.

As a result, it can be seen how important the inlet air flow is for the cells, regardless of geometry or size. The inlet air flow is one of the most important factors in cooling the cells in the battery pack. As the flow rate decreases, the cells get hotter and this affects the thermal performance negatively. However, determining the ideal inlet air flow rate keeps thermal management in balance and extends battery life.

#### **References**

- Becker, D. (2015). KPMG's Global Automotive Executive Survey, Access Date: 29.12.2020, Link: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2015/04/global-automotive-executive-survey-2015.pdf>
- Çetin, A. (2020). Elektrikli Otomobil Teknolojisi Hakkında Bir Değerlendirme, Access Date: 13.01.2021, Link: <https://muhendishane.org/2016/01/17/elektrikli-otomobil-teknolojisi-hakkinda-bir-degerlendirme/>
- Dickinson, B. and Swan, D. (1995). EV Battery Pack Life: Pack Degradation and Solutions, Access Date: 02.01.2021, Link: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/951949/>
- Fleckenstein, M., Bohlen, O., Roscher, M. A., Baker, B. (2011), Current Density And State Of Charge Inhomogeneities In Li-Ion Battery Cells With Lifepo4 As Cathode Material Due To Temperature Gradients, J. Power Sources, 196 (10), 4769-4778.
- Huang, Y., Lu, Y., Huang, R., Chen, J., Chen, F., Liu, Z.,... Roskilly, A. P. (2017). Study On The Thermal Interaction And Heat Dissipation Of Cylindrical Lithium-Ion Battery Cells, Energy Procedia, 142, 4029-4036.

- Hunt, I. A., Zhao, Y., Patel, Y., Offer, J. (2016). Surface Cooling Causes Accelerated Degradation Compared To Tab Cooling For Lithium-Ion Pouch Cells, J. Electrochem. Soc., 163 (9), 1846-1852.
- Keskin, A. (2009). Hibrid Taşıt Teknolojileri ve Uygulamaları, Mühendis ve Makina, 50 (597), 12-20.
- Tamaldin, N., Yamin, A. K. M., Abdollah, M. F. B., Amiruddin, H., Abdullah, M. A. (2013). Design Optimization of Thermal Management System for Electric Vehicle Utilizing CFD Analysis, DFMEA and CES, Procedia Engineering, 68, 305-312.
- Troxler, Y., Wu, B., Marinescu, M., Yufit, V., Patel, Y., Marquis, A.J., Brandon, N.P., Offer, G.J. (2014). The Effect Of Thermal Gradients On The Performance Of Lithium-Ion Batteries, J. Power Sources, 247, 1018-1025.
- Yang, N., Zhang, X., Shang, B., Li, G. (2016). Unbalanced Discharging And Aging Due To Temperature Differences Among The Cells In A Lithium-Ion Battery Pack With Parallel Combination, J. Power Sources, 306, 733-741.



# Negatif Olmayan Matris Ayırıştırma Yöntemlerinde Fetal Elektrokardiyogram İşaretin Ayırıştırılması

Hüsamettin Çelik<sup>1\*</sup>, Nurhan Karaboğa<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7662-0674), [hcelik@erzincan.edu.tr](mailto:hcelik@erzincan.edu.tr)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4550-5251), [nurhan\\_k@erciyes.edu.tr](mailto:nurhan_k@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903201)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, H., Karaboğa, N. (2021). Negatif Olmayan Matris Ayırıştırma Yöntemlerinde Fetal Elektrokardiyogram İşaretin Ayırıştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 247-251.

## Öz

Elektrokardiyogram (EKG) işareti, kalp atımları esnasında kalp kasları tarafından üretilen ve kalbin elektriksel aktivitesini öğrenmek için vücudun yüzeyine yerleştirilen elektrotlar yardımıyla alınan işaretlerdir. Elde edilen işaretler kuvvetlendirildikten sonra sayısal işaret işleme yöntemleri ile analiz edilebilirler. Analiz sonucunda elde edilen işaretler özellikle kalp hastalıklarının teşhis ve tedavisinde veya kişinin sağlığı açısından belirleyici etkiye sahip olacaktır. Ölçüm sonucunda insan vücudundan elde edilen işaretlerde en az iki işaretin karışmış şekli elde edilecektir. Bu çalışmada anne karınıdaki bebeğin EKG' sinin elde edilmesi için işaret ayırıştırma yöntemi olarak anne EKG, Fetal EKG (bebeğin) ve gürültü işaretlerinin karışımı olan veride işaret ayırıştırma işlemi yapılmıştır. Negatif olmayan matris ayırıştırma algoritmalarından Çarpımsal Güncelleme yöntemi ve Hiyerarşik Değişen En Küçük Kareler yöntemi kullanılarak performans analizleri ile birlikte işlem maliyetleri karşılaştırılmıştır. Uygun olan yöntemi belirlemek için işaret/gürültü oranı ölçütü kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Negatif Olmayan Matris Ayırıştırma, Çarpımsal Güncelleme, Hiyerarşik Alternatif En Küçük Kareler Yöntemi.

## Decomposition of Fetal Electrocardiogram Sign in Non-Negative Matrix Separation Methods

### Abstract

Electrocardiogram (ECG) sign is the signals produced by the heart muscles during heart beats and taken with the help of electrodes placed on the surface of the body to learn the electrical activity of the heart. After the obtained signals are strengthened, they can be analyzed by digital signal processing methods. The signs obtained as a result of the analysis will have a decisive effect especially in the diagnosis and treatment of heart diseases or in terms of the health of the person. As a result of the measurement, the mixed form of at least two marks in the marks obtained from the human body will be obtained. In this study, non-negative matrix separation method from blind source decomposition algorithms was used in signal decomposition to obtain the ECG of the baby in the mother's womb. As a source sign, the signal decomposition process was performed in the data that was a mixture of maternal ECG, Fetal ECG (baby's) and noise signals. Performance analysis and transaction costs were compared using the Multiplicative Update method and Hierarchical Least Squares method, which are non-negative matrix decomposition algorithms. Signal / noise ratio criterion was used to determine the appropriate method.

**Keywords:** Non-Negative Matrix Factorization, Multiplicative Updating, Hierarchical Alternating Least Squares Method.

\* Sorumlu Yazar: [hcelik@erzincan.edu.tr](mailto:hcelik@erzincan.edu.tr)

## 1. Giriş

Elektrokardiyogram işareti, kalpteki elektriksel aktivitenin gücünü ve zamanlamasını grafiksel olarak gösteren ve kalbin ritmik hareketlerindeki anormallikleri tespit etmek için kullanılan en önemli biyomedikal işaretlerden bir tanesidir. Yetişkinlerde olduğu gibi anne karnındaki bebeğin kalp atış hızı ve değişkenliğini gözlemlemek bebeğin ve annenin sağlığı açısından basit ve zahmetsiz bir uygulamadır.

Anne karnındaki bebeğin durumu ve sağlığı hakkında önemli bilgiyi içeren Fetal Elektrokardiyografi (FEKG) işaretinin kaliteli bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Nitekim anne karnındaki bebeğin sağlığı ve kalp hastalıkları açısından erken teşhisi anne ve bebek açısından son derece önemlidir (Ramli et al., 2020). Bebeğin EKG'sini ölçmek için anne karnına yerleştirilen elektrotlar yardımıyla işaretler elde edilir. Anneye ait güçlü EKG ve gürültü işaretleri, Fetal EKG işareti üzerinde bastırıcı etkiye sahiptir. Ölçüm sonucunda elde edilen bu işaretler, üç işaretin karışımını içerir. Bunlardan birincisi anneye ait düşük frekanslı EKG işareti, ikinci olarak bebeğe ait yüksek frekanslı EKG işareti ve üçüncü olarak da istenmeyen iç/dış veya düşük/yüksek frekanslı gürültü işaretleridir. Fetal Elektrokardiyogram işaretini sentezlemek için yüksek kalitede elde etmek gerekir ve bunun için de istenmeyen işaretlerden ayrıştırılması istenir (Gurve & Krishnan, 2020; Ziani et al., 2018).

En az iki işaretin karışmış halde bulunması ve bu karışmış işaretlerden her bir kaynağın elde edilmesine kör kaynak ayrıştırma (KKA) denilmektedir. Kullanılan kaynak işaretleri ve nasıl karıştıkları bilinmediğinden ayrıştırma kör kaynak ayrıştırma olarak tanımlanmaktadır. Biyomedikal uygulamalarda, haberleşmede, işaret işlemede ve güç elektroniği gibi pek çok alanda KKA algoritmaları aktif olarak kullanılmaktadır (Çelik et al., 2019).

Literatürde kör kaynak ayrıştırması alanında yapılan çalışmalarda (Çelik et al., 2019; Çelik & Karaboğa, 2020) tarafından karışmış ses işaretleri ayrıştırılmıştır. Güç elektroniğinde harmoniklerin analizi için kör kaynak ayrıştırma algoritmaları ile bir çalışma yapılmıştır (De Oliveira et al., 2021). Ayrıca haberleşme alanında gürültü içinde bulunan haberleşme işaretlerinin belirlenmesi için de yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur (Çiflikli & Ilgin, 2020; Ilgin, 2020). EKG sinyallerini net şekilde elde etmek ve çeşitli kaynaklardan gelen gürültüyü bastırmak için farklı bir çalışma yapılmıştır (Mohebbian et al., 2020) ve diğer bir kör kaynak ayrıştırma çalışmasında ise otonom araç uygulamaları için "aktif işaret tabanlı sürücü ses ayırma" sistemi (Choi et al., 2021) üzerine farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Yaptığımız bu çalışmaya benzer bir uygulamada ise anne karnındaki bebeğe ait EKG ve anne EKG'si farklı kör kaynak ayrıştırma algoritmaları ile birbirinden ayrıştırılmıştır (Ramli et al., 2020).

Bu çalışmada Kör Kaynak Ayrıştırma algoritmaları kullanılarak tahmini istenen işareti, yani FEKG'yi karışmış işaretlerden çıkarmak için bir çalışma yapılmıştır. KKA kaynak işaretlerin herhangi bir veriyi bilmeden istenen işareti çıkarabilen ve bu alanda iyi bilinen bir ayırma yöntemidir. Bu çalışmanın amacı EKG işaretlerinde KKA algoritmalarının performansını ölçmektir.

Yapılan bu çalışmanın 2. Bölümünde algoritmaların çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. 3. Bölümde biyomedikal işaretlerin ayrıştırılmasındaki başarımlar oranları ve işlem

sürelerinin analizi verilmiştir. 4. Bölümde ise sonuçlar kısmında değerlendirilmeler yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Negatif Olmayan Matris Ayrıştırma

Kör kaynak ayrıştırma yöntemleri içerisinde Negatif Olmayan Matris Ayrıştırma (NOMA) algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin kendi içerisinde farklı alt yöntemleri bulunmakta olup bu çalışmada iki farklı yöntem olarak; Çarpımsal Güncelleme (ÇG) Yöntemi ve Hiyerarşik Alternatif En Küçük Kareler (HAEKK) Yöntemi kullanılmıştır. Negatif olmayan matris ayrıştırma, bir dizi negatif olmayan veri dizisinden otomatik olarak aralıklı ve anlamlı özellikleri çıkardığı için yüksek boyutlu verilerin analizi için yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır. NOMA, ortaya çıkan ayrıştırılmış matrislerin orijinal matristen daha az sayıda girdiye sahip olması nedeniyle bir boyut azaltma yöntemidir. Bu, bir ayrıştırma gerçekleştirmek için orijinal matrisin tüm girişlerine ihtiyaç duyulmadığı anlamına gelir, bu nedenle NOMA, hedef matristeki eksik girişleri işleyebilmelidir. NOMA'da, sensörlerden elde edilen veri matrisi  $n$  satır büyüklüğünde  $m$  adet gözlemden oluşan bir  $Y$  matrisi olduğu varsayılır. Karışım matrisi  $A$ , kaynak matrisi olarak isimlendirilirse  $Y$  matrisi Eşitlik 1 ile ifade edilir (Lee & Seung, 1999; Lin & Boutros, 2020).

$$Y = AX \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki ifadenin  $Y \approx AX$  yaklaşık değerini bulmak için, önce yaklaşıklık kalitesini ölçen maliyet fonksiyonlarını tanımlamamız gerekir. Böyle bir maliyet fonksiyonu, iki negatif olmayan matris  $B$  ve  $C$  tanımlanarak bunlar arasındaki mesafe ölçüsü kullanılarak oluşturulabilir. Yararlı bir ölçü için  $B$  ve  $C$  arasındaki Öklid mesafesinin karesi alınarak bulunabilir (Lee & Seung, 2001).

$$\|B - C\|^2 = \sum_{ij} (B_{ij} - C_{ij})^2 \quad (2)$$

NOMA algoritmasında Eşitlik 3 ile amaç fonksiyonu belirlenerek minimize edilir.

$$F = \sum_{i,j} (Y - AX)_{i,j}^2 \quad (3)$$

$i$  ve  $j$  alt indisleri matrisin satır ve sütunlarını belirlerken bu noktadan sonra amaç fonksiyonunu en aza indirmek için Çarpımsal Güncelleme (ÇG) yöntemi önerilmiştir (Cichocki & Phan, 2009). NOMA için  $A$  ve  $X$ 'in yinelemeli güncellemelerine dayanan yöntemler uygulanmıştır. Algoritmanın her yinelenmesinde  $A$  veya  $X$ 'in yeni değeri, Eşitlik 1'deki mevcut değere yakınsamasının kalitesine bağlı bir faktörle çarpılarak bulunur. Bu aşamada çarpımsal güncelleme kurallarının uygulanmasıyla yakınsama kalitesinin monoton bir şekilde arttığı kanıtlanmıştır (Lee & Seung, 2001).

#### 2.1.1. Çarpımsal Güncelleme Yöntemi

NOMA algoritması için incelenen çok sayıda yöntem arasında en popüler olanlardan biri Lee ve Seung (Lee & Seung, 1999) tarafından geliştirilen çarpımsal güncelleme yöntemidir. Bu algoritmanın basit ve uygulanması kolay olma avantajı vardır ve NOMA'nın popülaritesine büyük katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, çarpımsal güncellemenin yakınsama süresinin uzun olduğu bilinmektedir. Pratikte, Hiyerarşik Alternatif En Küçük Kareler (HAEKK) algoritmasının yakınsaması, çarpımsal güncellemeden çok daha hızlıdır.



Bu algoritmada, her eleman bir çarpma ile güncellenir ve  $A$  negatif olmayan matris gibi karşlanır. Güncelleme kuralları Eşitlik 4 ile belirtilmiştir (Badeau et al., 2011; Kim, 2011).

$$\begin{aligned} X &\leftarrow X \frac{A^T Y}{A^T A X} \\ A &\leftarrow A \frac{Y X^T}{A X X^T} \end{aligned} \quad (4)$$

Öklit mesafesi  $\|Y - AX\|$  güncelleme kurallarına göre artmadığı kanıtlanmıştır. Öklid mesafesi, bu güncellemelerde sadece  $A$  ve  $X$  mesafesinin sabit bir noktasındaysa değişmediği saptanmıştır. Ayrıca sapma (S),  $S(Y||AX)$  güncelleme kuralları altında artmadığı Eşitlik 5 ile gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} X &\leftarrow X \frac{\sum_i A^T / A X}{\sum_k A} \\ A &\leftarrow A \frac{\sum_\mu X Y / A X}{\sum_\nu X} \end{aligned} \quad (5)$$

Eğer  $A$  ve  $X$  sapmanın sabit bir noktasındaysa iraksama değişmeyecektir. Böylelikle her güncellenenin bir çarpmadan oluştuğu anlaşılabilir. Özellikle,  $Y = AX$  ifadesinin bir bütün olarak çarpımsal faktör olduğu görülebilir ve böylece güncelleme kurallarının sabit bir noktası olması gerekmektedir. (Lee & Seung, 2001).

Bu bilgiler doğrultusunda ek güncelleme kuralları, tüm değerler pozitif olduğundan ve her güncellemede yalnızca çarpma ve bölmeler yer aldığından, negatif unsurlar oluşturamayan çarpımsal güncelleme kurallarına dönüştürülmesi sağlanır (Burred, 2014).

### 2.1.2. Hiyerarşik Alternatif En Küçük Kareler Yöntemi

Hiyerarşik alternatif en küçük kareler algoritması adı verilen, her bir sütunu ve yineleme başına her satırı güncelleyen bir yöntemdir. Bağımsız olarak incelenen bu algoritmayı istikrarlı hale getirmek için bir değişken yardımıyla algoritmanın yakınsama özelliği (Gillis & Glineur, 2008)'da kanıtlanmıştır (Kim & Park, 2012). Sütunları  $A = [a_1, a_2, \dots, a_j]$  ve  $B = [b_1, b_2, \dots, b_j]$  ile ifade edilirse, Öklid maliyet fonksiyonunu şu şekilde ifade edebiliriz:

$$\begin{aligned} J(a_1, \dots, a_j, b_1, \dots, b_j) &= \frac{1}{2} \|Y - AB^T\|_F^2 \\ &= \frac{1}{2} \|Y - \sum_{j=1}^j a_j b_j^T\|_F^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Parametre setine göre  $(a_j, b_j)$  alternatif olarak maliyet fonksiyonlarının en aza indirilmesi Eşitlik 7 ile gösterilmiştir. Eşitlikte verilen  $a_j$  ve  $b_j$  değerleri sabit varsayılırsa;

$$\begin{aligned} D_A^j(a_j) &= \frac{1}{2} \|Y^j - a_j b_j^T\|_F^2, b_j \text{ sabit} \\ D_B^j(b_j) &= \frac{1}{2} \|Y^j - a_j b_j^T\|_F^2, a_j \text{ sabit} \end{aligned} \quad (7)$$

ifadesi elde edilir.

$j = 1, 2, \dots, J$  için sırasıyla  $a_j \geq 0$  ve  $b_j \geq 0$  parametre setlerine göre maliyet fonksiyonunun en aza indirilmesi

$$D_F^j(Y^j || a_j b_j^T) = \frac{1}{2} \|Y^j - a_j b_j^T\|_F^2 \quad (8)$$

eşitliği ile bulunur (Kim & Park, 2011).

HAEKK yöntemin uygulama adımları aşağıdaki algoritma ile gösterilmiştir (Cichocki & Phan, 2009).

NOMA için Hiyerarşik alternatif en küçük kareler algoritması

$A$  veya  $X = B^T$  başlat  
 $E = Y - AB^T$ ;

**repeat**

**for**  $j = 1$

$Y^j \leftarrow E + a_j b_j^T$ ;

$b_j \leftarrow [Y^{jT} a_j]_+$

$a_j \leftarrow [Y^T b_j]_+$

$a_j \leftarrow a_j / \|a_j\|_2$ ;

$E \leftarrow Y^j - a_j b_j^T$ ;

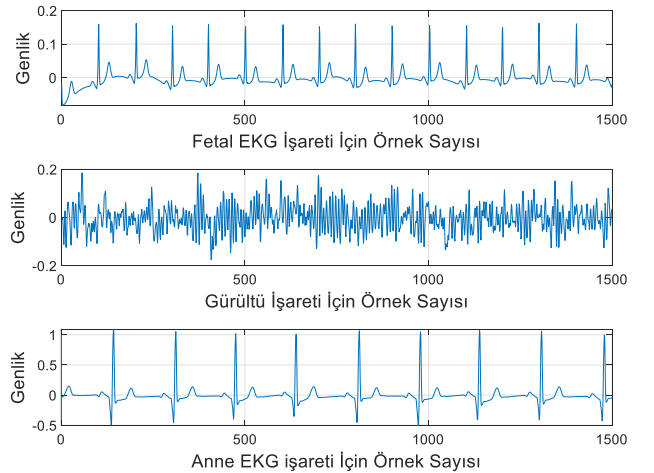
**end for**

**until** yakınsama kriterlerine ulaşıldığında

Noma için benzer güncelleme kuralları önerilmiştir (Ho, 2008). Bununla birlikte HAEKK yöntemin pratik uygulamalarında NOMA için kararlı bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

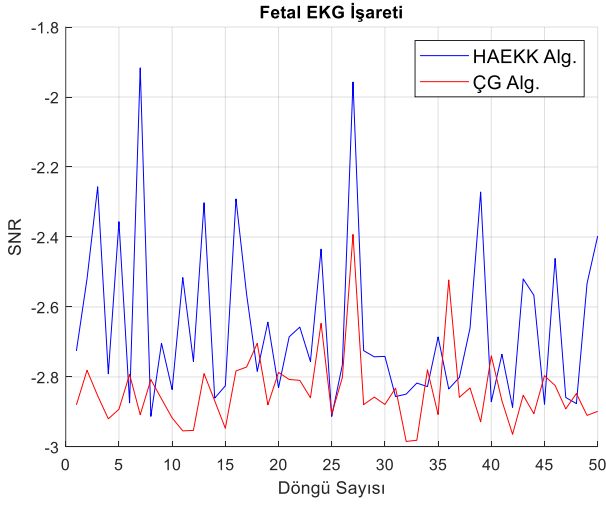
Kör kaynak ayrıştırmada, popüleritesini koruyan biyomedikal işaretlerin ayrıştırılması gittikçe önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda anne karnındaki bebeğin EKG'si, annenin EKG'si ve istenmeyen gürültü işaretleri birbirlerinden ayrıştırılmıştır. Kullanılan işaretlere ait veri tabanı (<https://physionet.org/content/nifecgdb/1.0.0/>, 2021) sitesinden alınmıştır. Şekil 1'de bu üç işarete ait frekans farklılıklarının gözle görülmesi için 1500 örnek adımları dikkate alınarak gösterilmiştir. Bu işaretlerin ayrıştırılmasında kullanılan algoritmaların kararlı çalıştığını gözlemlemek için 50 kez tekrarlanarak gözlem verileri oluşturulmuştur. Fetal EKG işaretinin frekansı anne EKG işaretinin frekansına göre daha yüksektir. Farklı frekanslardaki pik noktalarından dolayı algoritmaların performansı çok değişkenlik göstermiştir.



Şekil 1. Kaynak İşaretleri

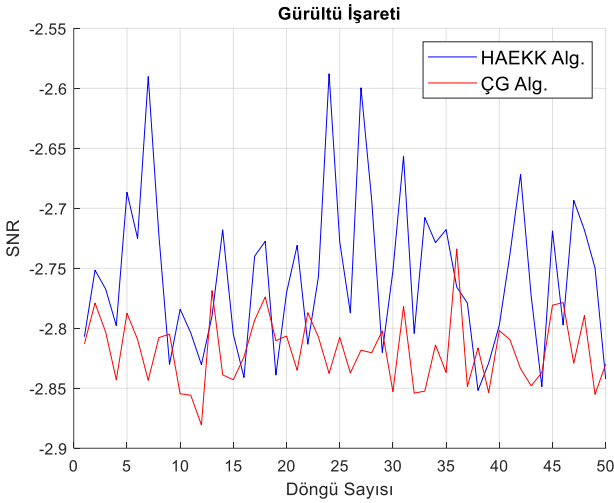
Şekil 2'deki grafikte Fetal EKG'ye ait işaretin HAEKK algoritması ve ÇG algoritmasına ait performansları karşılaştırılmıştır. HAEKK yönteminin ÇG yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. İşaretlerin kararlı olarak veri ayrıştırılmasında ortalama 10000 örnek adımları dikkate alınarak ayrıştırma yapılmıştır. Şekil 2'ye bakıldığında HAEKK yönteminin ayrıştırma performansının karıştırma matrisi değerlerinden daha fazla etkilendiği görülmektedir. Bu yöntemde

SNR değerleri -1.6 dB ile -2.9 arasında değişmektedir. Buna rağmen ÇG yönteminde bu değişim daha azdır.



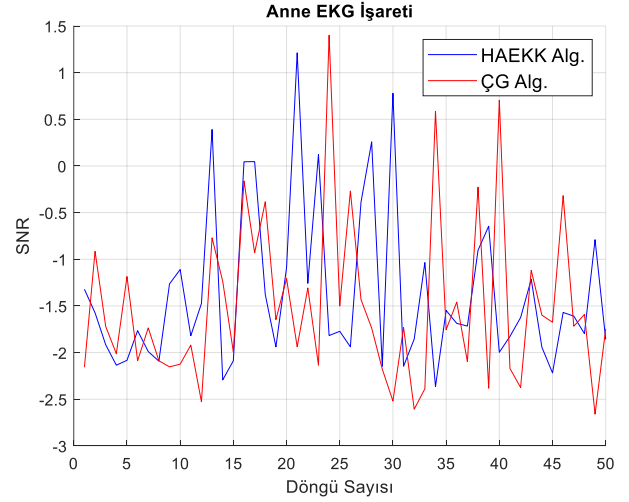
Şekil 2. Döngü Sayısına Göre Fetal EKG İşaretinin Ayrıştırılması

Her iki yöntemin gürültü işaretini ayrıştırma performansı Şekil 3’de verilmektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere gürültü işaretinin ayrıştırılmasında HAEKK yöntemi daha başarılıdır. Rastgele oluşturulan karışım matrisinin değerine göre HAEKK yöntemi -2.6 dB’lik SNR ile gürültü işaretini ayrıştırmayı başardığı görülmektedir. Ayrıca HAEKK yöntemi en başarısız ayrıştırma da bile -2.85 dB’lik bir değer sağlamaktadır.



Şekil 3. Döngü Sayısına Göre Gürültü İşaretinin Ayrıştırılması

Şekil 4’de ise anne EKG’si ayrıştırılmış ve HAEKK yöntemi ile ÇG yöntemi değişken şekilde SNR oranlarına sahiptir. Şekil 4’den anlaşıldığı üzere, anne EKG ‘si için her iki yöntemin performansı birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4. Döngü Sayısına Göre Anne EKG İşaretinin Ayrıştırılması

Tablo 1’de karışmış işaretlerin örnek sayıları dikkate alınarak yöntemler çalıştırılmış ve işlem süreleri yönünden karşılaştırılmıştır. Örnek sayıları 500, 1000, 5000, 10000 ve 15000 olarak alınmış ve saniye cinsinden değerleri verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi HAEKK yöntemi maliyet açısından ÇG yöntemine göre zaman açısından avantaj sağlamıştır.

Tablo 1. Algoritmaların Çalışma Süreleri

Örnek Sayısı	HAEKK Alg. İçin Zaman (s)	ÇG Alg. için Zaman (s)
500	0.8530	2.3825
1000	1.5949	2.3186
5000	4.0680	13.8425
10000	5.4453	21.0146
15000	7.1224	25.4752

## 4. Sonuç

Negatif olmayan matris ayrıştırma algoritmalarının performanslarını ölçmek ve değerlendirmek için EKG ve Fetal EKG işaretlerinin standart veri tabanı kullanılarak gerekli simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışmada anne vücudundan alınan anne ile bebek EKG’leri negatif olmayan matris ayrıştırma yöntemlerinden olan HAEKK ve ÇG yöntemleri ile ayrıştırılmıştır. Özellikle anne EKG işareti ve Fetal EKG işaretinin ayrıştırılmasında HAEKK yöntemi çok iyi başarı oranı sağlamıştır. Ölçüm sonuçları işaret/gürültü oranı ile grafiklerde değerlendirilmiştir. İşlem maliyeti açısından bakıldığında da HAEKK yönteminin avantajlı olduğu saptanmıştır.

## Kaynakça

- Badeau, R., Bertin, N., & Vincent, E. (2011). Stability analysis of multiplicative update algorithms for non-negative matrix factorization. *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2148–2151. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2011.5946752>
- Burred, J. J. (2014). *Detailed derivation of multiplicative update rules for NMF*.

- Çelik, H., Ilgın, F. Y., & Sevim, Y. (2019). Kanonik Korelasyon Analiz Tabanlı Ses Ayırıştırma Algoritmalarının İşlem Süresi Azaltımı. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(2), 55–59.
- Çelik, H., Ilgın, F. Y., & Sevim, Y. (2019). Müzik İşaretlerin Tek Kanal Kör Kaynak Ayırıştırma İle Ayırıştırılması. *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 14(1), 26–38.
- Çelik, H., & Karaboğa, N. (2020). Ses İşaretlerinin Ayırıştırılmasında Kör Kaynak Algoritmalarının Performans Analizleri. *European Journal of Science and Technology Special Issue*, 399–404.
- Choi, H., Park, J., Lim, W., & Yang, Y. M. (2021). Active-beacon-based driver sound separation system for autonomous vehicle applications. *Applied Acoustics*, 171, 107549.
- Cichocki, A., & Phan, A. H. (2009). Fast local algorithms for large scale nonnegative matrix and tensor factorizations. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E92-A(3), 708–721.
- Çiflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2020). Multiple Antenna Spectrum Sensing Based on GLR Detector in Cognitive Radios. *Wireless Personal Communications*, 110(4), 1915–1927.
- De Oliveira, D. R., Lima, M. A. A., Silva, L. R. M., Ferreira, D. D., & Duque, C. A. (2021). Second order blind identification algorithm with exact model order estimation for harmonic and interharmonic decomposition with reduced complexity. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 125, 106415.
- Gillis, N., & Glineur, F. (2008). *Nonnegative Factorization and The Maximum Edge Biclique Problem*.
- Curve, D., & Krishnan, S. (2020). Separation of Fetal-ECG from Single-Channel Abdominal ECG Using Activation Scaled Non-Negative Matrix Factorization. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(3), 669–680.
- Ho, N. D. (2008). *Nonnegative matrix factorization algorithms and applications*. SIAM Conference on Optimization.
- <https://physionet.org/content/nifecgdb/1.0.0/>. (2021). *Non-Invasive Fetal ECG Database v1.0.0*.
- İlgin, F. Y. (2020). Energy-based spectrum sensing with copulas for cognitive radios. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 68(4), 829–834.
- Kim, J. (2011). *Nonnegative Matrix And Tensor Factorizations, Least Squares Problems, And Applications A Dissertation Presented To The Academic Faculty*. Georgia Institute of Technology.
- Kim, J., & Park, H. (2012). *Fast Nonnegative Tensor Factorization with an Active-Set-Like Method*.
- Lee, D. D., & Seung, H. S. (1999). Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization. *Nature*, 401(6755), 788–791.
- Lee, D. D., & Seung, H. S. (2001). *Algorithms for non-negative matrix factorization*. Neural information processing systems foundation.
- Lin, X., & Boutros, P. C. (2020). Optimization and expansion of non-negative matrix factorization. *BMC Bioinformatics*, 21(1), 7.
- Mohebbian, M. R., Alam, M. W., Wahid, K. A., & Dinh, A. (2020). Single channel high noise level ECG deconvolution using optimized blind adaptive filtering and fixed-point convolution kernel compensation. *Biomedical Signal Processing and Control*, 57, 101673.
- Ramli, D. A., Shiong, Y. H., & Hassan, N. (2020). Blind source separation (BSS) of mixed maternal and fetal electrocardiogram (ECG) signal: A comparative Study. *Procedia Computer Science*, 176, 582–591.
- Ziani, S., Jbari, A., Bellarbi, L., & Farhaoui, Y. (2018). Blind Maternal-Fetal ECG Separation Based on the Time-Scale Image TSI and SVD - ICA Methods. *Procedia Computer Science*, 134, 322–327.



# Taşlama Makinalarında PLC Kullanılarak Otomatik Taşlama Uygulaması

Ayşe Kocalmış Bilhan<sup>1\*</sup>, Mahmut Cemal Kabak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5008-6784), [akbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:akbilhan@nevsehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4572-9463), [mckabak@hotmail.com](mailto:mckabak@hotmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900022)

**ATIF/REFERENCE:** Kocalmış Bilhan, A. & Kabak M.C. (2021). Taşlama Makinalarında PLC Kullanılarak Otomatik Taşlama Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 252-257.

## Öz

Sanayi devrimiyle birlikte üretim teknolojileri ve ürünleri hızlı bir gelişme süreci içerisine girdi. Günümüzde üretim sistemleri, makineler, operatörler, ürünler vb gibi birçok alanda mikroişlemci tabanlı kontrolörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler bu kontrolörler kullanılarak hem bir bilgisayar yardımıyla gözlenebilmekte hem de sonuçlar bir rapor halinde sunulabilmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli iletişim teknolojileri kullanılarak, sistemlerin birbirleri ile haberleşmeleri sağlanmasıyla uzaktan kontrol gibi yöntemlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada da gerçekleştirilen Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) kullanılarak tasarlanan sanayi tipi taşlama tezgahının otomasyonu ve çalışması anlatılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Taşlama makinası, PLC, Kontrolör, Programlama.

## An Applicaiton of Automatic Stone Grinding in Grinding Machines By Using PLC

### Abstract

With the industrial revolution, industrial technologies and products have increased rapidly. Today, microprocessor-based controllers are widely used in many areas such as production systems, machines, operators, products, etc. By using these controllers, machines or processes can be observed with the help of a computer and the results can be presented in a report. In addition, by using various communication technologies, the systems can communicate with each other, leading to the emergence of methods such as remote control. In this study, the automation and operation of an industrial type grinding machine designed using a Programmable Logic Controller (PLC) is explained.

**Keywords:** Grinding Machines, PLC, Controller, Programmer..

\* Sorumlu Yazar: [akbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:akbilhan@nevsehir.edu.tr)

## 1. Giriş

18. yy sonunda su ve buhar enerjisi kullanılarak çalışan makinelerin üretilmesiyle başlayan birinci sanayi devrimi günümüzde artık siber- fiziksel sistemlere ve dinamik veri işlemeye dayalı üretim sistemlerinin ortaya çıkmasıyla dördüncü sanayi devrimi adını alarak literatürde yerini almaktadır [1-3]. Özellikle 60'lı yılların sonu ile 70'li yılların başlarında başlayan elektronik eleman ve devrelerin gün geçtikçe gelişmesi ve hemen hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla mikroişlemci tabanlı birçok programlayıcı geliştirilmiştir. Özellikle 1969 yılında PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolörler) adı verilen kontrolörlerin tasarlanmasıyla 3. Endüstri devriminin temelleri atılmış ve bilgisayarın ve bunlarla beraber otomasyon sistemlerinin gelişmesine ön ayak olmuştur. [1]. Günümüzde özellikle otomotiv sanayi, sağlık sektörü, üretim teknoloji v.b. hassas uygulamanın gerektiği alanlarda yeni teknolojiler geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmiş teknolojik ürünler hem nüfusun hızla artmasıyla doğan ihtiyaçların üretimini kolaylaştırmış hemde üretim sürecinin daha hızlı olmasını sağlamıştır [2,3,4].

Zaman içerisinde gerek malzeme bilgisinin gelişmesi gerek ise elektrik/elektronik alanda meydana gelen gelişmeler, hassas servo motorların üretilmesi gerektiğini ortaya koydu. Bu hassas motorlar tek başlarına kullanılmayacaklarından ötürü beraber kullanılan malzemelerin de (vidalı millerin, kızakların veya motor flanşlarının) benzer hassasiyetlere sahip olması gerekir. Bu nedenle, bu malzemeleri üretmek için birçok makine geliştirilmiştir. Özellikle sanayide döküm işlemi yapabilmek için için dişi-dişi veya erkek-dişi kalıplara ihtiyaç duyulur. Bu kalıplar karşı karşıya birleştirildiği zaman dökülen metalin birleşme noktalarından sızması için iyi işlenmiş olması gerekmektedir. Bu hassasiyeti gerçekleştirebilmek için ise taşlama makineleri kullanılmaktadır. Taşlama makineleri endüstride, üniversal, nümerik kontrollü (NC) veya bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) olarak kullanılmaktadır. Üniversal makineler düşük maliyetli olduğundan dolayı ilk zamanlardan itibaren yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak maliyeti yüksek olsada CNC taşlama makineleri hassasiyetin yüksek olduğu ve üretimin yoğun olduğu yerlerde kullanılırlar. NC makineler ise fiyatları üniversal tezgâhlara göre yüksek olsa da üniversal tezgâhların kısmen bilgisayar kullanılarak hassaslaştırılmış halidir. Gelişen teknoloji, hızlanmayı ve beraberinde hassas çalışmayı da gerektirdiğinden ve uygun maliyetlerinden dolayı NC makinelerin kullanımı oldukça yaygındır [5].

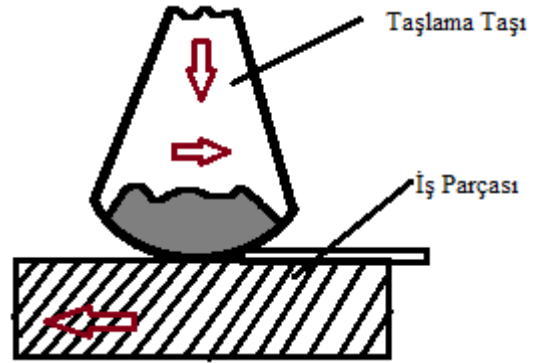
Bunun yanı sıra yapılan birçok çalışmada yakın gelecekte fosil yakıtların tükeneceği, bu yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan atıkların büyük oranda çevre kirliliğine sebep olduğu gösterilmiştir. Ancak nüfusun hızlı olarak artması, ihtiyaçların da günden güne hızlı bir şekilde temin edilmesini gerektirmektedir. Her sektör (yiyecek üretimi, kıyafet üretimi, inşaat işleri, araç üretimi vs.) için geçerli olan hızlı tüketim, hızlı üretimin zorunlu hale gelmesine sebep olmuştur. Bu nedenle de günümüzde birçok üretim tesisi farklı markalara ait otomasyon sistemi kullanmaya başlamıştır. Günümüzde büyük/küçük birçok işletmede, fabrikada Programlanabilir Mantık Devreleri (PLC) adı verilen bilgisayar destekli tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Özellikle imalat sektörünün geleneksel yöntemlerden sıyrılarak kendine yeni bir çalışma alanı bulduğu durumlarda akıllı sistemler oldukça büyük bir önem kazanmıştır [6].

Bu çalışmada, taşlama tezgâhlarında taşlamada son derece önemli olan taş bileme işleminin PLC programlayıcı kullanılarak, tamamen maliyetsiz, hızlı ve hassas bir şekilde otomatik olarak yapılması gösterilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Taşlama İşlemi ve Taşlama Tezgâhları

Taşlama, belirli bir formda imal edilmiş olan sert aşındırıcı taneçikler içeren kesici (Zımpara taşı) ile iş parçası üzerinden çok noktadan (taş genişliği kadar bir yüzey söz konusudur) talaş kaldırma işlemine denir. Yüzeyden bir aşındırıcı sayesinde parça kopararak bir nevi tesfiye eden, dönerek ilerleyen bir fener miline sahip olan ve hassas işlemlerde kullanılan tezgâhlara taşlama tezgâhı adı verilir. Şekil 1'de Taşlama tezgâhları, imalatta, ölçü olarak hassasiyeti olan ve yüzeyde pürüzsüzlük oranı yüksek olan işler için kullanılır. Endüstride yaygın olarak düzlem taşlama tezgâhları, silindirik taşlama tezgâhları, puntasız taşlama tezgâhları ve CNC/NC taşlama tezgâhları kullanılmaktadır [7,8].



Şekil 1. Taşlama işlemine ait bir görsel

Düzlem taşlama tezgâhları kendi aralarında yatay ve düşey milli düzlem taşlama makineleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Silindirik taşlama makinelerinde ise silindirik iş parçalarının dış kısımlarını silindirik veya konik olarak taşlama yapılmaktadır. Puntasız taşlama makinelerinde, iş parçası bağlanmadan, bir sevk kızıağı üzerinde, iki taş arasından geçirilerek taşlama işlemi yapılır [9].

Nümerik kontrollü sistemler (NC) ise ilk olarak 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. NC, takım tezgâhlarının sayı harf vb. sembollerden (G, M kodları veya özel komutlar) meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesidir. Ancak günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelmesiyle CNC sistemler daha popüler hale gelmiştir. CNC sistemler ile bilgisayar ortamında hazırlanan bir program ile insan eli değmesinin en düşük seviyelerde olduğu, bir parçanın işlenmesi veya işin yapılması sağlanabilmektedir. Daha önceden bu işlemler insan gücüyle yapıldığından üretim esnasında hem verim kaybı hemde ürünler arasında küçük bile olsa farklılıkların olmasına sebep olabiliyordu. Fakat CNC sistemlerin kullanılmasıyla artık bu sorunlar giderilmiştir [10]. CNC taşlama tezgâhlarında kodlanan program hafızada saklanır, gerektiği zaman defalarca kullanılır. İstenildiğinde konum değiştirme, devir sayısının değiştirilmesi ve yön değiştirilmesi gibi seçenekler eklenebilir. Bunun yanı sıra CNC taşlama makineleri ne kadar hassasiyetin yüksek olduğu ve üretimin yoğun olduğu yerlerde kullanılmak istense de maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle küçük atölyelerde tercih edilmezler. NC makineler ise tamamen bilgisayar kontrollü

olmakları için CNC makinelerine göre çok daha uygun fiyatlıdır. Gelişen teknoloji, hızlanmayı ve hassasiyeti gerektirdiği için ve uygun maliyetlerinden dolayı NC makinelerin kullanımı giderek artmaktadır.

## 2.2. Programlanabilir Mantık Denetleyiciler

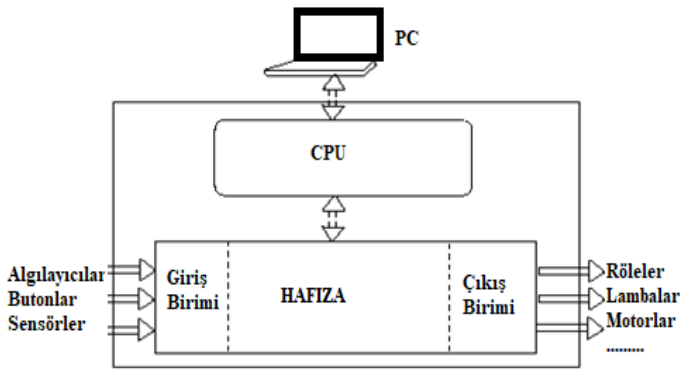
Üretim teknolojilerindeki ilerleme yapılan işlemlerde de hassasiyetin artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle makinelerin daha hassas ve verimli şekilde çalıştırılması sağlanarak endüstriye kazandırılması için otomasyon kısmının neredeyse hatasız olarak yazılması ve sisteme entegre edilmesi gerekir. Bunun dışında yapılan çalışmanın, hataları en aza indirmek, işin yapılış zamanını azaltmak ve daha hassas işleme yapmak veya kişilerden bağımsız olmak konularından en az birine de cevap vermelidir. Günümüzde Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciler (PLC/Programmable Logic Controller) adı verilen kontrolör hem bu sorunlara bir cevap oluşturabilmekte hemde hemen hemen tüm otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

PLC'ler kısaca sensör, kontak vb. algılayıcılardan aldığı bilgiyi programlayıcı tarafından kendi yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında yazılan bir program göre işleyen ve çıkış birimlerine bağlanan iş elemanlarına bilgi aktaran mikro işlemci tabanlı bir cihazdır [11]. İlk ticari PLC, 1968 yılında "MODICON" firması tarafından geliştirilmiştir ve daha sonra birçok farklı firma maliyeti daha düşük ancak performansı daha yüksek PLC'ler üretmiştir [12]. Bu çalışmada MITSUBISHI firmasına ait PLC kullanılmıştır.

PLC'lerin kullanım alanları ve amaçları değişiklik göstermesine rağmen yapı bakımından benzerlik göstermektedirler. Şekil 2'de gösterildiği gibi PLC'lerin yapısında bir güç kaynağı, merkezi işlemci ünitesi (CPU), hafıza birimi, giriş ya da algılama ünitesi (algılayıcılar, sensörler, butonlar, vs.), çıkış ya da kumanda elemanları (röleler, lambalar, sirenler, motor kontrol birimleri vs.) bulunmaktadır [13].

Şekil 2. PLC'lerin yapısı

PLC enerjilendiğinde veya çalışma durumuna getirildiğinde ilk yapılan iş, giriş (input) birimine bağlanan elemanların



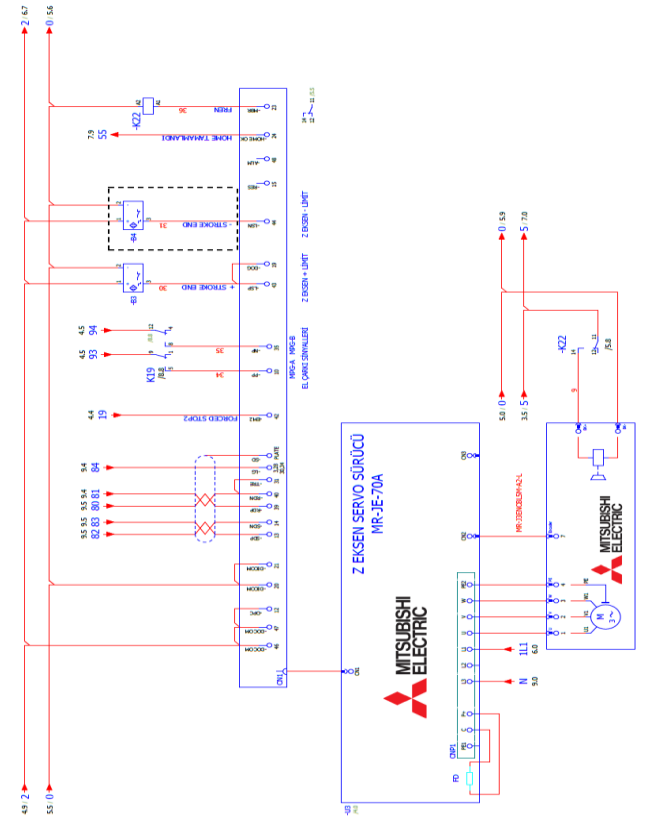
bilgileri giriş görüntü belleğine işlenir ve bu değerler bir sonraki tarama döngüsüne kadar sabit tutulur. Bunun ardından program belleğine işlenmiş komutlar sıra sıra çalıştırılır. Bu işlem basamakları sonucunda elde edilen çıkış bilgileri çıkış görüntü belleğine aktararak çıkış birimine gönderilir. Bu işlemler dizisi devamlı olarak tekrar edilir. Bu işlemlerin toplamına bir çevrim süresi adı verilir. Yazılan programların hafızadaki büyüklüğüne göre değişen döngü süreleri milisaniye seviyelerinde olup, mikro saniye seviyesinde olan PLC tipleri de mevcuttur [13].

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1 Elektrik Projesi

Bir makine veya sistem tasarlanırken projelendirilmesi; malzeme seçimi, PLC programının gidişatı ve tasarımı, üretim sürecinde karşılaşılabilecek sorunların belirlenmesi gibi konularda bir harita niteliği taşır. Elektrik projesi, sistemde oluşabilecek hataların giderilmesini önceden görerek planlı bir gidişatı uygulayıcıya sunar. Seri üretim yapılacaksa, üzerine koyarak ilerlemede büyük bir yardımcı ve kaynak olur.

Şekil 3 ile PLC kullanılarak tasarlanan otomatik taş bileme makinesinin kontrolörüne ait güç şemasının bir bölümü verilmiştir.



Şekil 3. Z Eksen Sürücüsü Elektrik Projesi

Makine 3 eksenli olarak tasarlanmıştır. Bunların biri, X ekseninin hareketi olan ve hidrolik olarak kontrol edilen eksenidir. Taşlama makinelerinde X boyunca hareket genellikle hassasiyeti olmayan, git-gel prensibiyle ve sürekli hareket eden eksenidir. Bu eksen bu nedenle hidrolik kontrollü olarak seçilir. Bu sayede yüksek güç sağlanmış, aynı zamanda hassasiyetine önem verilmeyen bir hareket ortaya çıkmış olur. Hidrolik eksen hız ayarı, üzerinde oransal valf bulunan bir üniteye +10VDC/-10VDC arası gerilim verilerek sağlanır. "+" gerilimler eksenin pozitif yönde, "-" gerilimler ise eksenin negatif yönde ilerlemesini sağlar. Gerilimin genliği yani voltaj değeri ise eksen hareket hızını belirler. Bunu yaparken valf bobinini gerilim kadar çekerek o oranda itme kuvveti oluşmasını sağlayarak yapar.

Makinedeki diğer eksenler servo motorlarla hareketi sağlanan hassas işleme yapan eksenlerdir. Burada motorlar PLC ile haberleşirken RS232 soketi üzerinden veya PLC'den aldığı

bilgilerle hareketi algılar. Sürücüler üzerinden SDP, SDN, RDP ve RDN pinlerine hareket ile ilgili bilgiler gönderilir.

Sürücülere eksenlerin durması gereken yerler “HARD-LIMIT” olarak adlandırılan eksen son sınırlarının bilgisi de, direkt sensör sinyalinin alınarak girilmiştir. Makine ilk açıldığında referanslar da bu sensörlerden gelen bilgiler yardımıyla bilinecektir. Eksen referansa gittiğinde home tamamlandığını PLC ye bildirecek bir sinyal yine sürücüler üzerinden gönderilecektir. MR-JE-70A sürücüler üzerinde el çarkı sinyallerinin okunabileceği bir giriş de mevcuttur. Fakat el çarkı sinyalleri eksen seçimine göre olacağı için çift kontaklı bir röle yardımıyla PLC ye seçtirilmiştir. Seçilen eksen PLC ye sinyal olarak gidecek, bu bilgiye göre PLC röle seçimi yapacak el çarkından gelen A ve B sinyalleri sürücülere gönderilecektir.

Eksen sürücülerinin servo motorlarla olan iletişimleri enkoder kabloları ile sağlanmaktadır. Ayrıca sürücülerden motorlara, güç kabloları da gitmektedir. Güç kabloları haricen değil sürücü üzerinden alınmasının sebebi, verilen bilgilere göre hareket etmesini sağlamaktır.

Sürücülere eksen sınırlarını bildiren sensör sinyalleri girilmiştir. Y ve Z eksenini HARD-LIMIT sensörleri CN1 soketinin 43 ve 44 numaralı pinlerine girilmiştir. Girilen sensörün hangi yönde sınır belirleyeceği sürücü parametreleri üzerinden ayarlanabilmektedir. Girilen sinyaller aynı zamanda referans noktalarını da belirttiği için 19 numaralı pin e gelen sinyallerden referans noktasını bildiren pin’in sinyali de kısa devre edilmiştir. 19 numaralı pin “home” sinyali girişidir. PLC yazılımına göre eksen home noktasını görene kadar hareket edecek ve sensörü geçene kadar 5mm aksi yönde ilerleyecektir.

Eksen sürücülerindeki diğer fark ise Z ekseninin aşağı yönde limit sensörünün bulunmamasıdır. Aşağı yönde hareket ederken Z ekseninin alt sınırını belirleyecek bir kıstas yoktur. Çünkü makinede manyetik tabla çıkarılarak da çalışma yapılabilmektedir. Aynı zamanda taş boyutları küçüldükçe düşey eksen daha aşağı inmesi gerekecektir. Bu durumlarda taşın çapı gibi makine tarafından bilinmeyen ve değişen özelliklerden dolayı düşey eksene alt sınır sensörü konmamıştır.

### 3.2 İş Mili Sürücüsü ve Analog Sinyaller

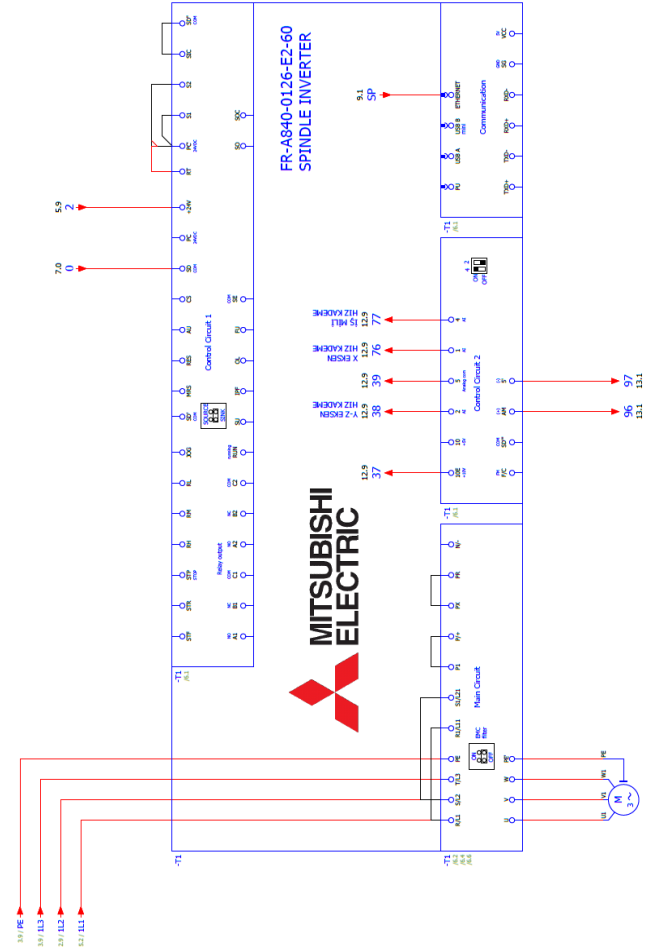
Şekil 4 ile iş milini süren invertere ait elektrik projesi gösterilmektedir. İş mili eviricisi bir çeşit özelleştirilmiş frekans eviricisidir. Frekans eviricileri şebekeden aldığı frekansları içerisindeki kondansatör, bobin gibi devre elemanlarıyla artırıp azaltabilir. Bu şekilde çıkışına farklı frekanslarda gerilim vererek AC motorların çalışma hızını değiştirirler. AC motorların hızı Denklem 1 ile hesaplanır.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (1)$$

Bu denklemde; Burada  $n_s$  hızı,  $f$  frekansı,  $P$  ise kutup sayısını ifade etmektedir. Frekans eviricisi, Mitsubishi FR A840 modeli olarak seçilmiştir. Bu model üzerinde Ethernet haberleşmesi mevcuttur. Bu sayede PLC ile haberleşebilir ve bilgi gönderebilir. Aynı zamanda bu evirici modülü üzerinde analog giriş çıkışları olan basit bir PLC de mevcuttur. Sistemde kullanılması gereken analog giriş çıkışlar, PLC üzerinde yeni bir modül gerektirdiği için eviriciden haberleşme ile alınarak PLC ye girilmiştir.

Evirici üzerinde değerlendirilen analog sinyaller sistemin çıkışlarını etkileyecek şekilde ethernet bağlantısı ile

ilişkilendirilmiştir. Bu şekilde bağlı sistemlere MODBUS denmektedir. Modbus ile bağlı sistemlerin birbirleri ile haberleşmesi ise PROFIBUS olarak adlandırılmaktadır.

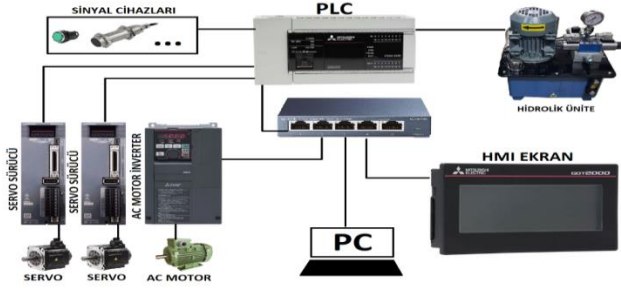


Şekil 4. İş Mili Sürücü Projesi

### 3.3 PLC Yazılımı

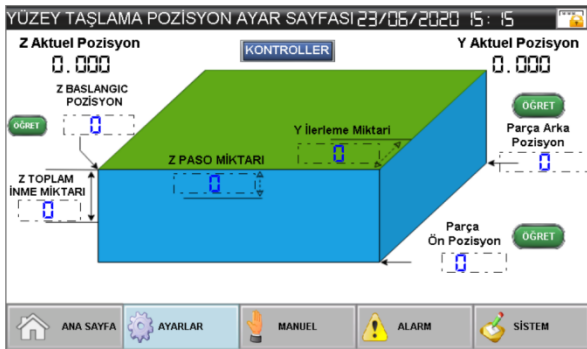
Bu çalışmada; makine, eksen motorları, sürücüler, iş mili motoru eviricisi, ekran ve PLC bir set olarak kullanıldığından bu PLC'ye ait arayüz tasarım programı olan GT Designer3 Versiyon 1.217B programı kullanılmıştır. PLC'de programlama kodlama, ladder diyagramı ya da fonksiyon blokları kullanılarak yapılabilirken, bu çalışma sırasında daha çok ladder diyagramı ile programlama tercih edilmiştir.

Arayüz, eksen hareketlerinin, ekrandan girilen değerlerin PLC ile yorumlanıp, makinenin çalışmasını ve komutlandırılmasının daha basit şekilde yapılmasını sağlar. Bu çalışma sırasında; gitme komutu, miktar bilgisi, iş mili devir bilgisi, mod bilgileri, hız bilgisi ve pozisyon bilgisi PLC için girdi bilgileri olarak seçilmiş, alarm, tarih/saat bilgisi, zorlanma bilgisi, işlem sonu bilgisi, referans bilgisi ve güvenlik önlemleri çıkış bilgisi olarak tercih edilmiştir. Ayrıca yüzey taşlama ve alın taşlama için de iki farklı seçenek belirlenmiştir. Yüzey taşlamada parçanın kesme yönü Z ekseninde, ilerleme yönü ise Y ve X eksenlerindedir. Alın taşlamada zımpara taşının yan yüzeyleri kesme yapar. Kesme yönü Y eksen, ilerleme yönü ise X ve Z eksenleridir. Bunun yanı sıra hem otomatik hemde manuel (elle) çalışma seçenekleri eklenmiştir. Şekil 5 ile taşlama makinasının kontrolü sırasında kullanılan elemanlara ait bir yapı gösterilmektedir.



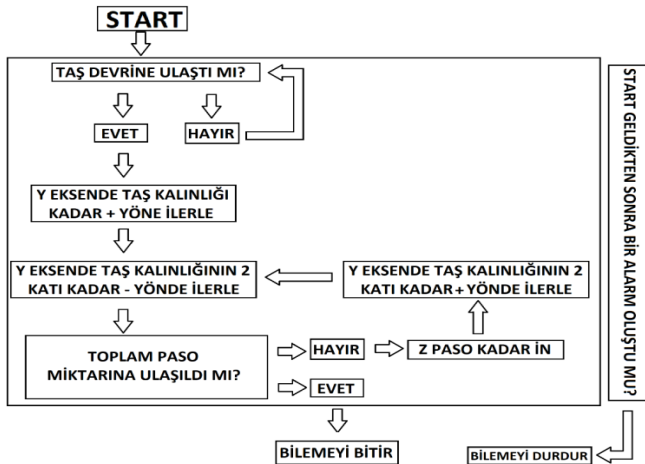
Şekil 5. Taşlama makinasına çalışmasına ait bir görünüm

Ana sayfa ve diğer sayfalar (ayar sayfası vb.) HMI ekran ile Ethernet kablosu üzerinden PLC ye bağlanmakta ve haberleşerek üzerindeki verileri PLC'ye göndermektedir. PLC bu verileri alarak değerlendirir ve motorlara veya diğer çıkış elemanlarına komut gönderir. Örneğin; motorda gönderdiği gitme komutundan sonra motor hangi konumda olduğunu PLC ye bildirir ve bu bilgiyi PLC ekrana yansıtır. Makine istenen yere gidememişse, bir zorlanma olmuş, motor durmuşsa alarm bilgileri ekrana yansiyacaktır. Yapılan ayarlarla kullanıcıya ilk olarak yüzey taşlama mı veya alın taşlama mı yapılacağı sorulur. Daha sonra; yüzey taşlama seçilmiş ise parçanın Y ön pozisyonu, Y arka pozisyonu, Z yüzey pozisyonu ve taşlamada alacağı paso, toplam paso, Y kayma miktarı değerleri girilebilir. Şekil 6 ile yüzey taşlama seçildiği takdirde karşılaşılabilecek ekran görüntüsü verilmektedir.



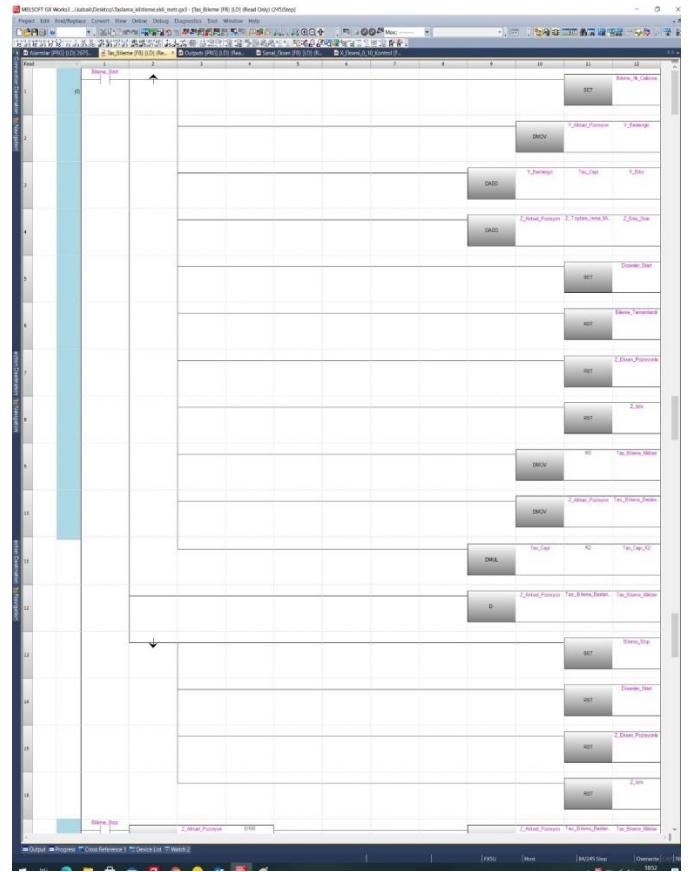
Şekil 6. Yüzey Taşlama Sayfası

Sistemin haberleşmesi ethernet çoklayıcı ile sağlanmıştır. Sistem içerisinde dokunmatik ekran, AC motor evircisi, PLC sistemin yazılımlarının yazılabileceği PC bağlantıları için 4'lü Ethernet çoklayıcı monte edilmiştir. Şekil 7'de sistemin çalışmasına ait bir akış blok diyagramı gösterilmektedir.



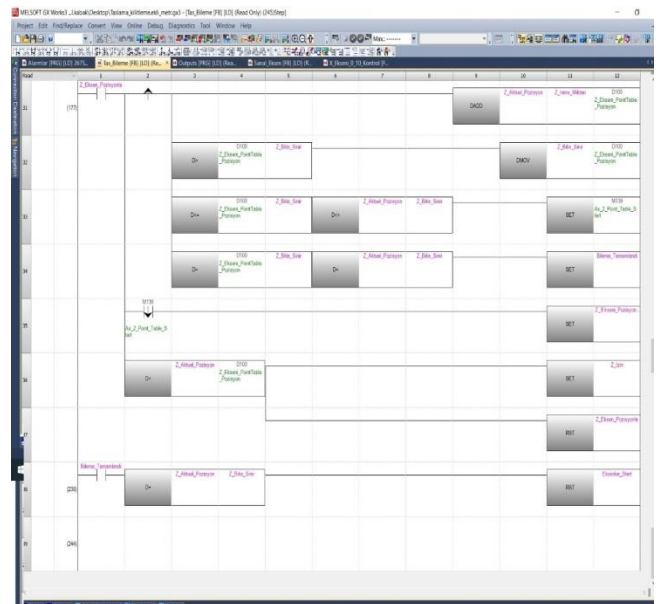
Şekil 7 Sistemin Çalışmasına Ait Blok Diyagramı

PLC programı kullanılarak gerçekleştirilen bileme işlemine ait programa ait bir görsel Şekil 8 ile gösterilmektedir.



Şekil 8. Bileme İşlemine ait Ladder Diyagramı.

Taş bileme tamamlandıktan sonra bilenen miktar kadar taş küçüleceği için bu değer parça sıfırının yerini değiştirecektir. Bu nedenle bileme tamamlandıktan sonra bilenen kadar değer parça yüzey seviyesine eklenir. Bu sayede küçülen taş parça sıfırını etkilememiş olacaktır. Operatörün bilenen kadar değeri değiştirmesi gerekmeyecek bunu yazılım otomatik olarak yapmış olacaktır. Bu durum Şekil 9'de verilen Ladder diyagram ile gösterilmektedir.



Şekil 9. Taş Bileme Bitişe ait Ladder Diyagramı



## 4. Sonuç

Makinelerin daha hassas ve verimli şekilde çalıştırılması sağlanarak endüstriye kazandırılması için otomasyon kısmının hatasız olarak yazılması ve sisteme entegre edilmesi gerekir. Bunun dışında yapılan çalışmanın, hataları en aza indirmek, işin yapılış zamanını azaltmak, kişilere bağlı olmamak veya daha hassas işleme yapmak konularından en az birine de cevap vermelidir. Bu çalışmada taşlama makinelerinin PLC ve HMI kontrolü ile yapılan çalışmalarında verimi artırmak amacıyla zaman zaman her parça için 30 dk zaman kaybına sebep olan bileme işlemini otomatik olarak yapılması ele alınmıştır. Bu işlemin otomatik olarak yapılması ile endüstride önemli olan 30 dk gibi bir sürenin yaklaşık 10 dk ya indirilmesiyle %33 e kadar zaman tasarrufu sağlanmıştır. Aynı zamanda makine, parçada ölçü bozulmasını engelleyerek verimin artırılması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra işlenecek parça cinsine ve formuna göre taş bileme yapılarak aşındırıcının daha uzun süre dayanması ile tasarruf sağlanması amaçlanmıştır.

## 5. Teşekkür

Yazarlar bu çalışma sırasında katkılarından dolayı Taksan Makina Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne teşekkür eder.

## Kaynakça

- [1]. Laughton M. A.,Warne D. J. (2003). Electrical Engineer's Reference book, Newnes, Chapter 16 Programmable Controller.
- [2]. Soylu, (2013). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar, Pamukkale Üniversitesi Sosyal bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 32, sayfa 43-57.
- [3]. Gelen, S., Onur, B. (2020) Endüstri 4.0 uyumlu DC Wattmetre Tasarımı, Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Sayı 11 (3), sayfa 907-913.
- [4]. Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll M. ve Zühlke, D. (2014) Human-machine-interaction in the Industry 4.0 Era, 12.

- IEEE International Conference on Industrial Informatics, Brasil, sayfa 89–294.
- [5]. Uğuz, S., Zehir, B (2020). İmalat Mühendisliği Eğitimi için Sanal Gerçeklik Sistemi ve Tasarımı ve Geliştirilmesi, GU J Sci, Part C, 8(4), 845-857.
- [6]. Dengiz, Orhan (2017). Endüstri 4.0 Üretimde Kavram ve Algı Devrimi, Makine Tasarım ve İmalat Dergisi, 15(1), 38-45.
- [7]. Gandhi A., Sangeetha M. (2018). Development of an Image Processing Algorithm for Smart CNC Machines. IEEE Transactions on Smart Processing & Computing, 7 (3) 232-235.
- [8]. Londono J.C., Mario L.E., Mora R. (2018). Positioning of the Cutting Tool of a CNC Type Milling Machine by Means of Digital Image Processing, In Advances in Computing CCC 2018.
- [9]. Lopera J.C.L., Mora J.E.G., Mesa E. (2018). "Positioning of the Cutting Tool of a CNC Type Milling Machine by Means of Digital Image Processing". In Colombian Conference on Computing.
- [10]. Öztürk, S., Kuncan, M. (2020). "Kameradan Alınan Görüntünün CNC Tezgâhında Gerçek Zamanlı Olarak İşlenmesi". BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9(3), 1251-1263.
- [11]. Mirzaoğlu, İteriş (2008). PLC ve SCADA Kullanarak İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu.. Ankara ,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [12]. Özen, F., Şimşek, M.A. (2019). "Realization of A Building Automation System Using PLC And SCADA". International Journal of Engineering and InnovativeResearch, 1(1), s. 28-34.
- [13]. Özen, F., (2019). "PLC ve SCADA Kullanarak Bir Bina Otomasyon Sisteminin Gerçeklenmesi, Uzaktan Kontrolü ve İzlenmesi". Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.



# Fingerprint Pattern Classification by Using Various Pre-Trained Deep Neural Networks

Yucel Cimtay<sup>1</sup>, Bensu Alkan<sup>2</sup>, Berkan Demirel<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> HAVELSAN, Image and Signal Processing Group, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2980-9228), ycimtay@@havelsan.com.tr

<sup>2</sup> HAVELSAN, Image and Signal Processing Group, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3176-1980), balkan@havelsan.com.tr

<sup>3</sup> HAVELSAN, Image and Signal Processing Group, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5759-6410), bdemirel@havelsan.com.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903999)

**ATIF/REFERENCE:** Cimtay, Y, Alkan, B. & Demirel, B. (2021). Fingerprint Pattern Classification by Using Various Pre-Trained Deep Neural Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 258-261.

## Abstract

Biometrics technology is very important in terms of security issues like the identification of personal identity. Many solutions have been offered regarding biometric technology such as eyes-iris recognition, face recognition and vein pattern recognition. Moreover, one of the today's most important authentication methods is fingerprint recognition. Each fingerprint has different pattern of ridges, valleys, deltas and cores. Those pattern types indicate unique fingerprints such as arch, left loop, right loop, tent arch and whorl. The issue of fingerprint pattern recognition is a crucial prior step to speed up the matching process of fingerprint recognition systems. Therefore, an accurate pattern recognition method is always needed, especially for large fingerprint databases. Besides traditional methods, recently, CNN is mostly used for fingerprint pattern recognition and there are many studies in the literature which achieve high recognition rates. In this study, we propose an automated technique toward fingerprint classification using various pretrained CNNs Xception and NasNetLarge in order to increase recognition rates. We performed experiments using NIST Special database 4 and we achieved 97.3 98.5% recognition rates respectively, which are the best scores up to now, for four categories: arch, right loop, left loop and whorl. The models was also tested into 5 fingerprint classes which arch and tented arch were seperated as two different classes with the recognition rate of 91.5% and 90.2% respectively.

**Keywords:** Fingerprint recognition systems, Deep learning, Convolutional Neural Network, Pattern recognition, Henry classification system.

## Onceden Egitilmiş Cesitli Derin Sinir Aglari Kullanarak Parmak İzi Örüntü Sınıflandırma

### Öz

Biyometri teknolojisi, kişisel kimlik tespiti gibi güvenlik konuları açısından oldukça önemlidir. Göz-iris tanıma, yüz tanıma ve damar örüntüsü tanıma gibi biyometrik teknoloji ile ilgili birçok çözüm sunulmuştur. Dahası, günümüzün en önemli kimlik doğrulama yöntemlerinden biri parmak izi tanımadır. Her parmak izinin kendine özgü sırt, çukur, delta ve çekirdek model örüntüsü vardır. Bu örüntüler lasso(ilmek), ark(yay) ve wirbel gibi benzersiz parmak izi tiplerini oluşturur. Parmak izi paterni tanıma sorunu, eşleştirme sürecini hızlandırmak için çok önemli bir ön adımdır. Bu nedenle, özellikle büyük parmak izi veritabanları için her zaman doğru bir örüntü tanıma yöntemine ihtiyaç vardır. Geleneksel yöntemlerin yanı sıra son zamanlarda parmak izi örüntü tanıma amacıyla daha çok CNN kullanılmaktadır ve literatürde yüksek tanıma oranlarına ulaşan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, tanıma oranlarını artırmak için önceden eğitilmiş Xception ve NasNetLarge CNN mimarilerini kullanarak parmak izi sınıflandırmasına yönelik otomatik bir teknik öneriyoruz. NIST Özel veritabanı 4'ü kullanarak deneyler yapıldı ve dört kategori için: yay, sağ lasso, sol lasso ve wirbel, şu ana kadarki en iyi puan olan %97.3 ve % 98,5 tanıma oranlarına ulaştık. Ayrıca model, yay ve fitilli yay iki ayrı sınıfa ayrılarakta test edilmiş ve 5 sınıf için % 91,5 ve %90.2 tanıma oranına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Parmak izi tanıma sistemleri, derin öğrenme, Evrişimli Sinir Ağı, Örüntü tanıma, Henry sınıflandırma sistemi.

<sup>1</sup>Corresponding Author: ycimtay@havelsan.com.tr

## 1. Introduction

Security solutions for biometrics continue to grow as the likelihood of hacking increases due to the advancement of IT technology, since current authentication methods do not effectively protect an individual's personal information. To decide if they belong to a specific individual, biometrics technology is used to extract human features and behavioral details.

Two forms of such technology exist. The first is used to authenticate a user using 1:1 matching by authentication with a database. The second is used to identify the user using 1:N matching through a search of their information in the database. This form uses the biological characteristics of the person such as face, iris, shape of hand, shape of ear, gate, fingerprint and voice. Such biometric information varies from individual to individual and does not change over the years. There is also a benefit because, unlike with other current authentication methods, there is no chance of memorization or exposure. Fingerprint detection has become the most commonly advertised of the different forms of biometric authentication services.

In 1684, when Neemia Couture of England first discovered that human fingerprints vary from one another, contemporary fingerprint comparison technology began. A taxonomy of fingerprints was later introduced by Henry in 1900. The fingerprint classification is based on characteristics such as, endings, bifurcations, ridges, cores, deltas and flow, right loop, double loop, left loop, whorl, and arch according to the flow. Fingerprints are categorized into 3 major groups: loops, whorls and archs. Shrestha et al.[1] indicated that 60-65% of the fingerprints are categorized as loops, 30-35% of fingerprints are encountered as whorls and 5 -10% of them are defined as arch fingerprints.

Korea has nearly 41 million images in its archive of fingerprints. A correct classification of the images is needed to find a match out of such a large number of fingerprint images.

In the next section, we discuss previous works for our task. Section 3 presents the details of our methodology and dataset. Then, we report our results. Final section presents our conclusion.

## 2. Related Literature

For the histogram derived from a fingerprint file, Kang et al. [2,3] suggested an efficient preprocessing approach for evaluating a threshold value using neuro-fuzzy method or a neural network. After extracting the ridge information in 16 directions using the Markov model for preprocessed fingerprint images, Jeong and Lee [4] classified them with 88% accuracy while changing the Markov model value using a genetic algorithm.

The most significant flaw in current studies is the thinning needed to obtain ridge direction data. Noise is introduced by thinning, such as twigs that were not present in the original shot. Additional image processing should be used to minimize such noise. In this research, using a convolution neural network, we attempt to classify fingerprints without a thinning method (CNN).

Krizhevsky et al. [5], suggested by Hinton's Supervision team, won the ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition (ILSVRC) by a factor of 16 percent over the second-place team in 2012. Deep learning gained prominence after that, and it is now used in a number of areas, including identification and classification. A fingerprint recognition method using the

deep learning method was proposed by Wang et al.[6]. In an updated version of the neuro-fuzzy method, Bae et al.[7] classified fingerprints.

A research combining an ensemble approach was performed by Peralta et al.[8] using an improved Alexnet model. Various other experiments have since been carried out. To boost the consistency, preprocessing is applied to an input fingerprint image [9]. By collecting and studying image characteristics using a CNN, fingerprint classification is then carried out.

## 3. Material and Method

### 3.1. Dataset

Labelled fingerprint datasets are rarely open to public access. Therefore it is not easy to handle these kind of special datasets. In this work, NIST (National Institute of Standards and Technology) Special Database 4 fingerprint dataset is used for training and test purposes. This dataset has 5 group of fingerprint patterns which are: arch, right loop, left loop, tented arch and whorl. Each group has 400 labelled fingerprints, belong to 50 people. One example for each fingerprint pattern is given in Figure 1. Although each person has different fingerprint, the similarity of fingerprint patterns provide scientists to assign a test fingerprint to a fingerprint pattern. This operation makes the actual classification easier and faster.

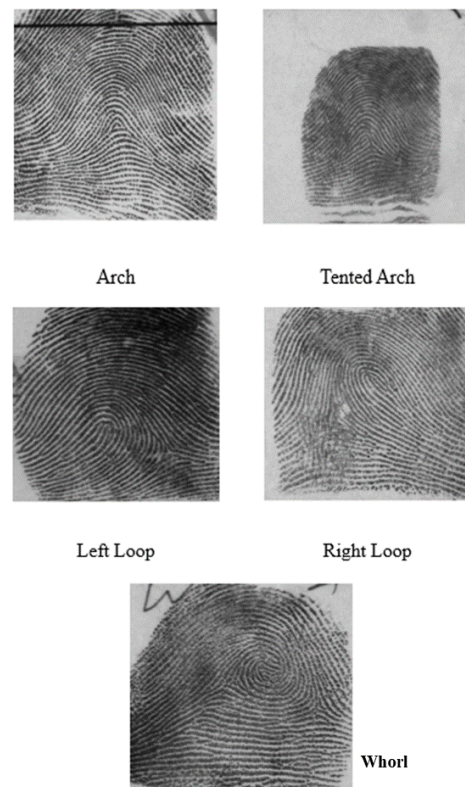


Figure 1. Fingerprint patterns

### 3.2. Proposed Method

In order to remove the effect of different lighting conditions, each fingerprint image in the dataset is normalized. In this study we use two different deep learning structures. The first one is using the pre-trained CNN network: NasNet-Large as the base layer.

This model is a state-of-the art CNN model which achieves the best classification accuracy on image-based datasets [10]. The other layers following the base layer are given in Table-1. Furthermore, the training parameters are provided in Table-2. Another pre-trained CNN architecture used in this study is Xception model. The structure of this model after the base layer is similar to the first one.

The fingerprint data is first shuffled and then randomly divided into training and test sets prior to training. 75% of fingerprint images are assigned as training set and 25% is assigned as test set. The training is implemented by using Keras on Python environment.

Table 1: Layer description of CNNs.

Layer (type)	Output Shape
NasNet-Large / Xception	(None, 331, 331, 3)
NasNet_function / Xception_function	(None, 8, 8, 2048)
GlobalAveragePooling2D	(None, 2048)
Dropout	(None, 2048)
Dense	(None, 4)

Table 2: Training parameters of CNNs.

Parameter	Value
optimizer	Adam
loss	categorical_crossentropy
shuffle	True
Number of epochs	300
batch_size	64

## 4. Results and Discussion

We have evaluated the proposed network with NIST database. The confusion matrixes for 4 classes and 5 classes are given in Tables 3 and 4. The left bottom corner of each table provides the general accuracy which are very promising for fingerprint pattern recognition among other studies in the literature. This is since we use a state-of-the art pretrained model which is very successful for image classification-based problems.

In Table 3 and 4, we provide the precision and recall scores as well. The best recall score for 4 classes case is achieved by Whorl and Right Loop classes and the best precision is by Whorl. Similarly, in 5 classes case, the best recall and precision scores are handled for Whorl. Since delta and core patterns are lost in worn and bad quality fingerprints CNN model does not classify these fingerprints correctly regardless of fingerprint types.

Table 3: Confusion matrix for 4 classes for NasNetLarge.

Target Class	NIST Special Database 4					recall
	Arch	98	1	1	0	0,98
L. Loop	1	99	0	0	0,99	
R. Loop	1	0	98	1	0,98	
Whorl	0	1	0	99	0,99	
	Arch	L. Loop	R. Loop	Whorl	0,985	
precision	0,98	0,98	0,98	0,99		
	Predicted Class					

Table 4: Confusion matrix for 5 classes for NasNetLarge.

	NIST Special Database 4					recall
	Arch	94	1	0	5	0
L. Loop	1	94	1	4	0	0,94
R. Loop	0	0	96	3	1	0,96
T. Arch	9	5	3	83	0	0,83
Whorl	0	2	0	0	98	0,98
	Arch	L. Loop	R. Loop	T. Arch	Whorl	0,91
Prec.	0,90	0,92	0,96	0,87	0,98	

In Table 5 we compare our result with some other studies which have implemented their methods on NIST database. According to this benchmark, our study achieves the best accuracy. Another successful study conducted in [18] achieves 97% for the same 4 classes on FVC dataset.

Table 5: Benchmark result on NIST Dataset

Study	Accuracy (%)
Candela et al. [11]	88,6
Karu et al. [12]	91,1
Jain et al. [13]	91,2
Yao et al. [14]	93,1
Zhang et al. [15]	95,3
Liu et al. [16]	92,1
Ruxin et al. [17]	91,4
Proposed (Xception)	97,3
Proposed (NasNetLarge)	98,5

## 5. Conclusion

In this study, we propose a model which uses a state-of-the-art pretrained convolutional neural network. By using this model, we classify the fingerprint patterns which was put forth by Henry. This classification issue is crucial in terms of grouping fingerprints prior to matching. Therefore, a faster matching can be possible.

We have achieved promising accuracy rates for the NIST database. This shows that using the pretrained CNN models is a good solution to solve the fingerprint pattern classification problem.

## References

- [1] I. Shrestha and B. K. Malla, "Study of Fingerprint Patterns in Population of a Community", *J Nepal Med Assoc*, vol. 57, no. 219, Oct. 2019.
- [2] J. Y. Kang, J. S. Lee, J. H. Lee, S. M. Kong, D. H. Kim, and S. B. Lee, "A study on the dynamic binary fingerprint recognition method using artificial intelligence," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 57-62, 2003. <https://doi.org/10.5391/JKIS.2003.13.1.057>
- [3] W. J. Kim, C. G. Lee, Y. T. Kim, and S. B. Lee, "Implementation of embedded system and finger print identification using ART2," *Proceedings of KIFS Spring Conference*, vol. 16, no. 1, pp. 90-93, 2006.
- [4] H. W. Jung and J. H. Lee, "Various quality fingerprint classification using the optimal stochastic models," *Journal of the Korea Society for Simulation*, vol. 19, no. 1, pp. 143-151, 2010.
- [5] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," in *Proceeding of Neural Information Processing Systems Conference and Workshop, Lake Tahoe, NV, 2012*, pp. 1097-1105
- [6] R. Wang, C. Han, Y. Wu, and T. Guo, "Fingerprint classification based on depth neural network," 2014, Available: <https://arxiv.org/abs/1409.5188>
- [7] J. S. Bae, S. K. Oh, and H. K. Kim, "Design of fingerprints identification based on RBFNN using image processing techniques," *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 6, pp. 1060-1069, 2016. <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.6.1060>
- [8] D. Peralta, I. Triguero, S. Garcia, Y. Saeys, J. M. Benitez, and F. Herrera, "On the use of convolutional neural networks for robust classification of multiple fingerprint captures," 2017, Available: <https://arxiv.org/abs/1703>.
- [9] H. I. Kim, D. S. An, and C. W. Ryu, "Fingerprint recognition," in *Proceeding of the Biometric Consortium Conference*, 2001.
- [10] Pretrained CNN: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/pretrained-convolutional-neural-networks.html>. Accessed on: 02.03.2021
- [11] Candela G T, Grother P J, Watson C I, et al. PCASYS-A pattern-level classification automation system for fingerprints[J]. *NIST technical report NISTIR*, 1995, 5647.
- [12] Karu K, Jain A K. Fingerprint classification[J]. *Pattern recognition*, 1996, 29(3): 389-404.
- [13] Jain A K, Minut S. Hierarchical kernel fitting for fingerprint classification and alignment[C]//*Pattern Recognition*, 2002. *Proceedings. 16th International Conference on. IEEE*, 2002, 2: 469-473.
- [14] Yao Y, Frasconi P, Pontil M. Fingerprint classification with combinations of support vector machines[C]//*Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication. Springer Berlin Heidelberg*, 2001: 253-258.
- [15] Zhang Q, Yan H. Fingerprint classification based on extraction and analysis of singularities and pseudo ridges[J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(11): 2233-2243.
- [16] Liu M. Fingerprint Classification Based on Singularities[C]//*Pattern Recognition*, 2009. *CCPR 2009. Chinese Conference on. IEEE*, 2009: 1-5.
- [17] Ruxin Wang, Congying Han and Tiande Guo, "A novel fingerprint classification method based on deep learning," 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Cancun, 2016, pp. 931-936, doi: 10.1109/ICPR.2016.7899755.
- [18] Jeon, Wang-Su & Rhee, Sang-Yong. (2017). Fingerprint Pattern Classification Using Convolution Neural Network. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*. 17. 170-176. 10.5391/IJFIS.2017.17.3.170.



# Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS

Ezgi Kekilli<sup>1\*</sup>, Ufuk Cebeci<sup>1</sup>, Levent Silay<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3100-906X; 0000-0003-4367-6206; 0000-0002-1971-6530), [ezgikekili12@gmail.com](mailto:ezgikekili12@gmail.com), [cebeciu@itu.edu.tr](mailto:cebeciu@itu.edu.tr), [l.silay@login.com.tr](mailto:l.silay@login.com.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903959)

**ATIF/REFERENCE:** Kekilli, E, Cebeci, U. & Silay, L. (2021). Selection of VFQ Consultant by Using Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *European Journal of Science and Technology*, (24), 262-267.

## Abstract

As technology advances exponentially projects are becoming more complex than before with the increase of uncertainty of circumstances. Companies have been looking for new methods, approaches and strategies since the industrial revolution. Companies must catch new developments, adapt quickly with high quality in order to survive. Hence, agility became an important issue and a competitive advantage. Even though agility starts from software development, it spreads to all other industries. Agile project management takes place in organizations and aims to create a fast response project environment since time is precious. There are lots of agile methodologies and each of them has different framework, rules and roles that are changed by the trend of a new methodology. Nowadays, one of the new agile methods is Value, Flow, Quality (VFQ) that is formed by Lean and Scrum methodologies. It is a work based educational method and aims to create a mindset and proper adaptation of an agile methodology. In this paper, VFQ is examined with its philosophy and benefits. Among three job applicants for finding most suitable VFQ consultant for a company, integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS method is applied.

**Keywords:** VFQ, Fuzzy, AHP, TOPSIS, Agile.

## Entegre Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Kullanarak VFQ Danışmanı Seçimi

### Öz

Koşulların belirsizliği de teknoloji ve diğer koşullarla birlikte artmaktadır. Şirketler, sanayi devriminden beri yeni yöntemler, yaklaşımlar ve stratejiler arıyorlar. Hayatta kalmak için şirketler gelişmeleri yakalamalı, yüksek kalite ile hızla uyum sağlamalıdır. Dolayısıyla çeviklik önemli bir konu ve rekabet avantajı haline geldi. Çeviklik yazılım geliştirme sektöründen başlasa da diğer sektörlerde yayılmış durumdadır. Çevik proje yönetimi, organizasyonlarda yer almaya ve zamanın değerli olması nedeniyle hızlı yanıt veren bir proje ortamı oluşturmayı hedeflemeye başladı. Çok sayıda çevik metodoloji vardır ve bunların her biri yeni bir metodolojinin trendiyle değişen farklı, kurallara ve rollere sahiptir. Günümüzde yeni çevik yöntemlerden biri Yalın ve Scrum metodolojileri ile oluşturulan Değer, Akış, Kalite'dir. İş temelli bir eğitim yöntemidir ve çevik metodolojiye ait zihniyeti ve uygun adaptasyonu oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu makalede, VFQ felsefesi ve faydaları incelenecektir. Entegre Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemi, şirket için en uygun VFQ danışmanını bulmak için üç iş başvurusunda bulunan aday arasında uygulanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** VFQ, Bulanık, AHP, TOPSIS, Çevik.

\* Corresponding Author: [ezgikekili12@gmail.com](mailto:ezgikekili12@gmail.com)

# 1. Introduction

Nowadays, organizations have higher complexity in their businesses and markets are more competitive than they used to be due to rapid technological enhancements. Survival of companies depend on changing and deciding on the correct next step. [1] Decision makers of a company, that can be in every organizational level of a company, have hard times to choose the right way. For decision makers, the selection process is very difficult to carry out, as they will have to take into consideration a lot of details as well as a lot of competing criteria. Instead of intuitive judgments, the difficulty and relevance of selection issues call for analytical methods. [2]

Furthermore, since the beginning of the agile methodology, companies have been forced to continuously improve their processes to survive. In other words, they always need to do better than before and meet the customer demands on time and with accuracy. Then, many different agile methods have been developed such as Waterfall, Scrum, Lean methodologies to achieve this goal and minimize the complexity.

From the beginning of agile thinking to now, the number of rules and iterations in methods have increased to be always up to date in a process and have a chance to choose the next step for reaching the target and controlling the process. To illustrate, in the Waterfall method process stages, lead time, and total cost were which is a agile philosophy that formed by Scrum and Lean methodologies to achieve being an agile organizations will be examined and two analytical multi-criteria decision making methods that are Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS will be applied for finding best VFQ consultant for a firm.

# 2. Method and Application

## 2.1. Method

### 2.1.1. Fuzzy Sets

Zadeh, 1965, first proposed the fuzzy set theory, which was based on the rationality of complexity because of imprecision or vagueness, to cope with the imprecision of human thought. A significant contribution to fuzzy set theory is its ability to reflect ambiguous information. The principle also enables the fuzzy domain to be filled by mathematical operators and programming. [3] A fuzzy set is an object class with a continuity degree. A set is defined by a membership function which assigns a degree of membership to each object in a range from zero to one. Many sorting methods have been developed with fuzzy numbers in the literature and no regular sequence of numbers exists.[4]

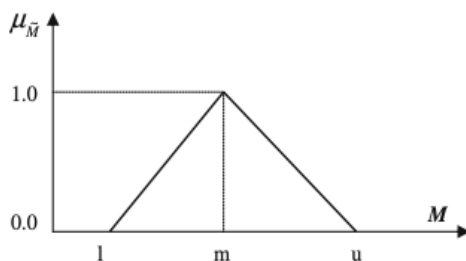


Figure 1. Triangular Fuzzy Member [5]

### 2.1.2. Linguistic Variable

The values of phrases and sentences in a language are linguistic variables, according to Zadeh. [6] In other words, linguistic variables are basically numerical equivalent of words. To illustrate, age is a linguistic variable when linguistic terms are used such as young adult, adult, teenager, not old; instead of using numerical values such as 23, 45, 14, 68 years old. The problems where it is difficult to describe mathematically can be understood with the support of linguistic variables.

	Fuzzy Definition	Triangular Scale
E	Equally Important	(1,1,1)
WI	Weakly Important	(2,3,4)
FI	Fairly Important	(4,5,6)
SI	Strongly Important	(6,7,8)
AI	Absolutely Important	(9,9,9)

Table 1. Linguistic Variables and Fuzzy Definitions

### 2.1.3. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is one of Prof. Thomas L. Saaty's original Multi criteria decision-making processes. [7] In brief, from paired comparisons with the Eigen value approach, it is a technique to extract numeric scales for qualitative or quantitative. [8] The input can be derived from real measurements such as cost, weight, etc., or from subjective views such as feelings of satisfaction and preference. In other words, AHP is "a measurement theory through pairwise comparisons and relies on the experts' judgments to derive priority scales." One of the most common MCDM methods is AHP and has many benefits, as well as drawbacks. Its ease of use is one of its benefits. Criteria number that used is not limited, but the method has a drawback when criteria are not independent. The usage of pairwise comparisons, which are used both to compare the alternatives concerning the different criteria and to estimate criteria weights, is the key feature of the AHP system. [9]

Within ambiguous, imprecise and unpredictable contexts, Fuzzy set method proved advantages and resembles human logic in its use of approximate knowledge and ambiguity to produce decisions. It was explicitly designed to reflect not certain, vagueness mathematically and provide formalized instruments to deal with the inaccuracy inherent in many decision problems. [10] Since the Fuzzy AHP method can reflect the style of human behavior, it is quite widely used while traditional AHP cannot reflect human thinking perspective. Fuzzy AHP has two types that are type-1 fuzzy sets and type-2 fuzzy sets. The main difference between the types is the number of dimensions and extra one dimension provides an extra space for uncertainties. [11]

The steps of the Fuzzy AHP method are explained in the following, according to the geometric mean value technique suggested by J.J.Buckley. [12] The criteria as a linguistic concept and then to their corresponding fuzzy values after constructing an 11-11 pairwise comparison matrix, as shown in the following matrix A;

$$\begin{matrix}
 A & 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} & & 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 & a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} & = & 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\
 & \dots & \dots & \dots & \dots & & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 & a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 & & 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1
 \end{matrix}$$

This matrix of pairwise comparison is generated according to the work of Saaty on AHP. [7] The geometric mean method is used

$$(A)^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left( \frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l} \right) \quad \text{Center of Area (COA) } W_i = ((l + m + u)/3)$$

We get a n x 1 relative weight matrix  $W_i$  as a consequence. Each element that is included in this matrix is a fuzzy triangular number.

**2.1.4. Fuzzy TOPSIS Method**

In concept and implementation, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), developed by Hwang and Yoon in 1981, is a basic ranking system. The traditional TOPSIS approach tries to choose alternatives that have the minimum distance from the positive ideal solution (PIS) and the longest distance from the negative ideal solution (NIS) at the same time. The positive ideal solution maximizes the benefit criteria and minimizes the cost criteria, while the cost criteria are maximized by the negative ideal solution and the benefit criteria are minimized. Also, TOPSIS does not demand independent attribute preferences. [13] Fuzzy TOPSIS is a multi-criteria decision technique that uses an Euclidean distance to determine the most appropriate solutions from a group of alternatives and it has several steps to be done:

- Step 1. The evaluation criteria weights are chosen, then for calculating fuzzy weights of the criteria Fuzzy AHP is applied.
- Step 2. The Fuzzy decision matrix is developed and the relevant linguistic expressions are chosen for the alternatives to the criteria.
- Step 3. The fuzzy-decision matrix is developed.
- Step 4. Determination of the Fuzzy PIS and Fuzzy NIS. After obtaining the weighted normalized fuzzy-decision matrix, the elements are normalized to positive TFN and their ranges become restricted to the closed interval [0,1]. Then, the FPIS  $A^+$  and FNIS  $A^-$  can be defined.
- Step 5. The distance from the Fuzzy PIS and Fuzzy NIS of each alternative is determined. It is possible to use the area compensation approach to evaluate the distances of each alternative from  $A^+$  and  $A^-$ .
- Step 6. For the alternatives, the distance to the ideal value is calculated.

An  $m \times 1$  matrix with final performance scores for each alternative is derived after these 6 steps. The best alternative will have the highest ranking.

**2.1.5. Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS**

To evaluate the significance weights of the evaluation criteria, the Fuzzy AHP method is applied and to place the alternatives in rank, the Fuzzy TOPSIS approach is used in the

Fuzzy TOPSIS part. The weight of the criteria that comes from Fuzzy AHP calculation becomes the input of the TOPSIS method. After using calculated weights, regarding criteria, the decision maker fills the decision matrix with data for the alternatives. Lastly, the rest of the Fuzzy TOPSIS measures are added and application steps are completed.

**2.2. Application**

**2.2.1. Information about the Firm**

Login Software was founded in 1989 to focus on innovative and customized business solutions for organizations. The company has a core principle to meet all demands of customers with a fast response. Login Software creates solutions and services that can meet the expected demands and goals of all businesses in every sector and on any size at the perfect time in connection with the right choice, high profitability, strategic strength at the forefront, steady growth, effective and innovative business management. Login Software is a Turkish company that serves the customers with its customer-oriented approach and professional, talented team. Login Software continues to provide its customers with better solutions, embracing it as a responsibility to provide instruments that will help businesses make the right decisions at the right time by presenting them with solutions that enable them to manage human resources and capital with an integrated system and turn all transactions into reportable data.

Login Software develops solutions in five categories which are provided by solutions family, by industry, by company scale, by line of business, by type of operation. Firstly, the solution family is formed by Login ERP that allows the entire resource system to be immediately dominated and clears the way for the correct decision at the proper moment to be made; Login HR that provides many simple applications connected with each other, and it allows a structure that starts from a small system and can cover all the businesses for efficient workforce planning; Login X-tra is a platform which provides applications independent from time and place; Login Pro is a system tool that is customized for a customer and it serves user-friendly, secured data bases. Secondly, the industry category is the part of the company that provides sector specific solutions with being responsive to the different needs, regulations and demands of each Turkish industry, built with years of experience and are always improving and suitable for both the domestic and global business worlds such as food industry, marine transport industry, retail industry, etc. Thirdly, Login offers solutions regarding company size such as family businesses, holdings and meeting with the budget to create sustainable process, profitability. Another category is determined by line of business that include finance, supply chain, manufacturing, human resources system solutions from end to end. Last category is dedicated to types of operation such as trading companies, hybrid companies, service companies to increase productivity and decrease waste by offering customized workflow solutions, right estimation calculations, efficient stock arrangements etc. Furthermore, apart from all five categories Login Software has five main services that are requirement analysis, application consultancy, support,



training, and customized projects. Services and solutions that Login Software offers, helps any company to optimize its processes and management from end to end and increase profitability. [40]

**2.2.2. Elimination of the Alternatives according to the Criteria**

The firm is determined eight criteria to find the best VFQ consultant. There will be many applicants, but other than three applicants are eliminated since they do not meet the criteria. Therefore, there are three applicants for VFQ consultant who are named as A1, A2, and A3 in this paper.

**2.2.3. Application of Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS**

In order to determine the relative weights of the relevant criteria mentioned below for VFQ consultant selection, this integrated approach combines fuzzy AHP. The required

CRI	Criteria	Unit
C1	Education	Fuzzy
C2	Expertise	Fuzzy
C3	Sector Knowledge	Fuzzy
C4	Analytical Thinking Skills	Fuzzy
C5	Reputation	Fuzzy
C6	Price	\$
C7	Communication Skills	Fuzzy
C8	Reliability	Fuzzy

properties of the VFQ consultant is considered and the suitable selection is made by decision-maker.

Table 2. Criteria of Evaluation

Several professionals are asked for their criteria and pair-

CRI	C1			C2			C3		
C1	1,000	1,000	1,000	4,000	5,000	6,000	6,000	7,000	8,000
C2	0,250	0,200	0,167	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000
C3	0,167	0,143	0,125	0,500	0,333	0,250	1,000	1,000	1,000
C4	0,111	0,111	0,111	0,500	0,333	0,250	0,250	0,200	0,167
C5	0,500	0,333	0,250	0,167	0,143	0,125	0,111	0,111	0,111
C6	0,250	0,200	0,167	0,250	0,200	0,167	0,167	0,143	0,125
C7	0,250	0,200	0,167	0,250	0,200	0,167	0,111	0,111	0,111
C8	0,500	0,333	0,250	0,167	0,143	0,125	0,111	0,111	0,111

wise rankings. The matrix of comparison is developed in

CRI	C4			C5			C6		
C1	9,000	9,000	9,000	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000	6,000
C2	2,000	3,000	4,000	6,000	7,000	8,000	4,000	5,000	6,000
C3	4,000	5,000	6,000	9,000	9,000	9,000	6,000	7,000	8,000
C4	1,000	1,000	1,000	9,000	9,000	9,000	6,000	7,000	8,000
C5	0,111	0,111	0,111	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000
C6	0,167	0,143	0,125	0,500	0,333	0,250	1,000	1,000	1,000
C7	0,167	0,143	0,125	0,500	0,333	0,250	0,250	0,200	0,167
C8	0,111	0,111	0,111	0,250	0,200	0,167	0,167	0,143	0,125

accordingly.

CRI	C7			C8		
C1	4,000	5,000	6,000	2,000	3,000	4,000
C2	4,000	5,000	6,000	6,000	7,000	8,000
C3	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
C4	6,000	7,000	8,000	9,000	9,000	9,000
C5	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000	6,000
C6	4,000	5,000	6,000	6,000	7,000	8,000
C7	1,000	1,000	1,000	4,000	5,000	6,000
C8	0,250	0,200	0,167	1,000	1,000	1,000

Table 3. Pairwise Comparison Matrix (C1-C3)

CRI	ri		
C1	3,29	4,04	4,73
C2	2,21	2,62	2,98
C3	2,49	2,43	2,40
C4	1,59	1,53	1,49
C5	0,60	0,64	0,66
C6	0,62	0,56	0,52
C7	0,39	0,35	0,31
C8	0,24	0,21	0,18
Total	11,43	12,36	13,27
P <sup>(-1)</sup>	0,088	0,081	0,075
INCR	0,075	0,081	0,088

Table 4. Pairwise Comparison Matrix (C4-C6)

CRI	Wi		
C1	0,25	0,33	0,41
C2	0,17	0,21	0,26
C3	0,19	0,20	0,21
C4	0,12	0,12	0,13
C5	0,05	0,05	0,06
C6	0,05	0,05	0,05
C7	0,03	0,03	0,03
C8	0,02	0,02	0,02

Table 5. Pairwise Comparison Matrix (C7-C8)

CRI	AW	NW	Rank
C1	0,33	0,33	1
C2	0,21	0,21	2
C3	0,20	0,20	3
C4	0,12	0,12	4
C5	0,05	0,05	5
C6	0,05	0,05	5
C7	0,03	0,03	6
C8	0,02	0,02	7
TOTAL	1,01		

Table 6. Fuzzy Geometric Mean Values

CRI	Description	Unit
C1	Education	Fuzzy
C2	Expertise	Fuzzy
C3	Sector Knowledge	Fuzzy
C4	Analytical Thinking Skills	Fuzzy
C5	Reputation	Fuzzy
C6	Price	\$
C7	Communication Skills	Fuzzy
C8	Reliability	Fuzzy

Table 7. The Fuzzy Weights

Term	Fuzzy Number		
Very Low	1	2	3
Low	1	3	5
Average	3	5	7
High	5	7	9
Very High	7	9	9

Table 8. Averaged and Normalized Weights

Table 9. Criteria Types

Table 10. Linguistic Variables and their corresponding Fuzzy Values

ALT/CRI	Beneficial			Beneficial			Beneficial		
	C1			C2			C3		
Candidate A1	5,000	7,000	9,000	1,000	3,000	5,000	1,000	3,000	5,000
Candidate A2	3,000	5,000	7,000	5,000	7,000	9,000	3,000	5,000	7,000
Candidate A3	1,000	3,000	5,000	7,000	9,000	9,000	5,000	7,000	9,000
<b>Best</b>	9,000			9,000			9,000		

**Beneficial Criteria:** Maximization is aimed

ALT/CRI	Beneficial			Beneficial			Cost			Beneficial			Beneficial		
	C4			C5			C6			C7			C8		
Candidate A1	1,000	3,000	5,000	3,000	5,000	7,000	10,000	1,000	3,000	5,000	3,000	5,000	7,000	9,000	
Candidate A2	3,000	5,000	7,000	5,000	7,000	9,000	11,000	1,000	2,000	3,000	5,000	7,000	9,000	9,000	
Candidate A3	5,000	7,000	9,000	5,000	7,000	9,000	15,000	1,000	3,000	5,000	9,000	9,000	9,000	9,000	
<b>Best</b>	9,000			9,000			10,000			5,000			9,000		

**Cost Criteria:** Minimization is aimed

CRI	C1			C2			C3			C4		
Candidate A1	0,556	0,778	1,000	0,111	0,333	0,556	0,111	0,333	0,556	0,111	0,333	0,556
Candidate A2	0,333	0,556	0,778	0,556	0,778	1,000	0,333	0,556	0,778	0,333	0,556	0,778
Candidate A3	0,111	0,333	0,556	0,778	1,000	1,000	0,556	0,778	1,000	0,556	0,778	1,000

Table 11. Fuzzy TOPSIS Step 1-1

CRI	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
<b>Weights</b>	0,33	0,21	0,20	0,12	0,05	0,05	0,03	0,02

Table 12. Fuzzy TOPSIS Step 1-2

ALT/CRI	C1			C2			C3			C4		
Candidate A1	0,181	0,254	0,326	0,023	0,070	0,117	0,022	0,065	0,109	0,014	0,041	0,068
Candidate A2	0,109	0,181	0,254	0,117	0,164	0,211	0,065	0,109	0,152	0,041	0,068	0,096
Candidate A3	0,036	0,109	0,181	0,164	0,211	0,211	0,109	0,152	0,196	0,068	0,096	0,123
A*	0,181	0,254	0,326	0,164	0,211	0,211	0,109	0,152	0,196	0,068	0,096	0,123
A-	0,036	0,109	0,181	0,023	0,070	0,117	0,022	0,065	0,109	0,014	0,041	0,068

Table 13. Fuzzy TOPSIS Step 2-1

ALT/CRI	C5			C6			C7			C8		
Candidate A1	0,017	0,028	0,040	0,045	0,006	0,017	0,028	0,006	0,009	0,013	0,017	
Candidate A2	0,028	0,040	0,051	0,041	0,006	0,011	0,017	0,009	0,013	0,017		
Candidate A3	0,028	0,040	0,051	0,030	0,006	0,017	0,028	0,017	0,017	0,017		
A*	0,028	0,040	0,051	0,045	0,006	0,017	0,028	0,017	0,017	0,017		
A-	0,017	0,028	0,040	0,030	0,006	0,011	0,017	0,006	0,009	0,013		

Table 14. Fuzzy TOPSIS Step 2-2

Fuzzy PIS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Candidate A1	0,000	0,127	0,087	0,055	0,011	0,000	0,000	0,008
Candidate A2	0,072	0,038	0,044	0,027	0,000	0,004	0,007	0,005
Candidate A3	0,145	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000

Table 15. Calculated Weights from Fuzzy AHP

Fuzzy NIS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Candidate A1	0,145	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,007	0,000
Candidate A2	0,072	0,094	0,044	0,027	0,011	0,011	0,000	0,004
Candidate A3	0,000	0,127	0,087	0,055	0,011	0,000	0,007	0,008

Table 16. Fuzzy TOPSIS step 4-1

Table 17. Fuzzy TOPSIS step 4-2

Table 18. Fuzzy TOPSIS step 5, Fuzzy PIS

Table 19. Fuzzy TOPSIS step 5, Fuzzy NIS

As a result, Candidate A3 is the best VFQ consultant to be chosen among the three candidates.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Results

As a result of the calculations of integrated Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP, candidate A3 is the most suitable VFQ consultant, candidate A2 is in the second row and candidate A1 is the least suitable VFQ consultant candidate among all three candidates.

Table 19. Fuzzy TOPSIS step 6

### 4. Conclusions and Recommendations

Project management approaches have been changing rapidly as technology advances exponentially. Projects are becoming more complex, but access to information is getting easier. Agility turns into necessity for organizations and pace of change is faster. Companies need to adapt quicker than before. Hence, agile project management is examined to determine what is necessary to become agile for the survival of companies in this competitive business world. Common tools that are used in

ALT/CRI	Di*	Di-	CCi	Rank
<b>Candidate A1</b>	0,288	0,167	0,367	3
<b>Candidate A2</b>	0,198	0,263	0,571	2
<b>Candidate A3</b>	0,160	0,295	0,649	1

organizations and the dissimilarity between agile project management and traditional project management is studied to observe the necessity of agility. Then, Scrum is researched in detail. Roles, artifacts, cycles of Scrum represent the main iterative approach of agile project management and there are certain rules since Scrum provides a framework. Lastly, Lean conversion is analyzed by evaluating its philosophy and application to understand VFQ approach.

VFQ was born the essential idea of two agile methodologies: Scrum and Lean and it is a work-based educational philosophy. Therefore, it is important to understand the root of VFQ that is an effective and relatively new approach. Moreover, to find a true VFQ consultant a multi-criteria decision making method that is integrated fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS are implemented among three candidates to determine the best and analysis is based on analytical calculations rather than intuitive selection processes unlike what happens in most of the companies. Fuzzy TOPSIS method is put into use with the calculated weights of the criteria that are derived from the Fuzzy AHP method. According to Fuzzy TOPSIS results, candidate A3 is the most suitable VFQ consultant, candidate A2 is in the second row and candidate A1 is the least suitable VFQ consultant candidate among all three candidates.

To sum up, VFQ has an important role for agile methodology and it is important to find the correct consultant for a company. When result of the MCDM method is investigated, the selection of Candidate A3 is the most appropriate choice for hiring.

For future research, VFQ applications can be observed in different industries and sectors. Comparative analysis can be made between different agile methodologies and hybrid systems can be also formed. Regarding to formed methods, criteria and their importance level of the integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS method can be determined by considering the sector, the approach, the project and the team. Afterwards, VFQ consultant selection can be done by using the other hybrid MCDM methods. Furthermore, there are many more MCDM tools such as VIKOR, ELECTRE, etc to use and many more fuzzy decisions to be made.

## **5. Acknowledge**

We would like to thank Tekin ÇETİNKAYA for sharing his vast knowledge and support on VFQ.

## **References**

- [1] Güngör, Z., Serhadlıoğlu, G., & Kesen, S. E. (2009). A fuzzy AHP approach to personnel selection problem. *Applied Soft Computing*, 9(2), 641-646.
- [2] Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., & Zaeri, M. S. (2007). Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. *World Academy of Science, Engineering*
- [3] Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics information management*.
- [4] TELLİ, S. S. (2020). SELECTION OF OPTIMAL URBAN REFUGEE SHELTER DESIGN BY USING INTEGRATED FUZZY AHP AND FUZZY TOPSIS (Unpublished bachelor's thesis). İstanbul Technical University.
- [5] Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 783-795
- [6] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- [7] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* Mcgraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- [8] Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.
- [9] Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International journal of operations research*, 10(2), 56-66.
- [10] Chan, F. T., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C., & Choy, K. (2008). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. *International Journal of production research*, 46(14), 3825-3857.
- [11] Cebeci, U. (2020). SELECTING LEAN SIX SIGMA MANAGER BY USING TYPE-2 FUZZY AHP WITH A REAL CASE APPLICATION IN A LOGISTICS FIRM. *Proceedings on Engineering*, 2(3), 223-236.
- [12] Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, 17(3), 233-247.
- [13] 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.



## Güneş Takip Sistemlerinde Bulanık Mantık Kontrolü

Abdi Şenol<sup>1</sup>, Orhan Ekren<sup>2\*</sup>, Savaş Şahin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0119-871X), [abdisenol@gmail.com](mailto:abdisenol@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8670-7351), [orhan.ekren@ege.edu.tr](mailto:orhan.ekren@ege.edu.tr)

<sup>3</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4165-3441), [sahin.savas@yahoo.com](mailto:sahin.savas@yahoo.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900274)

**ATIF/REFERENCE:** Şenol, A., Ekren, O. & Şahin, S. (2021). Güneş Takip Sistemlerinde Bulanık Mantık Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 268-273.

### Öz

Güneş takip sistemleri, fotovoltaik panellere gelen güneş ışınlarının dik açı ile panele gelmesini sağlayan ve elektrik enerji üretim verimini arttıran sistemlerdir. Bu çalışmada, bir güneş takip sistemi akıllı kontrol algoritmalarından bulanık mantık ile tasarlanıp, deney düzeneği üzerinde uygulaması yapılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan mikrodenetleyicinin analog girişlerine bağlı dört ışık algılayıcısından alınan veriler, oluşturulan bulanık mantık kurallarına göre yorumlanır. Elde edilen kontrol işaretleri ile servo motorlar tasarlanan mekanik yapının çift ekseninde hareket etmesini sağlayarak, fotovoltaik panelin güneş ışınlarını dik bir açı ile almasını sağlamıştır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan kontrolör gerçek sistemi kontrol etmiştir. Geliştirilen kontrol mekanizması sayesinde özellikle olumsuz hava koşullarında sistem bulunduğu konumu koruyabildiği için bu izleme yönteminin başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Kullanılan bu akıllı kontrol ve güneş takip sistemi ile fotovoltaik sistemin elektrik üretme veriminde yaklaşık %9 oranında verim artışı sağlanabildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Takip, Gömülü Sistemler, Bulanık Mantık.

## Fuzzy Logic Control of Sun Tracking Systems

### Abstract

Sun tracking systems improve energy production efficiency and also provide direct solar radiation to the photovoltaic panels. In this study, a suntracking system has been controlled via fuzzy logic control as a smart control algorithm by using an experimental setup. In the setup, there is a microcontroller with four analog input connected to light sensors and fuzzy algorithm. The resulted control signals drive the servo motors and tracks sun with two axes via Matlab/Simulink environment. In conclusion, the control system was able to keep the system very stable position especially at bad weather conditions in a good success. As a result, the smart control and sun tracking system provide 9% improvement in photovoltaic energy production efficiency.

**Keywords:** Sun tracking, Embedded systems, Fuzzy logic.

\* Sorumlu Yazar: Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8670-7351, [orhan.ekren@ege.edu.tr](mailto:orhan.ekren@ege.edu.tr)

## 1. Giriş

Bireylerin yaşam standartlarındaki değişim ve dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak, enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın olarak kullanılan fosil kaynaklı rezervlerdeki sınırlı kapasite nedeniyle daha sürdürülebilir enerji kaynakları bulmak önümüzdeki yarım yüzyıl için önemli bir problem olarak görülmektedir. Diğer yandan fosil kaynaklı rezervlerin 2080 yılına kadar tükeneceği öngörülmektedir. (Banerjee et al., 2015).

Bilindiği üzere fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sonucu açığa çıkan sera gazlarının meydana getirdiği sera etkisi, küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak da iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Bu küresel sorunu çözmek için, yenilenebilir enerji kaynaklarının, kullanımının artması gerekmektedir (de Paulo and Porto, 2018). Ençok bilinen ve kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı olan Güneş, fotovoltaik paneller yardımıyla elektrik enerjisine ve kolektörler ile ısı enerjisine dönüştürülmektedir.

Fotovoltaik paneller, günün büyük bir bölümünde güneşi görebilecek bir biçimde çatı veya açık bir alana kurulmaktadır. Çünkü güneşten alınan verimin artırılabilmesi için, fotovoltaik panel üzerine gelen güneş ışınlarının dik bir açıda gelmesi gerekmektedir (Muhammad et al., 2019). Güneş hem yıl, hem de gün boyu hareket ettiği için, bir fotovoltaik panelin mümkün olan en yüksek gücü üretebilmesi, güneşin hareketini takip etmesiyle mümkün olabilmektedir. Mevsimsel olarak modüllerin yönü güneşe doğru ayarlanarak da panellerden alınan verim artırılabilir. Bu nedenle fotovoltaik panellerin elektrik enerjisi üretim verimini arttırmak için, maksimum güç noktası izleme veya güneş takip sistemleri gibi teknikler kullanılmaktadır. Sabit bir eğim açısıyla yerleştirilmiş fotovoltaik panele kıyasla, güneş takip sistemleri yaklaşık %30 yakın elektrik üretiminde artış sağlarlar. Bu sistemlerin güneş takip açıları, yerleştirildikleri coğrafi bölgenin enlemine göre ve iklim koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Hafez et al., 2018).

Güneş takip sistemlerinin daha iyi çalışması ve verimliliği arttırmak için akıllı kontrol sistemlerinden faydalanılmaktadır (Nadia et al., 2018). Fuentes-Morales ve arkadaşları yaptıkları çalışmada güneş takip sistemlerine uygulanan kontrol algoritmalarını incelemişlerdir. Bulanık mantık kontrol algoritmasının, modern kontrol algoritmaları içerisinde %10,53'lük daha fazla tercih edilen yöntem olduğunu belirtmişlerdir (Fuentes-Morales et al., 2020).

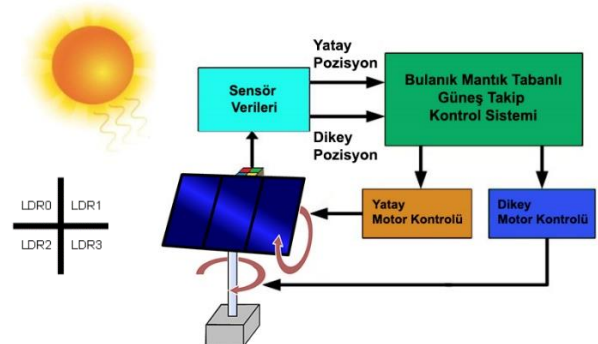
Bilimsel yazında, araştırmacıların hem tek eksenli hem de çift eksenli güneş takibi yapabilen sistemlerle ilgili birçok çalışma yaptıkları görülmektedir. Göl ve Kıyak, bulanık mantık tabanlı çalışan ve tek eksenli güneş takibi yapabilen bir sistemi, kontrol birimi olarak ATmega 328 mikrodenetleyisini kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda, bulanık mantık tabanlı olmayan tek eksenli güneş takip sistemlerine kıyasla %21,2 oranında bir enerji artışı gözlemlemişlerdir (Göl ve Kıyak, 2015). Zakariah ve arkadaşları, Arduino-Uno mikrodenetleyicisini ve 4 adet ışık algılayıcısı kullanarak, çift eksenli güneş takip sistemini bulanık mantık ile tasarlamışlardır. Doğru akım motorları yardımıyla güneşe göre konumlanmasını sağladıkları güneş takip sisteminin, sabir bir açıda yerleştirilmiş fotovoltaik panelden oluşan sisteme göre, panellerden alınan gücün veriminde %18,13 oranında bir iyileşme sağladığını gözlemlemişlerdir (Zakariah et al., 2015). Sinha ve Hui yaptıkları çalışmada, ışık algılayıcıları ve oransal-integral-türev

(PID) kontrolör kullanarak, çift eksenli güneş takibi yapabilen bir sistem tasarlamışlardır. Oluşturdukları sistemin verimini arttırmak için PID kontrolörün kazanç değerlerini ayarlamak için, bulanık mantık kontrolörünü kullanmışlardır. Bu yöntemin, fotovoltaik panel güç üretimine ortalama %29,76 oranında bir iyileştirme sağladığını gözlemlemişlerdir (Sinha and Hui, 2016). Alata ve arkadaşları, Matlab/Simulink programı yardımıyla tasarladıkları çift eksenli güneş takip sisteminde, modelleme ve kontrolör tasarımı Sugeno bulanık çıkarım sistemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bulanık kurallar ise, uyarlanabilir bir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile ayarlanmaktadır (Alata et al., 2005). Sendoya ve arkadaşları, bulanık mantık akıllı kontrol yöntemi ile çalışan, çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Güneşin konumunu 4 adet ışık algılayıcısından alınan verilere bağlı olarak belirlemişlerdir. Fotovoltaik paneli güneşe göre konumlandırmak için mamdani bulanık çıkarım sisteminin kullanıldığı modelin çıkış gücünün, sabit açıdaki panellere kıyasla %12,45 arttığını gözlemlemişlerdir (Sendoya et al., 2017).

Bu çalışmada, akıllı kontrol yöntemlerinden biri olan bulanık mantık kullanarak, çift eksenli bir güneş takip sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Matlab/Simulink yazılımı, bulanık mantık kontrol sisteminin kolay bir şekilde hazırlanıp, uygulanması ve çalışan sistemin takibinin kullanıcı ara yüzü ile yapılabilmesinden dolayı tercih edilmiştir. Arduino Uno mikrodenetleyicisinin analog girişlerine bağlı olan dört adet ışığa duyarlı algılayıcıdan alınan voltaj değişimlerine bağlı olarak güneş takibi yapılmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panel, bir platform üzerine yerleştirilmiş ve bu platformun çift eksenli hareketi servo motorlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sabit 30o'lik bir açıda yerleştirilen bir fotovoltaik panel ile bulanık mantık kontrol sisteminin kullanıldığı güneş takip sistemiyle çalışan fotovoltaik panelin verimleri karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Şekil 1'de şematik olarak gösterilen, bulanık mantık tabanlı çift eksenli güneş takip sistemi, 1,1W gücündeki bir fotovoltaik panel, panelin üzerine yerleştirilmiş 4 adet ışık algılayıcısı (LDR) ve çift eksenli hareketi sağlayabilmek için 2 adet servo motordan oluşmaktadır.



Şekil 1. Güneş Takip Sisteminin Şematik Gösterimi

Işık algılayıcılarından gölgelenme ve direkt ışık alma durumlarına göre alınan farklı analog verileri mikrodenetleyici ile okunmaktadır. Tablo 1'de gösterildiği gibi bu değerler bulanık mantık kural tablolarında kullanılmak üzere -5 ile +5 arasındaki değerlere dönüştürülmektedir. Hem yatay eksenli hem de dikey eksenli hareketi sağlayan servo motorların girişlerine 0 ile 180 arasında değişen değerler uygulanarak,

güneşe göre sistemin doğru bir açıda konumlanması sağlanmaktadır. Her bir servo motorun hareketi için iki adet giriş değişkeninden veri alınmaktadır.

Tablo 1. Giriş – Çıkış Değişken Aralık Değerleri

Değişken	Giriş-Çıkış	Min. Değeri	Max. Değeri
<i>e</i> (hata)	Giriş	-5	+5
<i>de</i> (hatanın değişimi)	Giriş	-5	+5
<i>Motor Konumu</i> (dönme açısı)	Çıkış	0	180

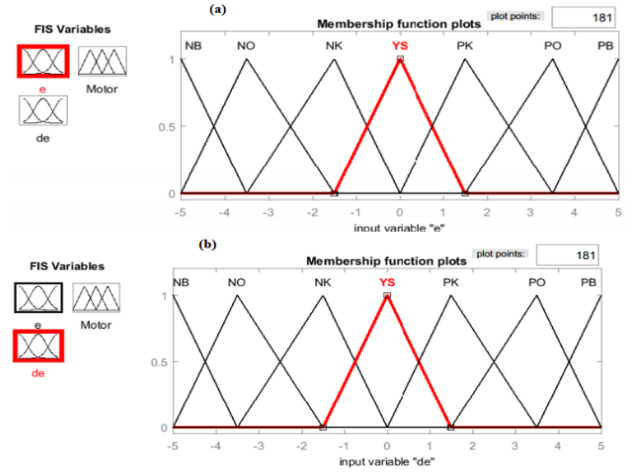
## 2.1. Bulanık Mantık

Tasarlanan sistem için Matlab yazılımında yer alan Bulanık Mantık araç kutusu kullanılmıştır (Fuzzy Logic Toolbox, 2021). Işık algılayıcılarından alınan veriler ve çıkış değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Yatay ekseninde hareketi sağlayan için LDR0 ile LDR2 üzerinden alınan değerlerin ortalaması ( $V_{SOL}$ ) ile LDR1 ve LDR3 üzerinden alınan değerlerin ortalaması ( $V_{SAG}$ ) arasındaki gerilim farklılıkları kullanılmaktadır (Şekil 1). Burada fark  $e_1$  (hata) ve  $de_1$  (hatanın değişimi) olarak gösterilir. Dikeyde hareketi sağlamak için ise LDR0 ile LDR1 üzerinden alınan değerlerin ortalaması ( $V_{UST}$ ) ile LDR2 ve LDR3 üzerinden alınan değerlerin ortalaması ( $V_{ALT}$ ) arasındaki gerilim farklılıkları kullanılmaktadır. Burada fark  $e_2$  ve  $de_2$  olarak ifade edilir.  $e$  ve  $de$  girişleri ile motor konumu olarak adlandırılan çıkış değişkeni için belirlenen değer aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Giriş – Çıkış Değişken Aralık Değerlerinin Dilsel İfadeleri

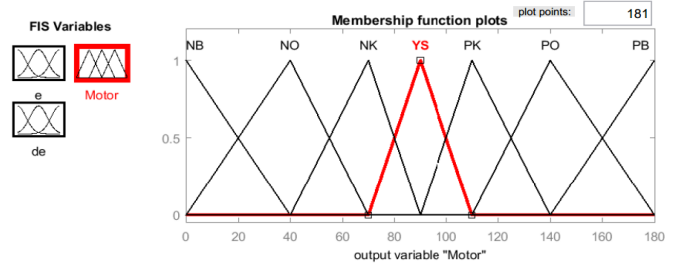
	<i>e</i>	<i>de</i>	Motor konumu (°)
<b>Negatif Büyük (NB)</b>	(-5) - (-3,5)	(-5) - (-3,5)	0 – 40
<b>Negatif Orta (NO)</b>	(-5) - (-1,5)	(-5) - (-1,5)	0 – 70
<b>Negatif Küçük (NK)</b>	(-3,5) - 0	(-3,5) - 0	40 – 90
<b>Yaklaşık Sıfır (YS)</b>	(-1,5) - 1,5	(-1,5) - 1,5	70 – 110
<b>Pozitif Küçük (PK)</b>	0 - 3,5	0 - 3,5	90 – 140
<b>Pozitif Orta (PO)</b>	1,5 - 5	1,5 - 5	110 – 180
<b>Pozitif Büyük (PB)</b>	3,5 - 5	3,5 - 5	140 – 180

Kural tablosu için 7 farklı giriş seviyesi tanımlanmıştır. Giriş değişkenleri; Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Yaklaşık Sıfır (YS), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyük (PB) olarak tanımlanan bulanık kümeler halinde Şekil 2’deki gibi gösterilmektedir. Giriş üyelik fonksiyonları her iki giriş için aynı belirlenmiştir.



Şekil 2. Giriş Üyelik Fonksiyonları a) *e* Giriş Üyelik Fonksiyonu b) *de* Giriş Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantık denetleyici çıkışında ise servo motor konum açısı değeri 0 ile 180° arasında üretilerek, bu değerler aralığında servo motorların fotovoltaik paneli güneşi takip etmesi sağlanır. Çıkış üyelik fonksiyonları her iki çıkış için aynı belirlenmiştir. Güneş takip sisteminin çift ekseninde hareketini sağlayan kural tablosu Tablo 3’te verilmiştir.

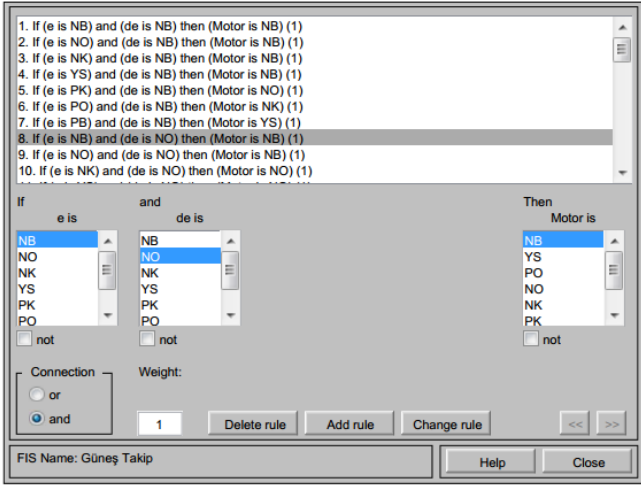


Şekil 3. Çıkış Üyelik Fonksiyonu

Tablo 3. Bulanık Mantık Kural Tablosu

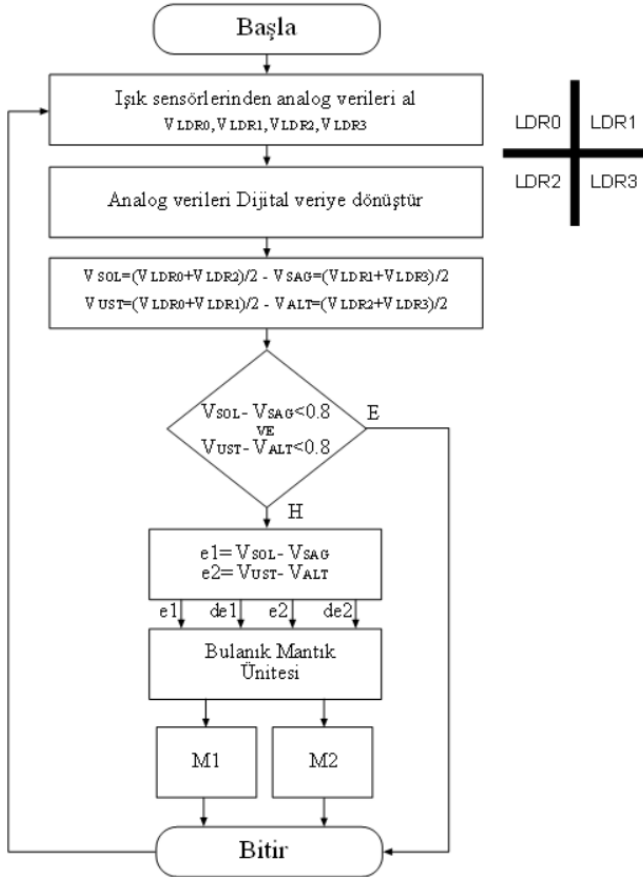
<i>e/de</i>	NB	NO	NK	YS	PK	PO	PB
<b>NB</b>	NB	NB	NB	NB	NO	NK	YS
<b>NO</b>	NB	NB	NO	NO	NK	YS	PK
<b>NK</b>	NB	NO	NK	NK	YS	PK	PO
<b>YS</b>	NB	NO	NK	YS	PK	PO	PB
<b>PK</b>	NO	NK	YS	PK	PK	PO	PB
<b>PO</b>	NK	YS	PK	PO	PO	PB	PB
<b>PB</b>	YS	PK	PO	PB	PB	PB	PB

Bulanıklaştırma işlemi sonucu oluşan bulanık veriler, kural tablosuna göre işlendikten elde edilen sonuçlar, Mamdani çıkarımı kullanılarak yordamlanır. Mamdani çıkarımları Şekil 4’te Matlab-Bulanık Mantık araç kutusunda kuralların yazıldığı pencere verilmiştir. Son aşamada, durulaştırma işlemi olarak da alan merkezi veya alan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4. Çıkarım Tablosunun Oluşturulması

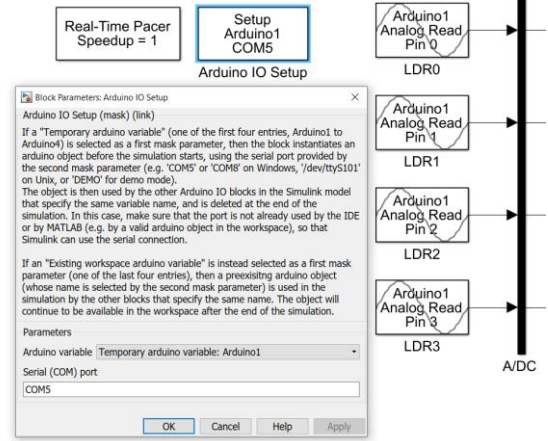
Bu çalışma kapsamında geliştirilen bulanık mantık tabanlı çift eksenli güneş takip sistemi akış diyagramı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Bulanık Mantık Tabanlı Güneş Takip Sisteminin Akış Diyagramı

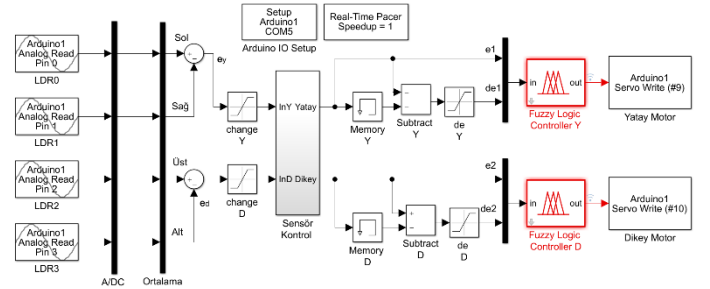
### 2.3. Simulink ve Mikrodenetleyici Tasarımı

Simulink ve ATMEGA işlemciye sahip mikrodenetleyici haberleşmesi Arduino kütüphane ile yapılmıştır (Mathworks, 2021). Sistem haberleşmesi USB portu üzerinden sağlanmıştır (Şekil 6). Real Time Pacer bloğu, iki ortam arasındaki senkronizasyonu için kullanılmıştır.



Şekil 6. Matlab/Simulink – Arduino Haberleşmesi ve Analog Girişlerin Okunması

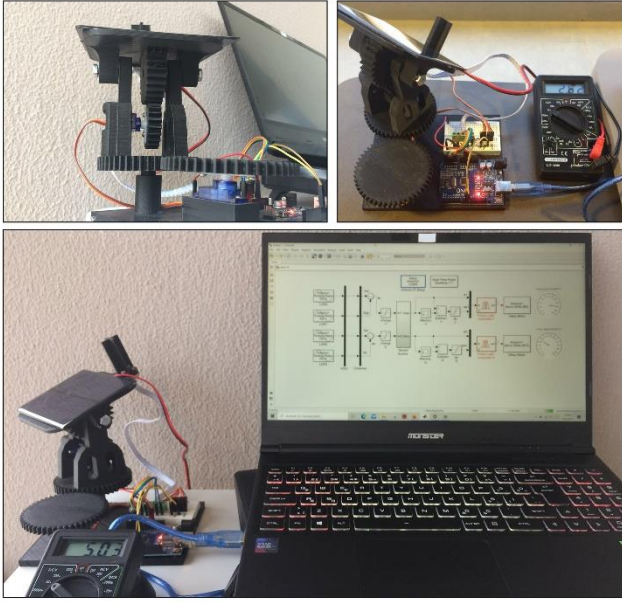
Yatay ekseninde güneş takibi için, sol ve sağ ışık algılayıcılarından okunan veriler arasında oluşan farka göre yatay servo motorun bulanık mantık kural tablosuna göre hareket etmektedir. Dikey eksenindeki hareket için ise alt ve üst ışık algılayıcılarından okunan veriler arasında oluşan farka göre dikey servo motorun bulanık mantık kural tablosuna göre hareket etmesi sağlanmıştır. Bu yapı için oluşturulan bloklar Şekil 7'de gösterilmektedir.



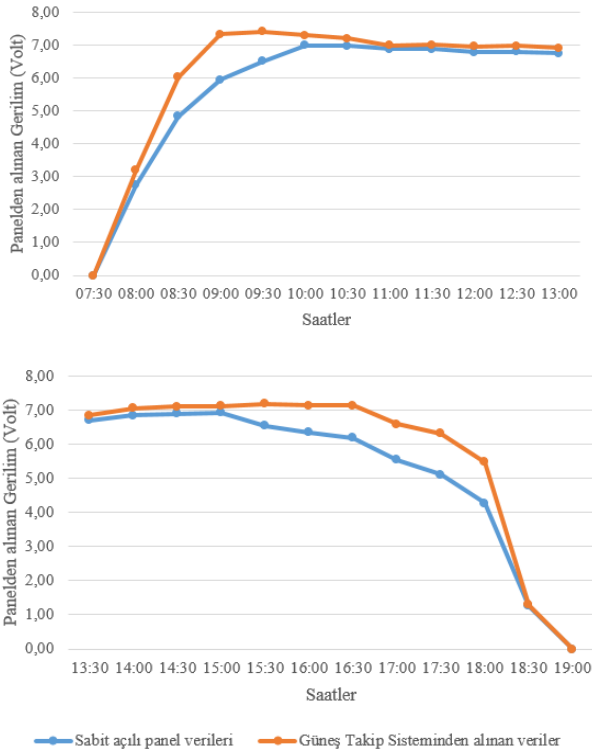
Şekil 7. Güneş Takip Sistemi Matlab/Simulink Blokları

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada tasarlanan prototip Şekil 8'de gösterilmektedir. 30° sabit bir açıda güney yönüne bakan fotovoltaik panel ile çift eksenli güneş takibi yapan sistem üzerine yerleştirilen fotovoltaik panelin ürettikleri anlık gerilim farklılıkları hesaplanarak birbirleriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen bir günlük veriler iki farklı zaman dilimi için Şekil 9'daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 8. Güneş Takip Sistemi Prototipi



Şekil 9. 07:30 – 13:00 ve 13:30 – 19:00 Saatleri Arası Ölçülen Çıkış Verileri

Elde edilen verilere göre yatay ve dikey hareketler için geliştirilen bulanık mantık tabanlı algoritma için fotovoltaik panelin uygun bir biçimde güneşe göre konumlanması sağlanmış. Çalışmada özellikle sabah ve akşam saatlerinde güneş takip sisteminin verimin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, bulanık mantık kullanılarak, fotovoltaik güneş panellerinin doğu-batı ve kuzey-güney yönlerinde güneşi izlemesi amaçlanmıştır. Belirlenen saha içerisinde güney yönüne

30°'lik sabit bir açıyla yerleştirilmiş fotovoltaik panel ile güneş takip kullanılan bir panelden anlık olarak elde edilen gerilim değerleri incelenmiştir. Prototipi hazırlanan güneş takip sisteminin çalışması ve izlenmesi sırasında Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici girişlerine uygulanan ışık verilerine göre, bulanık mantık tablolarını kullanarak, çıkışında yer alan servo motorlara yön vermektedir. Prototip sistem; düşük maliyetli, izleme konusunda başarılı sonuçlar veren, kolay uygulanabilir ve geliştirilebilir bir yapıya sahiptir. Geliştirilen kontrol mekanizması sayesinde özellikle olumsuz hava koşullarında sistem bulunduğu konumu koruyabildiği için bu izleme yönteminin başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Kullanılan bu akıllı kontrol ve güneş takip sistemi ile fotovoltaik sistemin elektrik üretme veriminde yaklaşık %9 oranında verim artışı sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

#### Kaynakça

- Alata, M., Al-Nimr, M. A., & Qaroush, Y. (2005). Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control. *Energy Conversion and Management*, 46(7-8), 1229-1245.
- Banerjee A., Majumder A., Banerjee A., Sarkar S., and Bosu D. (2015), "Harnessing non conventional solar energy through conventional thermal power systems," *International Conference and Workshop on Computing and Communication*, pp. 1-7
- de Paulo, A. F., & Porto, G. S. (2018). Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies. *Journal of Cleaner Production*, 204, 310-320.
- Fuentes-Morales, R. F., Diaz-Ponce, A., Peña-Cruz, M. I., Rodrigo, P. M., Valentín-Coronado, L. M., Martell-Chavez, F., & Pineda-Arellano, C. A. (2020). Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review. *Solar Energy*, 212, 203-219.
- Fuzzy Logic Toolbox, "Fuzzy Logic Toolbox", <https://ww2.mathworks.cn/en/products/fuzzy-logic.html> (Erişim Tarihi: 16 Şubat 2021)
- Göl, G. ve Kıyak, E. (2015). Bulanık Mantık Tabanlı Tek Eksen Güneş Takip Sisteminin Tasarımı Ve Uygulaması, Atatürk Üniversitesi 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, Erzurum,10s.
- Hafez, A. Z., Yousef, A. M., & Harag, N. M. (2018). Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782.
- Mathworks, "Simulink Support Package for Arduino Hardware", <https://ww2.mathworks.cn/matlabcentral/fileexchange/40312-simulink-support-package-for-arduino-hardware> (Erişim Tarihi: 16 Şubat 2021)
- Muhammad, J. Y. U., Jimoh, M. T., Kyari, I. B., Gele, M. A., & Musa, I. (2019). A review on solar tracking system: A technique of solar power output enhancement. *Engineering Science*, 4(1), 1-11.
- Nadia, A. R., Isa, N. A. M., & Desa, M. K. M. (2018). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 82, 2548-2569.
- Sendoya, D, Murcia, D.F. & García, S.O. (2017). Design and implementation of a photovoltaic solar tracker using fuzzy



- control for Surcolombiana University. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12. 2271-2276.
- Sinha, D. and Hui, N.B. (2016). Fuzzy Logic-based Dual Axis Solar Tracking System, *International Journal of Computer Applications*, 155(12):13-18p
- Suganthi, L., Iniyan, S., & Samuel, A. A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 48, 585-607.
- Şenol, A., 2021, Fotovoltaik Paneller İçin Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminde Bulanık Mantık Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 91s.
- Zakariah, A., Jamian, J. J., & Yunus, M. A. M. (2015). Dual-axis solar tracking system based on fuzzy logic control and Light Dependent Resistors as feedback path elements. In 2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD) (pp. 139-144). IEEE.



# Design Optimization of PM Synchronous Motor Using Gray Wolf Optimization Algorithm

Mümtaz Mutluer<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Elecelectrical & Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6781-8937), [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898907)

**ATIF/REFERENCE:** Mutluer, M. (2021). Design Optimization of PM Synchronous Motor Using Gray Wolf Optimization Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, (24), 274-278.

## Abstract

In industrial fields, permanent magnet synchronous motors are preferred for several decades. This is because permanent magnet synchronous motors have a high torque/volume ratio, different design architectures and particularly high efficiency. The main factors to achieve these advantages are the use of the robust design algorithms and the selection of effective geometric parameters in design optimizations. This study proposes using the gray wolf algorithm to obtain a high efficiency surface mounted permanent magnet synchronous motor. The results of the gray wolf algorithm are compared with the results of the particle swarm optimization algorithm. The results obtained are very good in terms of motor efficiency. In this way, the effectiveness of the gray wolf algorithm in surface mounted permanent magnet synchronous motor design has also been represented.

**Keywords:** Gray wolf optimization algorithm, Particle swarm optimization algorithm, Permanent magnet synchronous motor

## Gri Kurt Optimizasyon Algoritmasını Kullanarak PM Senkron Motorun Tasarım Optimizasyonu

### Öz

Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar, endüstriyel alanlarda birkaç on yıldır tercih edilmektedir. Bunun nedeni, kalıcı mıknatıslı senkron motorların yüksek bir tork / hacim oranına, farklı tasarım mimarilerine ve özellikle yüksek verimliliğe sahip olmasıdır. Bu avantajları elde etmenin ana faktörleri, sağlam tasarım algoritmalarının kullanılması ve tasarım optimizasyonlarında etkili geometrik parametrelerin seçilmesidir. Bu çalışma, yüksek verimli yüzeye monte sabit mıknatıslı senkron motor elde etmek için gri kurt algoritmasının kullanılmasını önermektedir. Gri kurt algoritmasının sonuçları, parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar motor verimi açısından oldukça iyidir. Bu sayede, gri kurt algoritmasının yüzeye monte sabit mıknatıslı senkron motor tasarımındaki etkinliği de ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Gri kurt optimizasyon algoritması, Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması, Kalıcı mıknatıslı senkron motor

\* Corresponding Author: [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

## 1. Introduction

DC motors were highly preferred in the 20th century for ease of control. Electric motors, which later replaced dc motors and are more widely used, are induction motors in industrial fields. Compact motion system i.e. gearbox and induction motor are poor in performance, especially it has high cost, noise, and low efficiency. This is unacceptable in industrial applications requiring comfort, especially in elevator traction systems. Great efforts have been made for the optimum use of energy resources recently and therefore the use of energy efficient machinery is encouraged worldwide. In an industrial area, the overall system efficiency can be greatly increased in elevator traction systems by the use of higher efficiency permanent magnet synchronous motors (PMSMs) and especially by eliminating the gearbox and machine room [Hwang et al, 2012; Ficheux et al., 2001]. The situation has brought great benefits in terms of energy savings. For this reason, R&D studies continue for design optimization and drive systems of PMSMs with different architectures.

On the other hand, it is common to use artificial intelligence techniques (AITs) in the design optimizations of permanent magnet synchronous motors. Here, optimization studies of design focused on different aims such as reducing cogging torque and torque ripple, and increasing efficiency [Sim et al, 1997; Łukaniszyn et al., 2004; Cassimere and Sudhoff, 2009; Güemes et al, 2011; Sizov et al., 2011]. Obviously, PMSM's design optimization work is hard research. Because the PMSM's design parameters have a very large range, the design approach is not linear, and moreover, optimization studies have many limit values. Design parameters are chosen based on the design experience, knowledge and correlation between parameters and the purpose of optimization. As a result, these studies focus on comparing the performance of PMSMs or improving existing motor performance.

The design structures of PMSMs are variable according to the positions of permanent magnets in the rotor, slot/pole ratio, winding layouts used, stator and rotor tooth and yoke configurations. However, the main factors that determine motor types are industrial needs and environmental effects. Surface mounted PMSMs are often preferred as elevator traction systems at low speeds. Because surface mounted PMSMs have a simple structure compared to other magnet motors and their production costs are lower. Both distributed and concentrated windings are used in the inner and outer stators of these motors. Concentrated winding is superior to distributed winding in terms of copper loss. However, designers should be careful in choosing stator and rotor configurations, considering other factors.

This article proposes design optimization using the geometric parameters of the surface mounted PMSM. It is twelve-slot and ten-pole and has a concentrated double layer winding using gray wolf optimization (GWO) algorithm and particle swarm optimization (PSO) algorithm for low speed moving applications. The main purpose of the study is to obtain a better geometric model for a high-performance high-efficiency motor. The results obtained are finally acceptable and beneficial.

## 2. Optimization Algorithms

Any optimization process is an activity that seeks the most appropriate solution for an engineering problem. However, optimization results may not always be the best. This situation

reveals the importance of determining the problem, choosing parameters and evaluating the results, and the continuity of the optimization process dimension. GWO and PSO algorithms are given below.

### 2.1. Particle Swarm Optimization Algorithm

PSO algorithm developed by Eberhart and Kennedy is a population-based artificial intelligence technique. The vital behaviors of flocks of birds and fish have been examined in the development of the algorithm. According to classical algorithms PSO algorithm has a few operators. Therefore, PSO algorithm provides superior performance for optimization problems have large solution space. Structure of PSO algorithm is similar the behavior of foraging flocks of birds and fish. Fitness values of individuals in the population are related with proximity of flock to food and each individual in population represents each bird or fish and "particle" is called.

PSO algorithm is composed of two main equations or operators; velocity vector and position vector. The velocity vector shows variation of fitness values of individuals is as follows:

$$V_j(i) = V_j(i - 1) + c_1 r_1 [p_{best,j} - x_j(i - 1)] + c_2 r_2 [g_{best} - x_j(i - 1)] \quad (1)$$

where, " $V_j(i)$ " is the velocity of the j.th individual in i.th iteration. " $p_{best,j}$ " and " $g_{best}$ " are the better local and the best global individuals. " $c_1$ " and " $c_2$ " are learning rates of individuals and the group respectively; " $r_1$ " and " $r_2$ " are distributed random numbers in the range of 0 and 1. The position vector is also as follows:

$$X_j(i) = X_j(i - 1) + V_j(i) \quad (2)$$

where, " $X_j(i)$ " is the position of the j.th individual in i.th iteration [Rao, 2009].

### 2.2. Gray Wolf Optimization Algorithm

Ali et al. [Mirjalili et al, 2014] states that for the swarm hierarchy-based GWO algorithm, since gray wolves have a very strict social dominance hierarchy, the parameters of the developed algorithm also indicate this collectivity when seeking solutions. Alpha wolf is the leader and dominant individual in the swarm. This shows that the alpha wolf is not the strongest member of the swarm, but the best member to lead the pack. The equivalent of the alpha wolf in the algorithm is that its position is the best solution for the hunt (objective). Other levels in the gray wolf hierarchy are beta, delta, and omega. The lowest ranked gray wolf in the hierarchy is omega.

The GWO algorithm exemplifies the hunting strategies of wolves. Here the individual in the center is alpha ( $\alpha$ ) worms, beta ( $\beta$ ) and delta ( $\delta$ ) wolves are the second and third best individuals and lastly the remaining wolves are omega ( $\omega$ ). In the GWO algorithm, the search is driven by  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\delta$ ,  $\omega$  does not participate in the search but follows the others. The hunting behavior of gray wolves can be modeled mathematically as follows:

$$\vec{D} = |\vec{c} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}_p(t)| \quad (3)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (4)$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (5)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (6)$$

where,  $t$  is the current iteration,  $\vec{D}$  is the distance of wolves to the prey,  $\vec{X}_p$  is the position of the prey,  $\vec{X}$  is the position of each wolf, the vectors  $\vec{r}_1$  and  $\vec{r}_2$  take random values between 0 and 1 to determine the position changes of wolves relative to their prey.  $\vec{A}$  and  $\vec{C}$  are the coefficient vectors, the vector  $\vec{C}$  provides the constant displacement of the prey (exit from the local solution in search), the vector  $\vec{A}$  allows wolves to approach the prey (precision of the solution).  $\vec{a}$  value decreases from 2 to 0 during the iteration. Detailed information about the algorithm is in reference [Mirjalili et al, 2014].

### 3. Analysis of the PM Synchronous Motor

Permanent magnet synchronous motors consist of five main parts: shaft, rotor, stator, permanent magnets, and windings. Their structures and placements may vary according to operating conditions. In low speeds, surface mounted PMSMs have been generally preferred because of low-cost. The motor structure affects the design parameters so that seven variables in Table 1 are used for the design optimization. The geometric parameters are shown in Figure 1. In addition, some parameters are invariable and the others are obtained optimization algorithms. Thermal and mechanical conditions regarding surface mounted PMSM design are considered ideal.

Some important design equations are as follows [Mutluer and Bilgin, 2016]:

$$D_{rc} = D - 2l_m - 2\delta \quad (7)$$

$$\tau_s = \pi D / Q_s \quad (8)$$

$$b_{ss1} = \pi \frac{D+2h_{sw}}{Q_s} - b_{ts} \quad (9)$$

$$b_{ss2} = \pi \frac{D+2h_{ss}}{Q_s} - b_{ts} \quad (10)$$

$$h_{sy} = (D_o - D - 2h_{ss})/2 \quad (11)$$

$$k_{open} = b_{so}/b_{ss1} \quad (12)$$

$$A_{sl} = ((b_{ss1} + b_{ss2})(h_{ss} - h_{sw}))/2 \quad (13)$$

where,  $\tau_s$  is slot pitch factor,  $Q_s$  is slot number,  $b_{ss1}$  is width of inner stator slot,  $b_{ss2}$  is width of outer stator slot,  $h_{sy}$  is stator yoke height,  $A_{sl}$  is slot area. In order to calculate the flux density of air-gap, the Equation 14 is used.

$$B_m = \frac{B_r}{1+(\mu_r \delta k_c)/l_m} \quad (14)$$

where,  $k_c$  is carter factor,  $B_r$  is remanence flux density,  $\mu_r$  is relative permeability and  $B_m$  is maximum flux density of air-gap. Other equations can be used to calculate the equivalent circuit parameter sizes of the motor:

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega k_{\omega 1} q n_s \hat{B}_\delta L (D - \delta) \quad (15)$$

$$R = \rho_{Cu} \frac{(pL(D+h_{ss})\pi k_{coil})n_s^2 q}{f_s A_{sl}} \quad (16)$$

$$L_q = \left( pq\lambda_1 + \frac{3}{\pi} (qk_{\omega 1})^2 \frac{(D-\delta)}{\delta k_c + l_m / \mu_r} \right) \mu_0 L n_s^2 \quad (17)$$

where,  $m$  is phase number,  $q$  shows number of slots per pole per phase,  $\rho_{Cu}$  is copper resistivity,  $k_{coil}$  is end winding coefficient,  $\lambda_1$  is specific permeance coefficient for slot opening,  $n_s$  is conductor number per slot. The later equations are used to calculate losses and motor efficiency:

$$P_{Cu} = 3RI^2 \quad (18)$$

$$P_{Fe} = P_h + P_e = k_h B^{\beta_{st}} \omega_e + k_e B^2 \omega_e^2 \quad (19)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe}} \quad (20)$$

where,  $\beta_{st}$  indicates Steinmetz constant,  $\omega_e$  shows electrical angular velocity,  $k_h$  and  $k_e$  are iron losses coefficients as hysteresis and as eddy current,  $P_{out}$  is power of the motor,  $P_{Cu}$  is copper loss,  $P_{Fe}$  is iron loss, and  $\eta$  is motor efficiency. Other intermediate equations and parameters are given in [Mutluer and Bilgin, 2016; Hanselman, 1994; Pyrhonen et al, 2008].

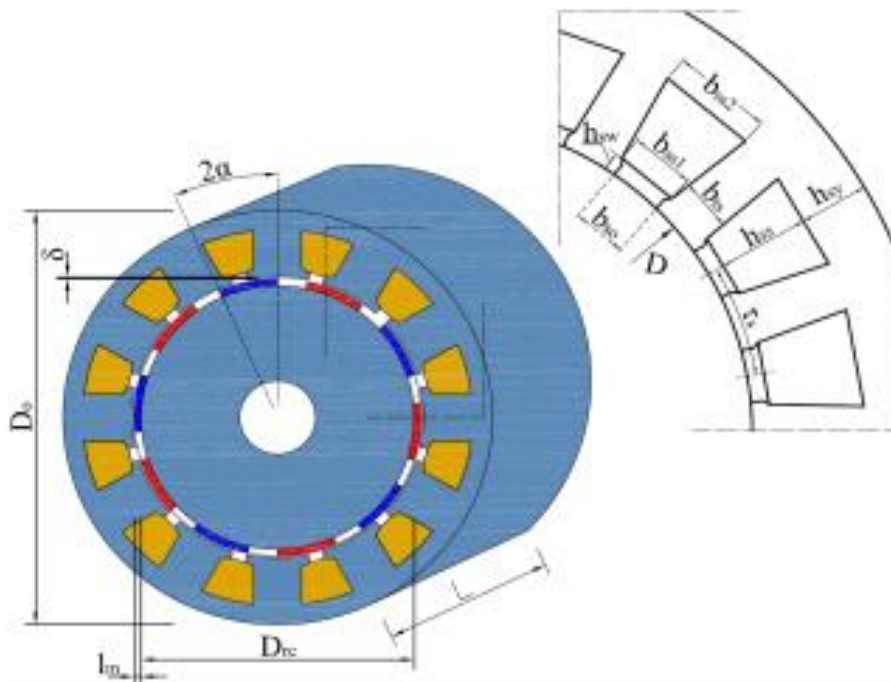


Figure 1. 2D and 3D views of the PMSM

Table 1. Design optimization variables and limits

Parameter	Symbol	Unit	Lower Limits	Upper Limit
Thickness of permanent magnet	$h_m$	mm	2	5
Length of air gap	$\delta$	mm	0.5	1.2
Height of slot wedge	$h_{sw}$	mm	2	5
Width of stator tooth	$b_{ts}$	mm	30	40
Diameter of rotor outer	$D_{rc}$	mm	150	250
Height of stator slot	$h_{ss}$	mm	15	22
Ratio of the slot opening over the slot	$k_{open}$	-	0.25	0.40

### 3. Results and Discussion

Pre-analytical calculations of the surface mounted PMSM are achieved by means of an analytical design program. The efficiency is obtained as 92.05%. This study aims to perform PMSM design optimization using the GWO algorithm and then the obtained results are compared with the results using the PSO algorithm. The population and iteration numbers of the optimization algorithms are 30. For design optimization of the surface mounted PMSM, geometric variables and their limits are selected in Table 1.

Iteration graphs of the optimization algorithms are given in Figure 2. In design optimizations made with GWO and PSO algorithms, motor efficiency has been increased compared to the initial value. Motor efficiency, which was 92.05% at the beginning, increased to 94.20% with the GWO algorithm and

94.16% with the PSO algorithm. It is possible to say that better motor geometries are obtained according to these values.

According to the motor efficiency values, the GWO algorithm gave better results than the PSO algorithm. The geometric parameter values obtained and some dimensions of the design are given in Table 2 and Table 3, respectively. According to Table 2, the values at which both algorithms converge are close to each other. Especially the most important factor affecting the result is the ratio of the slot opening over the slot width. According to Table 3, motor design outputs close to each other are obtained. The total weight of the motor and the magnet weights are close to each other. There has not been a great deal of cost in between. Although the motor yoke fluxes are below the limit values, the stator tooth flux is partially higher.

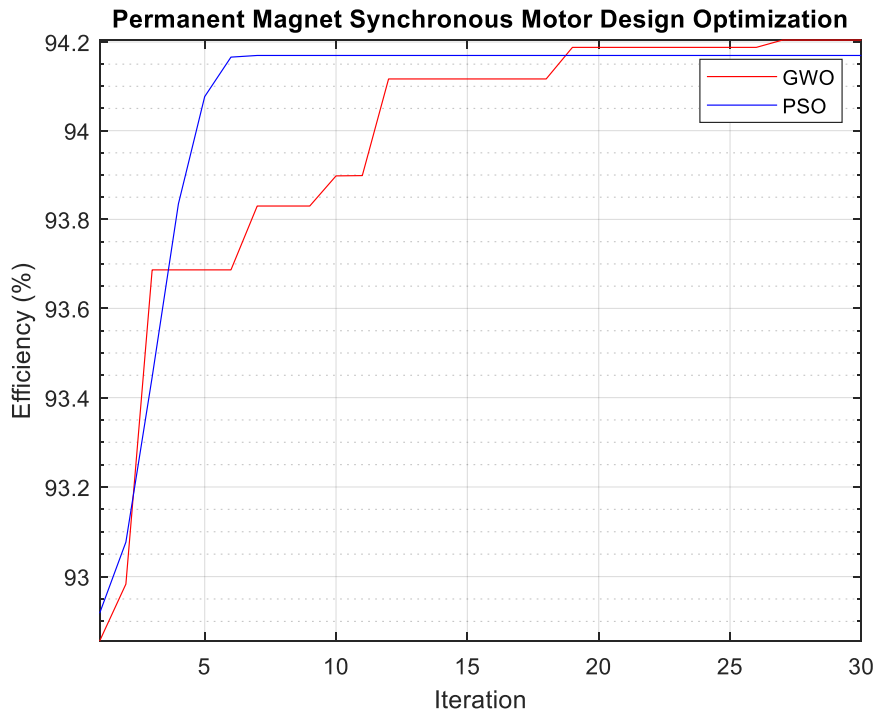


Figure 2. Iteration graphs of the GWO and the PSO algorithms

Table 2. Design optimization variables and limits

Algorithms	$h_m$ (mm)	$\delta$ (mm)	$h_{sw}$ (mm)	$b_{ts}$ (mm)	$D_{rc}$ (mm)	$h_{ss}$ (mm)	$k_{open}$
<b>GWO</b>	5	0.5	2	30	196.21	22	0.26132
<b>PSO</b>	5	0.5	2	30	197.63	22	0.40

Table 3. Design optimization variables and limits

Algorithms	$M_{PM}$ (kg)	$M_T$ (kg)	Cost (\$)	$B_{ry}$ (T)	$B_{sy}$ (T)	$B_{st}$ (T)	$B_{ry}$ (T)	J (A/mm <sup>2</sup> )	$n_s$
<b>GWO</b>	1.99	62.83	248.59	0.35	0.95	1.90	0.35	3.37	97
<b>PSO</b>	2.01	62.93	250.29	0.35	0.98	1.89	0.35	3.33	97

## 4. Conclusions and Recommendations

In the optimization study of the surface mounted PMSM design performed here, the engine geometry with the highest efficiency was tried to be obtained by using GWO and PSO algorithms. Seven independent geometric design variables were chosen to provide simple optimization. The efficiency of the PMSM and the performance of the algorithms are investigated. According to the initial motor efficiency of 92.05%, the efficiency obtained with GWO is 94.20% with an increase of 2.33% and the efficiency obtained with PSO is 94.16% with an increase of 2.29%. This situation reveals that the GWO algorithm performs better than the PSO algorithm in the surface mounted PMSM design optimization.

## References

- Hwang, J. C., Liu, C. S. and Chen, P. C. (2012). *Design of permanent-magnet synchronous gear motor with high efficiency for elevators*. IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Tech. (ICSET), pp. 205-210.
- Ficheux, R., Caricchi, F., Crescimbin, F. and Honorati, O. (2001). *Axial-flux permanent-magnet motor for direct-drive elevator systems without machine room*. IEEE Transactions on Industry App., Vol. 37. No. 6.
- Sim, D. J., Cho, D. H., Chun, J. S., Jung, H. K. and Chung, T. K. (1997). *Efficiency optimization of interior permanent magnet synchronous using genetic algorithms*. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33. No. 2.
- Łukaniszyn, M., Jagieła, M. and Wróbel, R. (2004). *Optimization of permanent magnet shape for minimum cogging torque using a genetic algorithm*. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 40. No. 2. pp. 1228-1231.
- Cassimere, N. B. and Sudhoff, S. D. (2009). *Population-based design of surface-mounted permanent-magnet synchronous machines*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24. No. 2. pp. 338-346.
- Güemes, J. A., Iraolagoitia, A. M., Del Hoyo, J. I. and Fernández, P. (2011). *Torque analysis in permanent-magnet synchronous motors: a comparative study*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 26. No. 1. pp. 55-63.
- Sizov, G. Y., Ionel, D. M. and Demerdash, N. A. O. (2011). *Multi-objective optimization of PM AC machines using computationally efficient-FEA and differential evolution*.

- IEEE International Electric Machines & Drives Conf. (IEMDC), pp. 1528-1533.
- Rao, S. S. (2009). *Engineering optimization theory and practice*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. and Lewis, A. (2014) *Grey Wolf Optimizer*. Advances in Engineering Software, 69, pp. 46-61.
- Mutluer, M. and Bilgin, O. (2016). *An intelligent design optimization of a permanent magnet synchronous motor by artificial bee colony algorithm*. Turk J Elec Eng & Comp Sci, 24: pp. 1826-1837.
- Hanselman, D. C. (1994). *Brushless permanent-magnet motor design*. McGraw-Hill Inc.
- Pyrhonen, J., Jokinen, T. and Hrabovcová, V. (2008). *Design of rotating electrical machines*. John Wiley & Sons Ltd.



# Analysis of the Geometric Parameters for High Thrust Force of the Tubular Linear Voice Coil Motor

Mümtaz Mutluer<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Elecelectrical & Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6781-8937), [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898836)

**ATIF/REFERENCE:** Mutluer, M. (2021). Analysis of the Geometric Parameters for High Thrust Force of the Tubular Linear Voice Coil Motor. *European Journal of Science and Technology*, (24), 279-283.

## Abstract

Tubular linear voice coil motor has been preferred in linear motion applications in recent years. Because the tubular linear voice coil motor has a high thrust force and a simple driving circuit. The geometric design parameters have different effects to ensure high operating performance, such as high thrust and fast response. In this study, the effects of some selected geometric parameters on the average and instantaneous thrust forces of the motor are investigated. For this purpose, motors designed in different geometric dimensions are compared using the finite element analysis. Thus, a motor geometry with higher thrust force than the first motor geometry has been obtained. In this way, a beneficial approach is presented to the motor model that can provide higher thrust in small volumes.

**Keywords:** Design, Thrust force, Tubular linear voice coil motor

## Borulu Linear Ses Bobini Motorunun Yüksek İtme Kuvveti için Geometrik Parametrelerin Analizi

### Öz

Son yıllarda lineer hareket uygulamalarında borulu lineer ses bobini motoru tercih edilmektedir. Çünkü borulu lineer ses bobini motoru, yüksek bir itme kuvvetine ve basit bir tahrik devresine sahiptir. Geometrik tasarım parametreleri, yüksek itme gücü ve hızlı tepki gibi yüksek çalışma performansı sağlamak için farklı etkilere sahiptir. Bu çalışmada, seçilen bazı geometrik parametrelerin motorun ortalama ve anlık itme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, farklı geometrik boyutlarda tasarlanan motorlar, sonlu elemanlar analizi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Böylece, ilk motor geometrisinden daha yüksek itme kuvvetine sahip bir motor geometrisi elde edilmiştir. Bu sayede, küçük hacimlerde daha yüksek itme kuvveti sağlayabilen motor modeline faydalı bir yaklaşım sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tasarım, İtme kuvveti, Borulu lineer ses bobini motoru

\* Corresponding Author: [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

## 1. Introduction

The tubular linear voice coil motor (TLVCM) is a linear moving electric machine consisting of a cylindrical soft iron, a solenoid coil, and cylindrical permanent magnets (PMs). A simpler winding is used compared to the windings of single-phase or three-phase electrical machines that are widely used in the industry. The windings are wrapped in a cylindrical non-ferromagnetic material. There is no end of winding outside the magnetic field, so copper losses are low. Due to the nature of the linear motion, mechanical losses are also low compared to other electrical machines that rotate. Therefore, it can be said that mechanical loss and copper loss are low [Sun et al, 2018]. On the other hand, the driving circuit is simpler than the driving circuits used in other electrical motors. The average thrust force depends on the air gap magnetic flux [Jiao et al, 2017]. However, it has a considerably greater magnetic resistance than the air gap in the other electrical motors is very large. This is the most important effect on the operation of the TLVCM. Therefore, high current is required for high thrust force and this situation is tried to be tolerated by using high magnetic energy PMs. Looking at the industrial applications of TLVCM, it is seen that it is used in many applications requiring high precision [Hsu and Tzou, 2007; Kim et al, 2004; Wang et al, 2010; Ummaneni et al, 2007; Choo and Park, 2017; Ko et al, 2011].

Electrical machine designs focus on geometric design to provide fast response and high dynamic performance. This is because the most important recommendation in TLVCM designs is to obtain geometry that will provide high average thrust force as well as low thrust ripple. In fact, the most important point in the design is that the air gap magnetic flux is high and uniform [Li et al, 2011; Luo et al, 2020; Luo et al, 2019]. Therefore, the magnetic leakage flux should be reduced [Lemarquand et al, 2010]. In linear operation, as the amount of flux that cuts the winding decreases, the thrust force decreases, which causes an increase in the thrust ripple [Luo et al, 2017].

The TLVCM's geometry is not symmetrical. Therefore, the magnetic equivalent circuit of the motor is also not symmetrical. However, due to the non-linear structure of the motor, the operating performance depending on the load may change. The large air gap opening in the center of purple can cause too much magnetic flux leakage. In this respect, it is difficult to model the magnetic circuit very precisely. Designing the magnetic circuit to include each reluctance of the motor will have a positive effect on the results [Mutluer, 2021]. However, although every reluctance in the magnetic circuit [Luo and Sun, 2019] is important, simplified equivalent circuits are preferred for their ease of calculation [Luo et al, 2019]. The results obtained according to magnetic modeling are compared with finite element analysis (FEA) of the motor. Due to the nonlinear nature of TLVCM, its use as an FEA optimization tool improves results.

In order to obtain high thrust force in TLVCM designs, the study of the motor geometry is of great importance. In this study, the effects of some selected TLVCM parameters (extra yoke, interval of windings/magnets, end-iron and bottom yoke) on average thrust are investigated. The thrust ripple is also studied. For this, the finite element model of the TLVCM is created and other geometric parameters are were accepted as constant.

## 2. Material and Method

### 2.1. Structure of the TLVCM

The skeleton of TLVCM is cylindrical. Windings, ferromagnetic cores and PMs are concentric. It is appropriate to choose the windings as pistons in order for the motor to react quickly. 3D view of TLVCM is given in Figure 1. PMs are mounted on the internal yoke. The electromagnetic pole arrangement of the windings is compatible with PMs. In this study, two magnets are used and the direction of magnetic flux is radial. In TLVCM, the two sides of the cylindrical structure are generally not symmetrical, with one side open for motion and the other closed for magnetic flux. The volume of the motor is small, 60mm in length and 44mm in outer diameter as indicated in Table 1.

In order to maintain a consistent output direction of the TLVCM thrust force, linear motion is performed at low pole pitch size [Sun et al, 2018]. In this way, thrust ripple is also reduced. The extra yoke is the core between the bottom yoke and the first permanent magnet. The interval between the windings and the interval between the permanent magnets are the same. The last core part of the piston in the direction of movement is the end iron. Reluctance decreases due to the end-iron and the flux moves towards the end of the motor. The thrust force increases to the point where the winding and PMs meet, then decreases as the amount of winding cut by the air gap magnetic flux decreases.

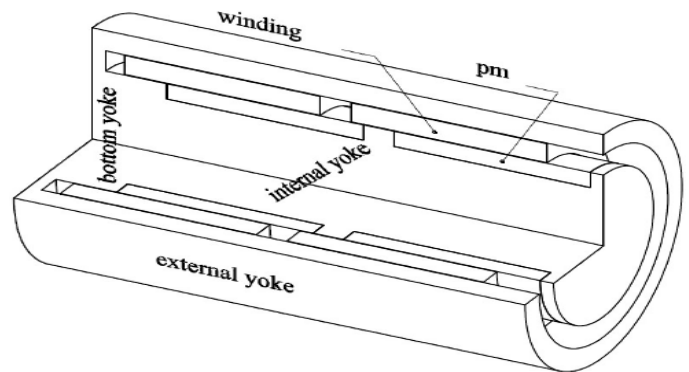


Figure 1. 3D view of the TLVCM

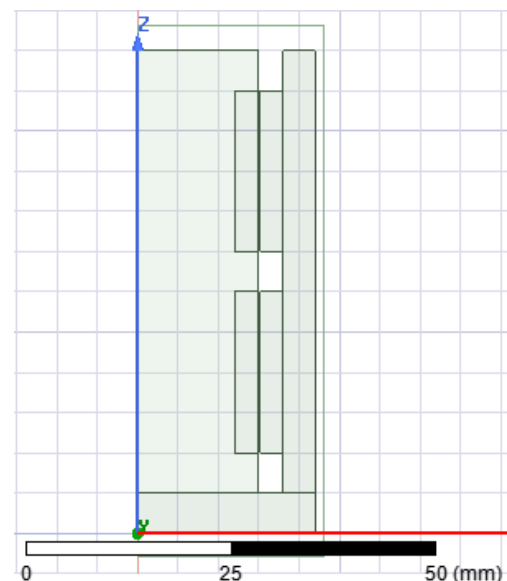


Figure 2. Finite element program image of the TLVCM



### 2.2. Finite Element Analysis Modelling

Finite element analysis is used in both analysis and design optimization of electrical machines. The most important reason for this is that analytical modeling of electrical machines is difficult due to their non-linear structure. For this reason, finite element analysis has a positive effect on the study results by giving results close to reality. In Figure 2, finite element analysis visual of the starting model of the TLVCM whose design is examined is given.

## 3. Application of the TLVCM Analysis

### 3.1. Results

For simplification, some assumptions have been made in advance.

1. The iron material is linear and has a constant material permeability.
2. Magnets and iron material are identical.
3. The drive system is out of evaluation.

Table 1. Geometric parameters and values of the initial TLVCM

Structure Parameter	Value (mm)
Length of TLVCM	60
Radius of TLVCM	22
Radius of winding	16.5
External radius of PMs	15
Width of PMs	3
Length of airgap	3
Length of winding	20
Length of PMs	20
Length of extra yoke	5
Pole pitch	25
Length of bottom yoke	5
Interval of windings	5
Length of end iron	5

The number of windings of the TLVCM is 100, the dc current is 5A and the stroke length is 10 mm. The geometric dimensions of the first designed motor are given in Table 1. Finite element analysis is performed according to the motor values given in Table 1 and the average thrust force of the motor

is obtained as 32.7N. Its maximum and minimum thrust forces are 37.1 and 26.5N, respectively. Thrust ripple is 34.2%. The thrust graph is given in Figure 3.

The lower and upper limits and steps of the four geometric variables of the TLVCM are given in Table 2. The most effective output in the operation of the TLVCM is the average thrust force. Therefore, the parameters chosen are the important geometric dimensions that affect the thrust of the motor, according to experience. It should be noted that, air gap size or magnet size are also effective design components. However, in the study, the change in the thrust force depending on the geometry change in the existing air gap and magnet dimensions is investigated. In fact, the situation affecting the thrust force is the change in flux distribution by changing the reluctance of the core. The highest average thrust values obtained for each parameter are given in Table 3.

Table 2. Variables and limits

Structure Parameter	Limits and Steps (mm)
Bottom yoke	1:1:10
End iron	1:1:10
Extra yoke	1:1:10
Internal windings	1:1:10

### 3.2. Discussion

When the results in Table 3 are evaluated, average, maximum and minimum thrust forces are generally compatible with each other. According to finite element analysis, a motor geometry with average thrust force higher than the starting motor geometry is obtained as 34.76N for 8mm end-iron length. This means that the increased magnetic reluctance at the end of the motor will direct the magnetic flux to the front of the motor, increasing the thrust force. Also, since the stroke length and other parameters of the motor are kept constant, it will be difficult to make a comment depending on the maximum and minimum thrust forces. On the other hand, the fact that the geometry with minimum thrust ripple is parallel to the highest average thrust force geometry increases the importance of end motor reluctance. It is also noteworthy that the best extra yoke length is almost half the stroke length, because in TLVCM designs the stroke length is chosen twice as long as the extra yoke, providing the best thrust ripple [Luo et al, 2017]. The results obtained are better than the initial thrust force, the average thrust force of the motor has improved. Thrust graphs are given in Figure 4 as a result of the TLVCM analysis.

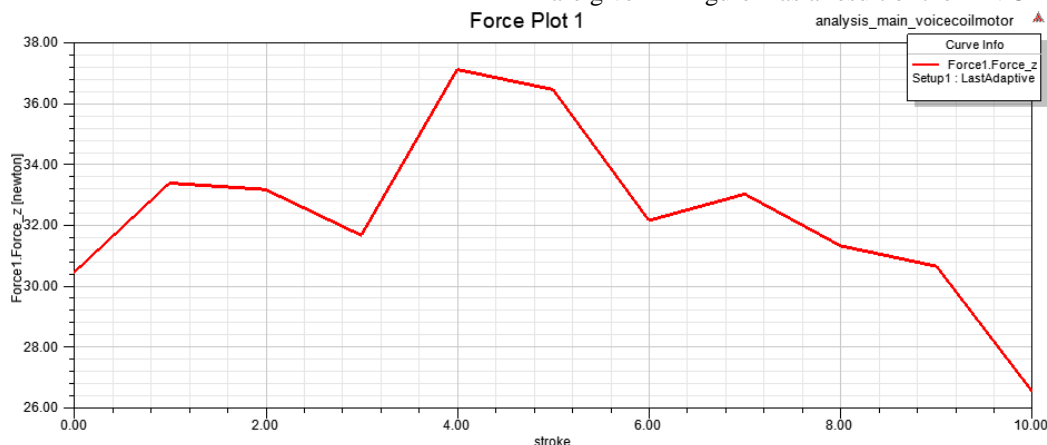
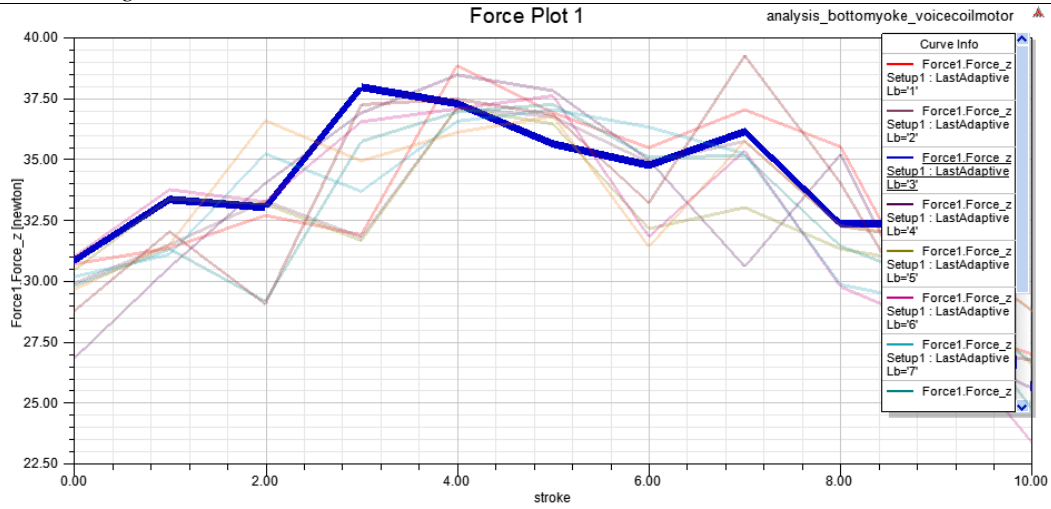


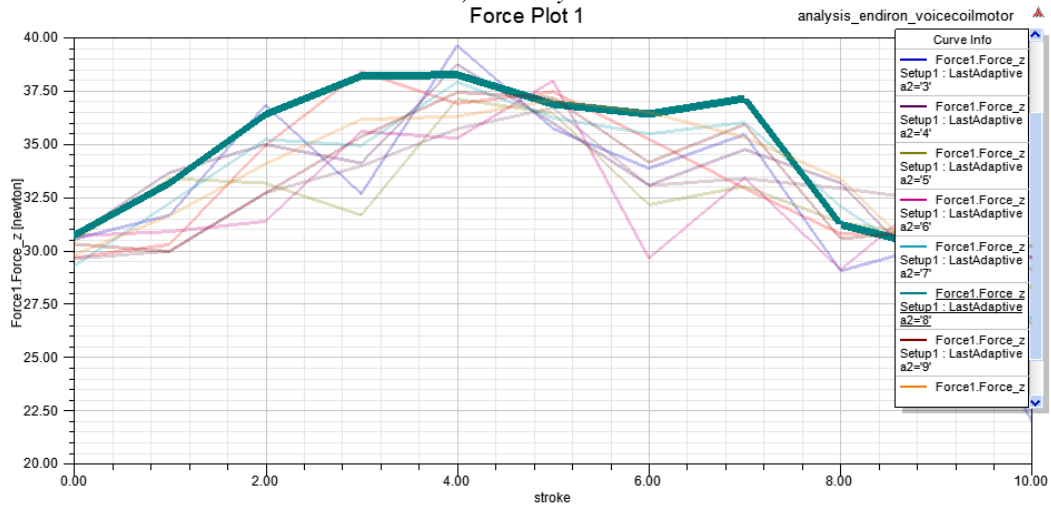
Figure 3. Thrust force graphic of the initial TLVCM

Table 3. Results for Highest Thrust Force

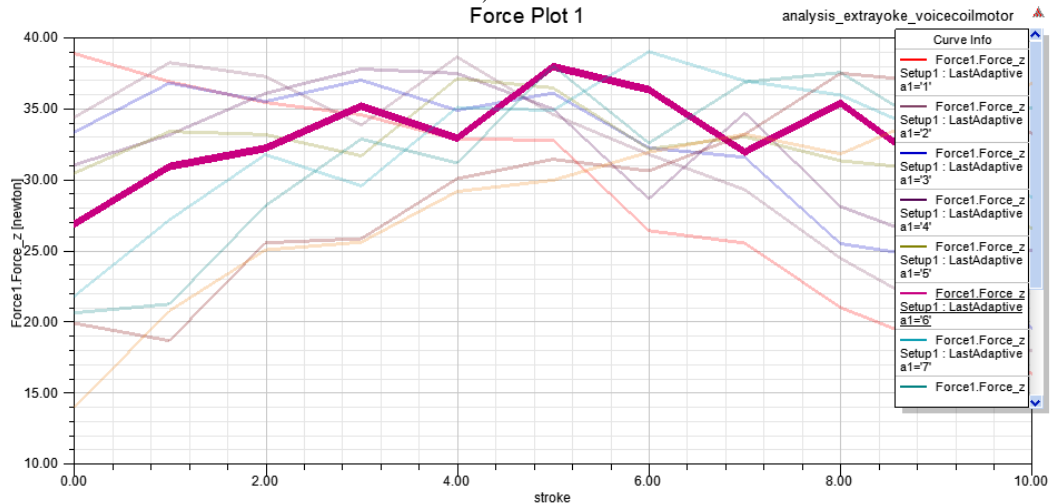
Structure Parameter	$F_{average}$	$F_{max}$	$F_{min}$	Thrust Ripple (N)	Thrust Ripple (%)
Initial Values	32.70	37.10	26.50	10.60	32.42
Bottom yoke = 3mm	34.11	37.96	25.51	12.45	36.50
End iron = 8mm	<b>34.73</b>	38.24	28.47	<b>9.77</b>	28.13
Extra yoke = 6mm	33.08	37.95	26.86	11.09	33.52
Internal windings = 2mm	34.00	39.60	25.67	13.93	40.97



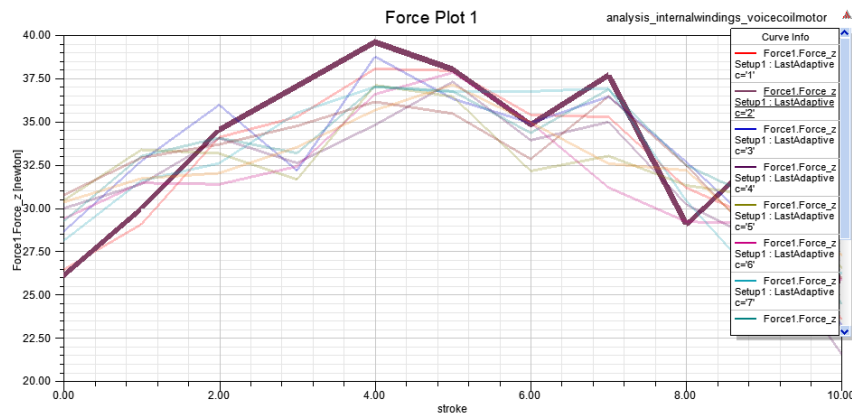
a) bottom yoke



b) end iron



c) extra yoke



d) internal windings

Figure 4. Thrust force graphics of the analyzed TLVCMs

## 4. Conclusions and Recommendations

The thrust force must be high in TLVCMs, as industrial applications require fast response. In order to achieve this performance in low volumes, geometric design should be done well. In this study, finite element analyzes of the tubular linear voice coil motor are carried out to examine the effect of different geometric parameters on the thrust force. For this purpose, four independent parameters such as extra yoke, interval of windings/magnets, end-iron and bottom yoke are selected as independent variables and other parameters are accepted as constant. As a result of the analyzes, a motor model with an average thrust force of approximately 6.2% higher than the starting motor model is obtained. At the same time, a better thrust ripple is achieved with the motor model obtained.

## 5. Acknowledge

I would like to thank Selcuk University for the finite element analysis program.

## References

- Sun, J., Luo, C. and Xu, S. (2018). *Improvement of tubular linear oscillating actuators by using end ferromagnetic pole pieces*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 33(4), pp. 1686-1691.
- Jiao, Z., Wang, T. and Yan, L. (2017). *Design of a tubular linear oscillating motor with a novel compound halbach magnet array*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 22(1), pp. 498-508.
- Hsu, J. D. and Tzou, Y. Y. (2007). *Modeling and design of a voice-coil motor for auto-focusing digital cameras using an electromagnetic simulation software*. IEEE Power Electronics Specialists Conference.
- Kim, T. H., Lee, H. W., Kim, Y. H., Lee, J. and Boldea, I. (2004). *Development of a flux concentration-type linear oscillatory actuator*. IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp. 2092–2094.
- Wang, J., Howe, D. and Lin, Z. (2010). *Design optimization of short-stroke single phase tubular permanent-magnet motor for refrigeration applications*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57(1), pp. 327–334.
- Ummaneni, R. B., Nilssen, R. and Brennvall, J. E. (2007). *Force analysis in design of high power linear permanent magnet actuator with gas springs in drilling applications*. IEEE Int. Elect. Mach. Drives Conference.
- Teo, T. J., Bui, V. P., Yang, G. and Chen, I. M. (2015). *Millimeters-stroke nano positioning actuator with high positioning and thermal stability*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 20(6), pp. 2813–2823.
- Choo, J. and Park, J. H. (2017). *Increasing payload capacity of wearable robots using linear actuators*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 22(4), pp. 1663–1673.
- Ko K. J., Jang, S. M., Choi, J. H., Choi, J. Y., Sung, S. Y. and Park, Y. T. (2011). *Analysis on electric power consumption characteristics of cylindrical linear oscillatory actuator with Halbach permanent magnet array mover under electromechanical resonance frequency*. Journal of Applied Physics, 109(7).
- Li, L., Xuzhen, H., Donghua, P. and Jiwei, C. (2011). *Magnetic field of a tubular linear motor with special permanent magnet*. IEEE Transactions on Plasma Science, 39(1), pp. 83-86.
- Luo, C., Li, X., Liao, Y. and Long, X. (2020). *Design of end-iron-free voice coil motor with appropriate PM length ratio*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 35(2), pp. 1139-1146.
- Luo, C., Sun, J., Liao, Y. and Xu, S. (2019). *Analysis and design of ironless toroidal winding of tubular linear voice coil motor for minimum copper loss*. IEEE Transactions on Plasma Science, 47(5), pp. 2369-2375.
- Lemarquand, V., Ravaud, R. and Lemarquand, G. (2010). *A new linear voice-coil motor for ironless loudspeakers: Analytical study*. The XIX International Conf. on Electrical Machines (ICEM), doi: 10.1109/ICELMACH.2010.5608178.
- Luo, C., Sun, J., Wang, X. and Shen, Q. (2017). *Design of voice coil motor with the forward winding for linear vibro-impact systems*. IEEE Transactions on Magnetics, 53(8).
- Mutluer, M. (2021). *Analysis and design optimization of tubular linear voice coil motor for high thrust force and low copper loss*. IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 44(2), pp. 165-170.
- Luo, C. and Sun, J. (2019). *Semi-interior permanent-magnet actuators for high-magnet-utilisation and low-cost applications*. IET Electric Power Applications, 13(2), pp. 223-229.
- Luo, C., Lin, Z. and Sun, J. (2019). *Design of linear voice coil motor with semiclosed structure*. IET Electric Power Applications, 13(10), pp. 1574-1579.



# Examination of Cogging Torque for Surface Mounted PMSM with Outer Rotor

Mümtaz Mutluer<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Elecelectrical & Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6781-8937), [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898903)

**ATIF/REFERENCE:** Mutluer, M. (2021). Examination of Cogging Torque for Surface Mounted PMSM with Outer Rotor. *European Journal of Science and Technology*, (24), 284-288.

## Abstract

One of the most important structural problems for permanent magnet synchronous motors is the cogging torque. One of the most effective ways to reduce the cogging torque is that magnets or slots are skewed. However, this will negatively affect the motor cost and production time. On the other hand, the cogging torque depends on the change in the reluctance of the motor in the air gap during operation. Therefore, the most important design approach to reduce the cogging torque is to examine the parameters that affect the air gap reluctance. In this study, the change of air gap reluctance of surface mounted permanent magnet synchronous motor with outer rotor during operation is investigated. For this purpose, the five most important parameters affecting the air gap reluctance change are selected. In this way, the best motor model with low cogging torque is tried to be obtained.

**Keywords:** Air-gap reluctance, Cogging torque, Outer rotor, Permanent magnet synchronous motor

## Dış Rotorlu Yüzeğe Monte PMSM için Vuruntu Momentinin İncelenmesi

### Öz

Sabit mıknatıslı senkron motorlar için en önemli yapısal sorunlardan biri vuruntu momentidir. Vuruntu momentini azaltmanın en etkili yollarından biri, mıknatısların veya olukların kaykılı olmasıdır. Ancak bu işlem, motor maliyetini ve üretim süresini olumsuz etkileyecektir. Öte yandan, vuruntu momenti, çalışma sırasında motorun hava boşluğundaki relüktans değişimine bağlıdır. Bu nedenle vuruntu momentini azaltmak için en önemli tasarım yaklaşımı, hava boşluğu relüktansını etkileyen parametreleri incelemektir. Bu çalışmada, dış rotorlu yüzeğe monte sabit mıknatıslı senkron motorun hava boşluğu relüktansının çalışma sırasında değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, hava boşluğu relüktans değişimini etkileyen en önemli beş parametre seçilmiştir. Bu sayede düşük vuruntu momentane sahip en iyi motor modeli elde edilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava boşluğu relüktansı, Vuruntu momenti, Dış rotor, Kalıcı mıknatıslı senkron motor

\* Corresponding Author: [mmutluer@erbakan.edu.tr](mailto:mmutluer@erbakan.edu.tr)

## 1. Introduction

Permanent magnet synchronous motors (PMSM) are preferred in many industrial applications for reasons such as providing high torque at low speeds, high power density and high efficiency [Mutluer et al, 2020]. Contrary to the works in which gear system is used, the fact that it offers gearless operation makes PMSM more preferred. Especially in elevator systems, the use of surface mounted PMSM with inner at low speeds is quite popular [Yetiş et al, 2018; Tükenmez Ergene et al, 2018]. In high-speed electrical vehicles, the use of surface mounted PMSM with outer rotor as hub-motor is also suitable for the ease of use of permanent magnets and to obtain high magnetic power density.

Permanent magnet synchronous motors are very superior and bring some difficulties in design and drive systems. The most important challenge encountered in design is cogging torque. Cogging torque is a structural problem and is related to air gap reluctance [Hanselman, 2006]. It can be minimized in effective solutions such as skew in design [Guemes et al, 2008]. However, it is possible to produce solutions based on parameters besides the solutions that are difficult in terms of time and cost.

One of the ways to reduce cogging torque is to choose the appropriate slot/pole combination before starting design. It should be noted that fractional slot PMSMs have lower cogging torque than integral slot PMSMs. Also, the larger the lowest common multiple of the number of slots and the number of poles, the lower the cogging torque will be. This is because the cogging torque created by magnets is added to each other in integral slot PMSMs, while in fractional slot PMSMs they can be opposite to each other. These opposing forces significantly reduce the net cogging torque at the highest the least common multiple between the number of slots and the number of poles [Hanselman, 2006]. However, low cogging torque does not always guarantee low torque vibration [Meier, 2008].

One of the most important methods of cogging torque reduction is to optimize the parameters that will affect the air gap reluctance change [Herlina, 2017]. Generally, these parameters are magnet sizes and stator slot wedge sizes. By optimizing these parameters, a motor model that will minimize the cogging torque can be obtained. Sempere et al. analyzed the

cogging torque for radial and parallel magnetized dc and ac motors. First, the analytical model was developed and then the results were confirmed by finite element analysis. In the cogging torque analysis, only the effects of changing the magnet shape were investigated [Sempere et al, 2017]. Saxena and Fernandes tried to reduce the cogging torque, which is the most important factor in reducing the noise of fan motors. In order to achieve this, they tried to find a solution by magnet skew by single step and by changing the stator tooth shape [Saxena and Fernandes, 2015].

In this study, five parameters selected such as stator slot opening, slot opening height, magnet thickness, magnet offset and magnet embrace and then cogging torque of the motor are investigated. First of all, finite element analysis of the initial motor is made with the basic sizes of these parameters. Then, cogging torque change is observed with the change of selected parameters. According to the results, a motor model with a very small cogging torque value is obtained.

## 2. Analysis of the PMSM

Surface mounted permanent magnet synchronous motors have two structures: inner rotor and outer rotor. Due to the increase in the diameter of the magnet in the outer rotor structure, the power density in the same volume is high. As the rotor is outside and the magnets are adhered to the inner surface of the rotor, the magnets are protected against centrifugal force, so that the permanent magnets are not thrown from the rotor surface. In this type of motors, the magnet flux is radial. Distributed or concentrated winding is used according to the slot/pole combination of the motor. In this study, the cogging torque of a PMSM suitable for high powers has been investigated. The two-dimensional representation of the PMSM is given in Figure 1.

In this study, cogging torque analysis of a 50kW surface mounted PMSM with outer rotor is performed. The motor has forty-eight slots and eight poles. The number of slots per phase per pole is two, and a double layer distributed winding is used. NdFe30 is used as a permanent magnet. Stator and rotor steel is M19-26G. The outer diameter of the motor is 270mm, the shaft diameter is 110mm and the stack length is 86mm.

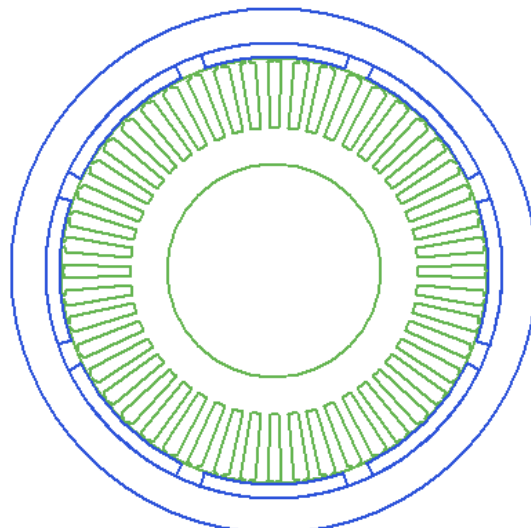


Figure 1. 2D view of the surface mounted PMSM with outer rotor

### 3. Application of the TLVCM Analysis

#### 3.1. Results

Cogging torque is the holding torque in the air gap of the PMSM expressed by equation 1 [Hanselman, 2006]. In this study, five parameters that affect cogging torque such as stator slot opening, slot opening height, magnet thickness, magnet offset, magnet embrace are selected. Three of these parameters are permanent magnet parameters, the other two are stator parameters. Since surface mounted permanent magnet synchronous motors are non-salient, the effect of stator tooth parameters is especially important. In addition, the magnitude of the magnetic flux in the air gap and its interaction with the stator teeth are also important. Therefore, these parameters affect the change of air gap reluctance during operation. Thus, the variation of air gap reluctance affects the cogging torque magnitude. In the first stage of the study, according to the basic magnitudes of these five parameters are given in Table 1 the cogging torque value of the motor is calculated. The cogging torque of the first motor is obtained as 1.83Nm and its graph is given in Figure 2. The speed of the motor here is 3600rpm, so the ratio of cogging torque to rated torque is about 1.4%.

$$T_{cog} = -\frac{1}{2} \phi^2 \frac{d\mathfrak{R}}{d\theta} \quad (1)$$

where  $\phi$  is the magnet flux of the air gap and  $\mathfrak{R}$  is the magnetic reluctance of the air gap.

Table 1. Five geometric parameters of the PMSM

Structure Parameter	Value
Stator slot opening (mm)	1.93
Slot opening height (mm)	1
Magnet thickness (mm)	7.5
Magnet offset (mm)	0
Magnet embrace	0.85

In the second stage of the study, these parameters are changed between starting and ending values are shown in Table 2. The cogging torque values of the PMSM is calculated for each parameter. According to these values, the lowest cogging torque value is obtained as 2.95E-7Nm. Stator slot opening 0.5mm, slot opening height 0.5mm, magnet thickness 5mm, magnet offset 0mm, magnet embrace 0.5 were obtained for this cogging torque value. The graphs of cogging torque are drawn in Figure 2.

The geometries of the air gap of the PMSM obtained using five parameters are given in Figure 3. According to these figures, the geometry of the air gap to minimize the reluctance of the air gap for the minimum cogging torque is obtained. In this way, the impact of the cogging torque during operation is minimized. However, a more useful model can be obtained by including different objectives in the problem and rearranging the parameter boundaries. This study also proposes that a smaller value for cogging torque can be obtained by adjusting the geometric parameters in design optimization applications.

Moreover, a linear relationship can be established between geometric parameters and cogging torque. In other words, simple equations can be obtained for some outputs that are difficult to obtain due to the nonlinear nature of the motor. With the mathematical equation obtained in this way, it is possible to perform more precise optimization operations in future studies.

Table 2. Variables and Values

Structure Parameter	Values
Stator slot opening (mm)	0.5-1.0-1.5-2.0-2.5
Slot opening height (mm)	0.5-1.0-1.5-2.0-2.5
Magnet thickness (mm)	5-6-7-8-9-10
Magnet offset (mm)	0-0.5-1.0-1.5-2.0
Magnet embrace	0.5-0.7-0.9

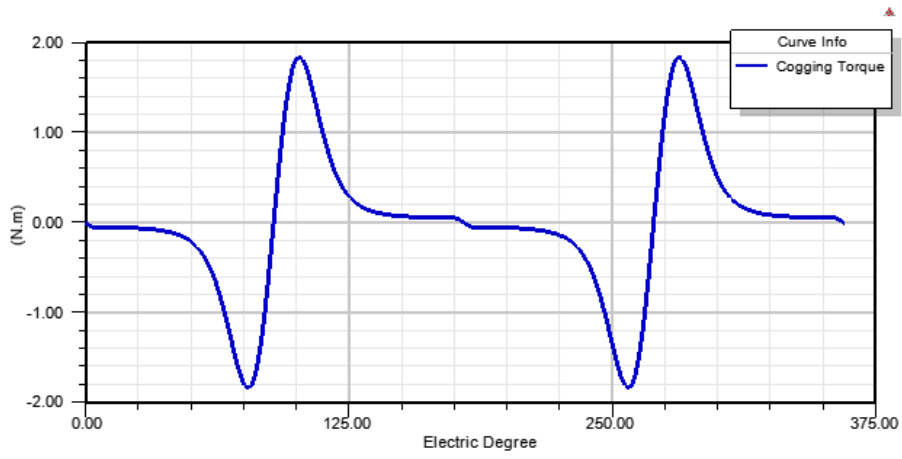
In a study on axial flux PMSM, the design of the motor was made with the ANSYS Maxwell program, variable ranges were assigned to the design parameters selected for this and the obtained performance values were examined. After obtaining all the results, the artificial neural network model was established and trained based on these data, and ultimately the optimal design parameters were determined and these results were compared. In other words, using the ANSYS Maxwell program, a database of the motor was created with different design parameters and these data were used for artificial neural network training and testing. In this way, the torque of the motor was tried to be improved [Talay and Erkan, 2019]. The method applied here is a preliminary study to create a model for further studies by converting the cogging torque of a radial flux surface mounted PMSM into a simple equation based on the design parameters.

### 4. Conclusions and Recommendations

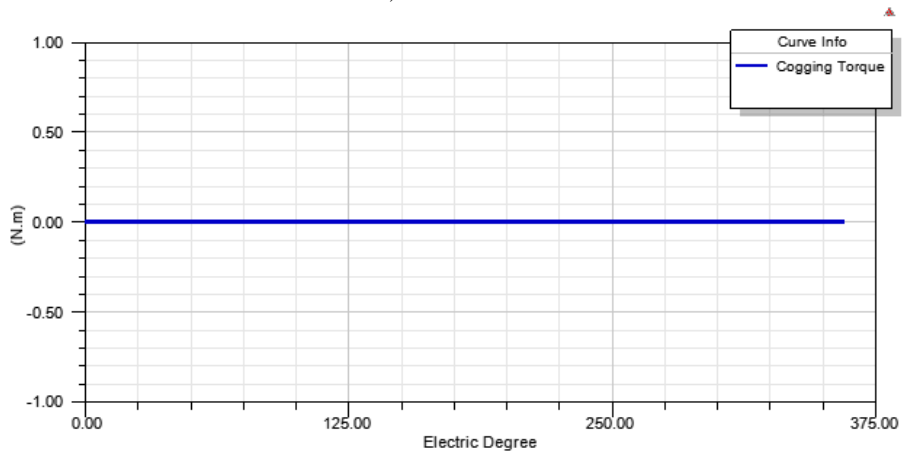
One of the biggest structural problems of permanent magnet synchronous motors is cogging torque. Although some techniques such as skew are used to solve this problem, there are some difficulties in terms of cost and time. In this study, some geometric parameters are optimized to minimize the cogging torque. In this way, the air gap reluctance change during motor operation is minimized. While the initial cogging torque was 1.83Nm, this value decreased to 2.95E-7Nm by optimizing the design parameters. By optimizing the geometric parameters, cogging torque is virtually eliminated. As a result of this study, it is also revealed that a linear relationship between cogging torque and design parameters could become possible.

### 5. Acknowledge

I would like to thank Selcuk University for the motor analysis program.

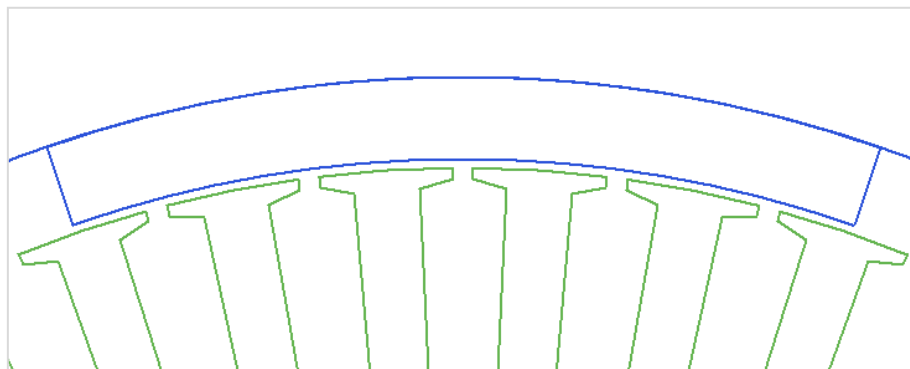


a) First model

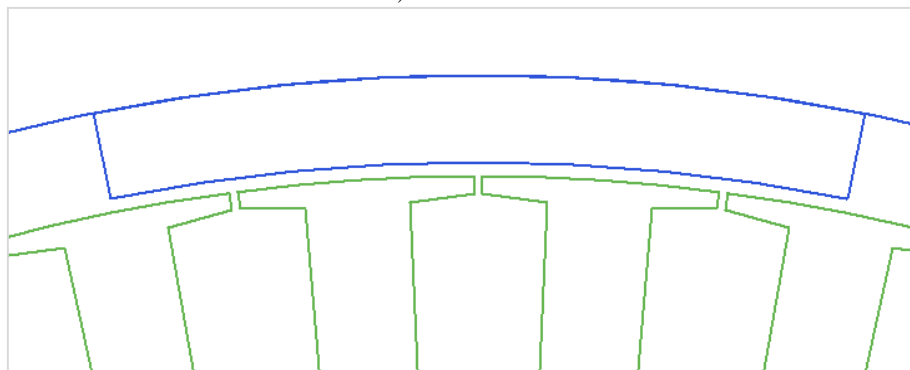


b) Optimized model

Figure 2. Cogging torque graphics of the PMSM



a) First model



b) Optimized model

Figure 3. 2D view of air gap geometry of PMSM

## References

- Mutluer, M., Şahman, M. A. and Çunkaş, M. (2020). *Heuristic optimization based on penalty approach for surface permanent magnet synchronous machines*. Arabian J. Sci. Eng., vol. 45, no. 8, pp. 6751-6767.
- Yetiş, H., Meşe E. and Bıyıklı, M. (2018). *Design and comparison of ferrite based IPM and NdFeB based SPM synchronous motors for gearless elevator systems*. XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM).
- Tükenmez Ergene, L., Polat, A. and Bakhtiarzadeh, H. (2018). *Design of a permanent magnet synchronous motor used in elevators*. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:2, pp. 757-770.
- Hanselman, D. C. (2006). *Brushless permanent magnet motor design*. Magna Physics Publishing.
- Guemes, J. A., Iraolagoitia, A. M., Donsion, M. P. and Del Hoyo, J. I. (2008). *Analysis of torque in permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings*. 18th International Conference on Electrical Machines.
- Meier, F. (2008). *Permanent-magnet synchronous machines with non-overlapping concentrated windings for low-speed direct-drive applications*. Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Herlina, Setiabudy, R. and Rahardjo, A. (2017). *Cogging torque reduction by modifying stator teeth and permanent magnet shape on a surface mounted PMSG*. International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, pp. 227-232.
- Sempere, V. S., Payán, M. B., and Bueno, J. R. C. (2017). *Cogging torque cancellation by magnet shaping in surface-mounted permanent-magnet motors*. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, No. 7.
- Saxena, A. and Fernandes, B. G. (2015). *Noise and cogging torque reduction in brushless dc ceiling fan*. 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).
- Talay, T. and Erkan, K. (2019). *Axial flux permanent magnet motor design and optimisation by using artificial neural networks*. Xjenza Online, 7:28-36.





# Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri

Ayşe Kocalmış Bilhan<sup>1\*</sup>, Serenay Emikönel<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5008-6784), [akbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:akbilhan@nevsehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2949-8397), [serenayemikonel@gmail.com](mailto:serenayemikonel@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900024)

**ATIF/REFERENCE:** Bilhan, A.K., Emikönel, S., (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 289-294.

## Öz

Son yıllarda, enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün biraz daha artarken enerji üretim kapasitesi ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesi haline gelmiştir. Günümüzde nüfusun hızlı artışı, endüstri 4.0 gibi teknolojik gelişmeler, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması alternatif enerji kaynaklarının kullanımını oldukça popüler hale getirmiştir. Özellikle 2020 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan pandemi ile yaşam alanlarında teknolojik aletlerin daha fazla kullanılmasına ve enerjiye olan ihtiyacın daha da belirgin hale gelmesine sebep olmuştur. Yapılan araştırmalar ile fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceği öngörürken, fosil yakıtların kullanımı ile çevreye verilen zararda açıkça ortaya koyulmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar çevreye zarar vermeyen sınırsız enerji kaynağı arayışına başlamıştır. Güneşten, rüzgardan yada jeotermal kaynaklardan elde edilen enerji fosil yakıtlara göre hem çevreye verilebilecek zararı en aza indirmekte hemde tükenmeyen temiz enerji kaynağı olmasıyla çok önemli bir yere sahiptir. Bu alternatif enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi hem güneşin olduğu saatlerde sınırsız olması hem de atık bir ürün oluşturmaması sebebiyle oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizin coğrafi konum açısından sahip olduğu güneş enerji potansiyeli oldukça yüksektir ve bu potansiyelin değerlendirilmesi de oldukça önemlidir. Bu çalışmada İç Anadolu bölgesinde yer alan Nevşehir ili için güneş enerji potansiyeli araştırılmıştır. Nevşehir ilinin merkez ve ilçelerin sahip olduğu güneşlenme süreleri ve ısınım şiddetleri hakkında bilgi verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Güneş enerjisi, Güneş Enerji Potansiyeli.

## Analysis of the Solar Energy Potential in Nevşehir Province and Installed Solar Power Plants

### Abstract

In recent years, while the need for energy has increased day by day, energy production capacity has become an indicator of the development levels of countries. Today, alternative energy sources have become more popular because of the rapid increase of the population, technological developments such as industry 4.0 and the limited fossil fuel resources. Especially in 2020, due to the pandemic that affected the whole world, it caused the use of technological tools more in residential areas and the need for energy became more evident. Recent studies predicted that fossil fuels will be consumed away in the near future and they also reveal the environmental damage. For this reason, researchers have searched for unlimited energy sources that do not harm the environment. Energy obtained from the sun, wind or geothermal resources has a very important place in minimizing the damage to the environment and being an inexhaustible clean energy source compared to fossil fuels. Among these alternative energy sources, solar energy has a

\*Sorumlu Yazar: [akbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:akbilhan@nevsehir.edu.tr)

very common usage area because it is unlimited during the hours of the sun, does not produce waste. The solar energy potential in Turkey is quite high of its geographical location. In this study, solar energy potential for Nevşehir province which is located in the Central Anatolia region was investigated. Information has been given about sun light duration and radiation intensity of Nevşehir city center and districts.

**Keywords:** Energy, Solar Energy, Solar Energy Potential.

## 1. Giriş

Günümüzde enerji, toplumun yaşamsal kalitesini belirleyen en önemli unsurların başında gelmektedir. Enerji ihtiyacı, artan nüfus miktarı, teknolojik gelişmeler ve ekonomik artış ile doğru orantılı olarak günden güne artış göstermektedir. Günlük hayatta her alandan kullanılması, enerji tüketiminin yanı sıra enerji üretiminin de önemini arttırmıştır. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de gelişmekte olan bir ülke olarak günden güne daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır ve günden güne daha çok enerji üretimi yapmaktadır [1, 2, 3].

Enerjiye olan ihtiyacın büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından elde edilmektedir. Fosil yakıtlarının kullanımı beraberinde birçok olumsuz sonucu da getirmektedir. Fosil yakıtlarının yakılmasıyla havaya salınan CO<sub>2</sub> gazının meydana getirdiği küresel ısınma, iklim değişimi gibi olaylar çevreye verilecek zararların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kömür, petrol, linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar uzun vadede enerji üretimi mümkün olmayan tükenebilir kaynaklardır. Ülkemizde de fosil yakıtları kaynağının sınırlı olması ve çevreye verilen zararı en aza indirebilmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur [2, 4, 5].

Yenilenebilir enerji kaynağı, “doğal bir çevrim sürecinde aynen kalabilen ve bir sonraki günde mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak ifade edilmektedir [6]. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi, hidro enerjisi, gel-git enerjisi ve dalga enerjisi olarak sınıflandırılmaktadır [7]. Yenilenemez enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan yenilenebilir enerji kaynakları ülkelerin dışa bağımlılıklarını azaltması, çevreye verilebilecek zararın en aza indirilmesi ve canlı dostu olması açısından çok önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız enerji imkanı sağlaması nedeniyle de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi günden güne artmaktadır [5, 6].

Enerji üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarında güneş enerjisi önemli bir yere sahiptir. Güneş’in çekirdeğinde hidrojen gazının helyuma gazına dönüşmesi sonucu füzyon reaksiyonu meydana gelir. Oluşan füzyon reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ışıma enerjisi ise güneş enerjisidir [8, 9]. Bir başka deyişle güneş enerjisi, güneşten dünyanın 1 m<sup>2</sup> yüzeyine watt olarak düşen enerji olarak ifade edilebilir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, hemen hemen 1370 W/m<sup>2</sup>’dir. Bunun yanı sıra yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden kaynaklı olarak 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişiklik

göstermektedir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir kısmı bile, insanlığın ihtiyaç duyduğu enerji tüketiminden oldukça çok daha fazladır [8, 10, 11].

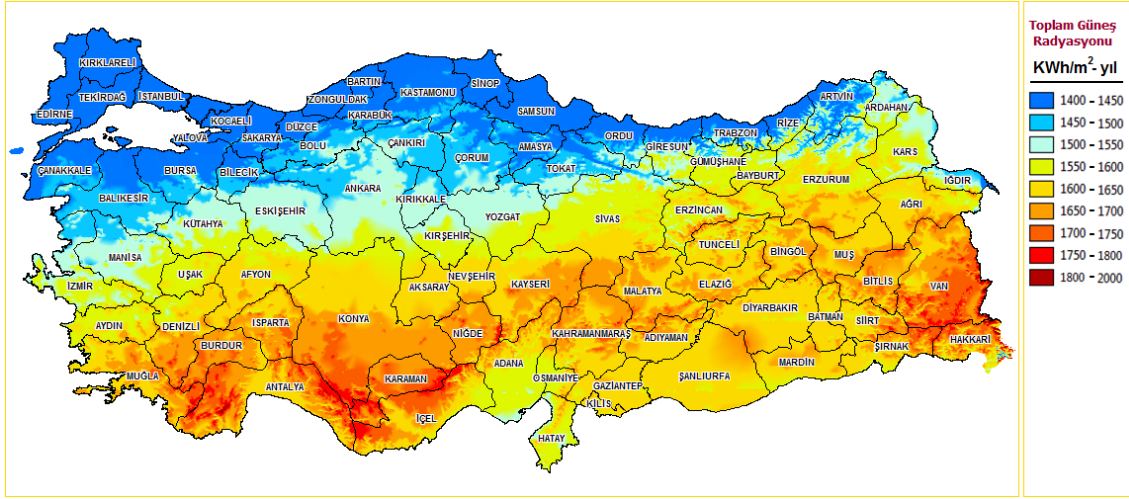
Ülkemizin coğrafi konumu açısından güneş enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Güneş enerjisi önemli ölçüde CO<sub>2</sub> emisyonlarını en aza indirilmesini sağladığından dolayı ve kullanıldığında herhangi bir zararlı gaz açığa çıkartmadığından dolayı temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi herhangi bir yakıt gereksiniminde bulunmaması, kullanım esnasında atık madde üretmemesi, gürültü oluşturmaması ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olmasıyla bu enerji türüne olan ilgiyi arttırmıştır [12, 13, 14]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), güneş enerjisinin 2050 yılına kadar ana akım enerji kaynaklarından biri olacağını ve o zaman dünya elektrik üretiminin yaklaşık% 11’ine katkıda bulunacağını tahmin ediyor [15, 16].

Bu çalışmada Nevşehir ili için güneş enerji potansiyeli araştırılarak burada kurulacak Güneş Enerji Santralleri’nden daha verimli faydalanılabilmesi için merkez ve ilçelerinin sahip olduğu güneşlenme süreleri ve ışıma şiddetleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndan alınan veriler incelenerek karşılaştırılmıştır. Literatüre bakıldığında güneş enerji potansiyeli hakkında birçok makale bulunmaktadır. Kaynar çalışmasında Amasya ilinin sahip olduğu güneş enerji potansiyelini araştırmıştır ve Karadeniz Bölgesinde bulunan diğer illerle karşılaştırmıştır [17]. Geçen çalışmada Hayat ilinde kurulacak güneş enerji santrallerinin en uygun alanlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Uygun alanlar CBS ortamında ÇÖKA yöntemiyle analiz edilmiş ve en uygun alanın Erzincan ilçesi olduğu tespit edilmiştir [18]. Taşkın ve arkadaşları çalışmalarında Kahramanmaraş’ın güneş enerji potansiyeli araştırılmıştır ve en yüksek güneşlenme süresinin Pazarcık en yüksek ışıma şiddetinin ise Nurhak olduğu gözlenmiştir. Araştırmalar doğrultusunda güneş enerji potansiyelinin sıcak su elde edilmesi haricinde yeteri kadar kullanılmadığı tespit edilmiştir [19].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Türkiye’nin Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, 783.562 km<sup>2</sup> yüzey ölçümüyle, 36°-42° kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla diğer ülkelere kıyasla oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkedir. Şekil 1’de Enerji ve Tabii Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye’nin Güneş Radyasyon Haritası gösterilmiştir [8].



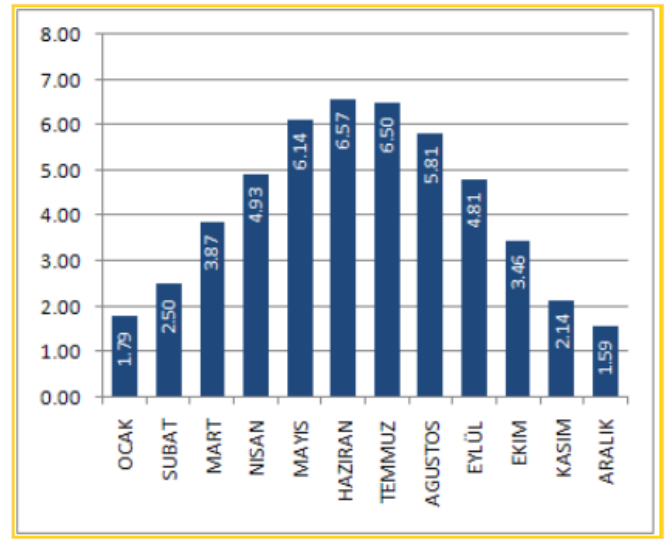
Şekil 1. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA)

Şekil 1’de gösterilen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’nda güneş ışımından maksimum şekilde faydalanabilecek şehirler açık ve koyu kırmızı renklerle belirtilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye’nin en çok güneş enerji potansiyeline sahip bölgelerin başında gelmekte olup, İç Anadolu Bölgesi Tablo 1’de görüldüğü üzere dördüncü sırada yer almaktadır [20].

Tablo 1. Bölgelerin Işım Şiddetleri ve Güneşlenme Süreleri

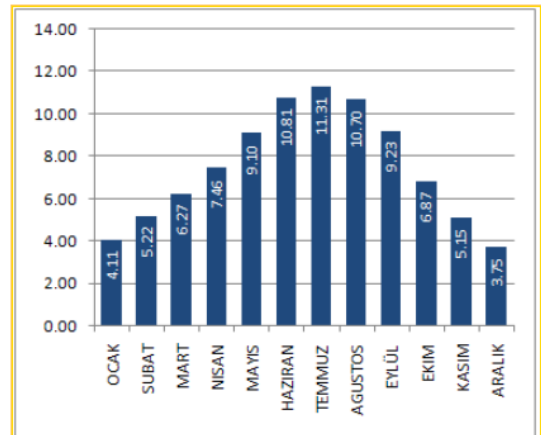
Türkiye’nin Bölgeleri	Işım Şiddeti (KWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme Süreleri (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1460	2993
Akdeniz Bölgesi	1390	2956
Doğu Anadolu Bölgesi	1365	2664
İç Anadolu Bölgesi	1314	2628
Ege Bölgesi	1304	2738
Marmara Bölgesi	1168	2409
Karadeniz Bölgesi	1120	1971

Şekil 2’de gösterilen değerler ülkemizin aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerlerini göstermektedir [8]. Global radyasyon değerinin en fazla olduğu ay Haziran ayıdır. Türkiye’nin aylık bazda ortalama günlük ışım şiddetinin 4,18 kWh/m<sup>2</sup>-gün, yıllık ortalama toplam global radyasyon değerinin ise 1524,18 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (4,18x365) olduğu görülmektedir.



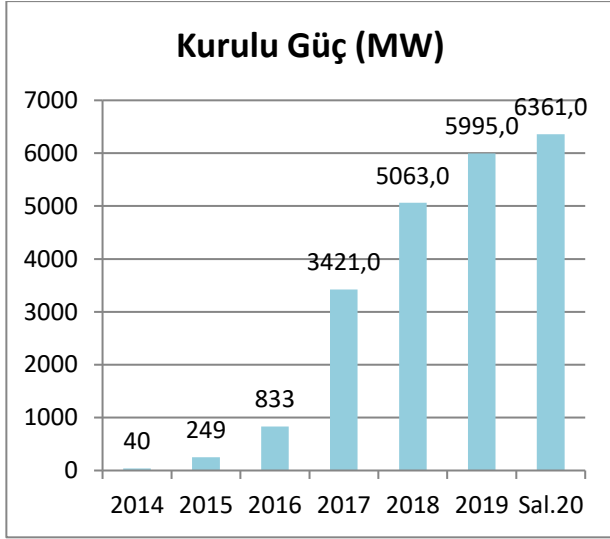
Şekil 2. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)

Şekil 3’te grafikte ülkemizin aylık bazda ortalama güneşlenme süreleri gösterilmiştir [8]. Temmuz ayında güneşlenme süresi maksimum iken Aralık ayında minimumdur. Türkiye’nin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süresi 7,49 saat-gün, yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi ise 2736,89 saat-yıl (7,49x365) dir. Bu veriler doğrultusunda Türkiye’nin güneşlenme süresi açısından yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)

Şekil 4'te 2014-2020 yılları arasında güneş enerjisinden yararlanmanın yıllara göre değişimi gösterilmiştir [8]. Özellikle 2017 yılından sonra hızlı bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Eylül 2020 sonu itibarıyla güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 6361 MW'ı bulmuştur.



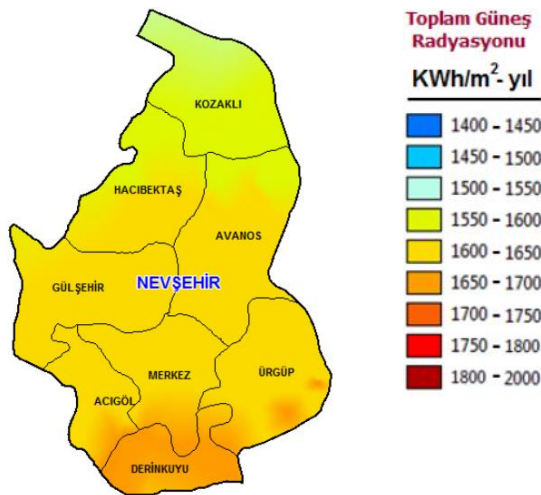
Şekil 4. Türkiye'de Güneş Enerjisinin Gelişimi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Nevşehir İlinin Güneş Enerji Potansiyeli

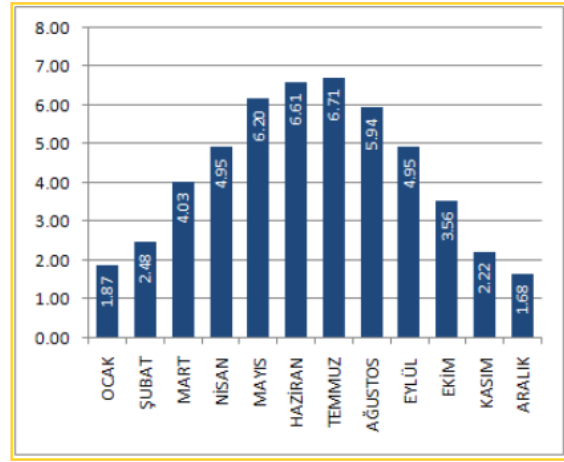
Nevşehir, İç Anadolu Bölgesinde  $38^{\circ} 12'$  ve  $39^{\circ} 20'$  kuzey enlemleri ile  $34^{\circ} 11'$  ve  $35^{\circ} 06'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Nevşehir ili, doğudan Kayseri, kuzey doğudan Yozgat, kuzey ve kuzey batıdan Kırşehir, güneyden Niğde ve güney batı ve batıdan Aksaray ileriyle çevrili olup  $5467 \text{ km}^2$  yüz ölçümüne sahip bir ilimizdir.

Nevşehir ilinin güneş ışınım haritası Şekil 5'de gösterilmiştir [8]. Haritadan da görüldüğü üzere Nevşehir ili toplam güneş radyasyon değeri  $1500-1750 \text{ KWh/m}^2\text{-yıl}$  güneş ışınım potansiyeline sahiptir.



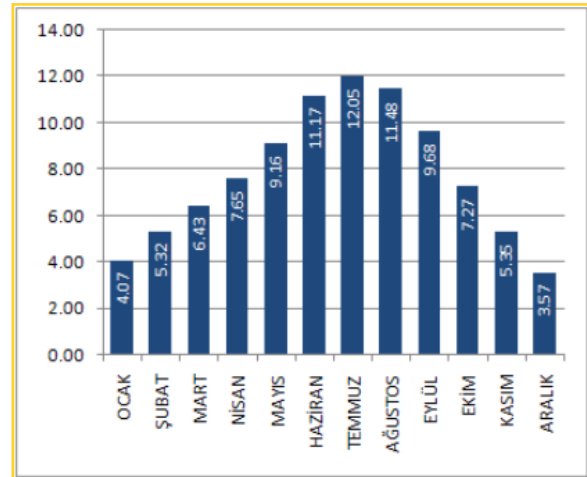
Şekil 5. Nevşehir ili güneş ışınım haritası

Şekil 6'de Nevşehir ilinin aylık ortalama radyasyon değerleri gösterilmiştir [8]. Değerler incelendiğinde en düşük Aralık ayında  $1.68 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$  ve en yüksek Temmuz ayında  $6.71 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$  olmak üzere değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6. Nevşehir ili aylık global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)

Şekil 7'de ise Nevşehir ilinin aylık ortalama güneşlenme süreleri gösterilmiştir [8]. Güneşlenme süresinin en düşük değeri Aralık ayında 3.57 saat olup en yüksek değeri ise Temmuz ayında 12.05 saat olmak üzere değişim göstermektedir.



Şekil 7. Nevşehir ili aylık güneşlenme süreleri (saat)

Nevşehir ili yıllık toplam güneşlenme süresi 2844 saat ve yıllık toplam ışınım miktarı  $1568 \text{ KWh/m}^2\text{-yıl}$  (günlük ortalama  $4,29 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$ ) değerine sahiptir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda ülke ortalamasının üzerinde bir güneşlenme süresine sahiptir. Bu sebeple Nevşehir ili güneş enerji potansiyeli açısından önemli bir yerdir. Nevşehir ilinde yaz aylarında güneş ışığından en verimli şekilde faydalanılması sebebiyle güneş enerjisinden elektrik üretimi yaz aylarında en fazladır.

Nevşehir; Kozaklı, Hacıbektaş, Avanos, Gülşehir, Merkez, Ürgüp, Acıgöl ve Derinkuyu olmak üzere toplam 8 ilçeye sahiptir. Tablo 2'de bu ilçelere ait yıllık ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir [8]. Bu veriler incelendiğinde ilçeler arasında yıllık ortalama güneşlenme süresi en yüksek 7,90 h ile Derinkuyu iken en düşük 7,61 h ile Kozaklı'dır. Tablo 3'de ise global radyasyon değerleri verilmiştir [8]. Bu değerler doğrultusunda  $4,37 \text{ KWh/m}^2$  ile Derinkuyu ilk sırada yer alırken,  $4,15$  ile Kozaklı son sırada yer almaktadır.

Tablo 2. Nevşehir ilinin merkez ve ilçelerinin yıllık ortalama güneşlenme süreleri (saat)

Güneşlenme Süresi (saat)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama Güneş Enerji
Kozaklı	3,99	5,26	6,33	7,59	8,99	10,95	11,84	11,28	9,42	7,08	5,21	3,46	7,61
Hacıbektaş	4,03	5,30	6,47	7,67	9,08	11,08	11,97	11,39	9,57	7,18	5,28	3,51	7,71
Avanos	4,04	5,30	6,34	7,60	9,11	11,13	12,01	11,45	9,63	7,25	5,31	3,52	7,72
Gülşehir	4,09	5,33	6,56	7,74	9,15	11,17	12,05	11,48	9,68	7,25	5,37	3,59	7,78
Merkez	4,10	5,37	6,48	7,69	9,25	11,29	12,17	11,58	9,79	7,36	5,43	3,63	7,84
Ürgüp	4,12	5,33	6,37	7,61	9,22	11,28	12,14	11,56	9,79	7,39	5,41	3,61	7,81
Acıgöl	4,10	5,37	6,56	7,73	9,29	11,30	12,19	11,58	9,82	7,35	5,45	3,69	7,86
Derinkuyu	4,16	5,40	6,52	7,69	9,37	11,35	12,23	11,60	9,93	7,44	5,49	3,73	7,9

Tablo 3. Nevşehir ilinin merkez ve ilçelerinin global radyasyon değerleri

İşinim Şiddeti (KWh/m <sup>2</sup> -gün)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ortalama Güneş Enerji
Kozaklı	1,80	2,38	3,91	4,85	6,13	6,49	6,43	5,84	4,84	3,45	2,10	1,60	4,15
Hacıbektaş	1,84	2,48	3,99	4,92	6,19	6,58	6,66	5,93	4,93	3,50	2,18	1,65	4,23
Avanos	1,86	2,49	4,02	4,94	6,18	6,59	6,69	5,93	4,93	3,53	2,20	1,67	4,25
Gülşehir	1,87	2,45	4,02	4,93	6,14	6,57	6,69	5,95	4,93	3,60	2,21	1,70	4,25
Merkez	1,90	2,50	4,08	4,99	6,25	6,66	6,83	5,97	4,99	3,60	2,27	1,70	4,31
Ürgüp	1,91	2,51	4,09	5,01	6,26	6,68	6,82	5,97	4,99	3,60	2,28	1,70	4,31
Acıgöl	1,90	2,53	4,10	5,00	6,25	6,68	6,82	5,99	5,00	3,64	2,29	1,70	4,32
Derinkuyu	1,93	2,64	4,15	5,04	6,33	6,73	6,90	6,03	5,06	3,69	2,30	1,73	4,37

Nevşehir ilinde, aktif beş ve yapım aşamasında dört olmak üzere 9 güneş enerji santrali bulunmaktadır. Tablo 4’de bu santraller ve kurulu güçleri hakkında bilgi verilmiştir [21].

Tablo 4. Nevşehir ilinin güneş enerji santralleri

Santral Adı	Durumu	Firma	Kurulu Güç (MW)
Derinkuyu Güneş Enerji Santrali	Aktif		17 MW
Ede Yol Yapı Enerji ve Güldan GES	Aktif	Ede Yol Yapı Enerji	4,00 MW
Beşiktaş ve Kadıköy Güneş Enerji Santrali	Aktif		1,97 MW
Blok Bims Güneş	Aktif	Blok Bims	0,28 MW

Santrali	Durumu	Firma	Kurulu Güç (MW)
Nevşehir Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Aktif	Nevşehir Belediyesi	0,18 MW
Hamzalı Güneş Enerji Santrali	Yapım Aşamasında		5,90 MW
Tekno Enerji Nevşehir GES	Yapım Aşamasında	Tekno Enerji	3,00 MW
Hacıbektaş Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Yapım Aşamasında	Hacıbektaş Belediyesi	1,00 MW
BEC Tarım Güneş Enerji Tesisi	Yapım Aşamasında	BEC Tarım	0,50 MW

Nevşehir ili için kurulu ve yapım aşamasında bulunan dört GES’inde faaliyete geçmesiyle GES’ler bugünkünden çok daha fazla miktarda ekonemiye destek sağlayacaktır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma ile Nevşehir ilinin sahip olduğu güneş enerji potansiyelin araştırılmış olup bulgular dahilinde yıllık toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2844 saat, yıllık toplam global radyasyon değerinin ise yaklaşık 1568 KWh/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerde İç Anadolu bölgesinde yer alan Nevşehir ilinin güneş enerjisi bakımından önemini ortaya koymaktadır.

Nevşehir ilinde kurulacak güneş enerji sistemlerinden daha iyi bir şekilde verim alabilmek için il ve merkezlerin güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ilçelerin ışınım şiddetlerinin sıralaması; Derinkuyu, Acıgöl, Ürgüp, Merkez, Avanos, Gülşehir, Hacıbektaş, Kozaklı şeklindedir. Güneşlenme sürelerine göre ise; Derinkuyu, Acıgöl, Merkez, Ürgüp, Gülşehir, Avanos, Hacıbektaş, Kozaklı şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Nevşehir’in güneş enerji potansiyeli yüksek olan Derinkuyu, Acıgöl ve Merkez güneş enerji santrallerinin kurulması için en uygun bölgelerdir.

Nevşehir ilinde aktif olarak enerji üretimi yapan toplam 23,43 MWkurulu güce sahip 5 Güneş Enerji Santrali bulunmaktadır. Yapım aşamasında olan 4 GES’inde faaliyete geçmesi ile bu günkünden daha fazla enerji üretimi yapılacaktır. Bunun yanı sıra şuan yapım aşamasında olan güneş enerji santralleri ve kurulacak yeni santraller sayesinde yeni iş imkanları da sunacaktır. Bölgesel açıdan incelendiğinde Güneydoğu Anadolu Bölgesi kadar verimli olmasa da İç Anadolu Bölgesi de güneşlenme süreleri ve ışınım şiddetleri göz önünde bulundurulduğunda önemi anlaşılmaktadır.

#### Kaynakça

- [1] İzgeç, M. M. (2020). Türkiye Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Devreye Alma İşleminin Darboğaz Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(2), 499–508.
- [2] Özyakışır, Ö. ve Ünver, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Lisanssız Elektrik Üretimi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 4, 195–226.
- [3] Kocalmış Bilhan, A. (2019). Design of output buck-boost Converter for Solar Inverter. *4.International Conference on Material Science and Technology (IMSTEC 2019)*, 228-232.
- [4] Eltas, İ. (2020). Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi Veriminin Erzurum Koşullarında Belirlenmesi.
- [5] Bükün, N. (2017). Siirt Yöresi İçin Tek Eksenli Güneş Takip Sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi.
- [6] Yılmaz, E. A. ve Öziç, H. C. (2018). Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Ve Gelecek Hedefleri. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, 8(3), 525–535.
- [7] Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine*, 56(668), 36-47.
- [8] YEGM, (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Genel Müdürlüğü. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>

- [9] Oğuz, M. ve Akkurt, Ş. (2017). Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. *Ömür Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 362-374.
- [10] Çifci, A. ve Altundağ, E. (2017). Burdur Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin Elektrik Üretiminde Kullanımı. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(2), 111-120.
- [11] Çırak, B. (2019) Karaman İlinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları. *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 19-49.
- [12] Badak, U. ve Yıldız, A. B. (2020). Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verime Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2496-2507.
- [13] Bulut, N., Kuncan, M. ve Horoz, S. (2018). Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları ve Siirt Güneş Enerji Potansiyeli. *Ahtamara I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, 1315-1319.
- [14] Alcan, Y., Demir, M. ve Duman, S. (2018). Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz Ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 35-44.
- [15] Dinçer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (1) 713–720.
- [16] Moosavian, S., Rahim, N., Selvaraj, J., Solangi, K. (2013). Energy policy to promote photovoltaic generation, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 25, 44–58.
- [17] Kaynar, N. K. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54.
- [18] Geçen, R. (2019). Hatay İlinde Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların Belirlenmesi. *Turkish Studies – Social Sciences*, 14(6), 3031-3054.
- [19] Taşkın, O. ve Korucu, T. (2014). Kahramanmaraş İli İçin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanım Olanakları. *KSÜ Doğa Bilim Dergisi*, 17(4), 12-16.
- [20] Power Enerji, <https://www.powerenerji.com/turkiye-gunes-enerjisi-potansiyel-haritasi-bolge-il-guneslenme-sureleri.html>
- [21] Enerji Atlası, Nevşehir Elektrik Santrali. <https://www.enerjiatlası.com/sehir/nevsehir/>



## Doğrusal Kutuplu Antenlerle Kemik Kırıklarının Tespit Edilmesi

Yusuf Cihan Yel<sup>1\*</sup>, Oğuzhan Akgöl<sup>2</sup>, Vedat Özkaner<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2015-0295), [yusufyel.mfbel7@iste.edu.tr](mailto:yusufyel.mfbel7@iste.edu.tr)

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1423-1569), [oguzhan.akgol@iste.edu.tr](mailto:oguzhan.akgol@iste.edu.tr)

<sup>3</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8293-0022), [vedat.ozkaner@iste.edu.tr](mailto:vedat.ozkaner@iste.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901417)

**ATIF/REFERENCE:** Yel, Y. C., Akgöl, O. & Özkaner, V. (2021). Doğrusal Kutuplu Antenlerle Kemik Kırıklarının Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 294-301.

### Öz

Bu çalışmada antenlerin medikal görüntüleme alanında kullanılması ve doku altında meydana gelen kemik kırıklarının tespit edilmesi üzerinde çalışılmıştır. Kablosuz haberleşmede vazgeçilmez bir öneme sahip olan antenlerin, birçok farklı disiplinlerde kullanım alanı mevcuttur. Bu alanlardan bir tanesinde medikal alandır. Bu çalışmanın ana konusu antenlerin de medikal alanda kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada lineer (doğrusal) kutuplu antenler kullanılarak, doku altında yer alan kemik kırıklarının bulunması hedeflenmiştir. İlk olarak kurgulanan sistemi klinik alanda uygulamak ve tıbbi görüntüleme sistemini geliştirmek amacıyla; bağlı oldukları durum içerisinde mikrodalga antenin özelliklerinin bilinmesi gerekir [1]. Çalışmada horn anten ve patch antenler kullanılmış ve bu ikisi arasındaki farklar göz önünde bulundurularak, çalışmada en verimli sonucun hangisinden alındığına karar verilmiştir. Elektromanyetik dalgaların insan vücudu ve dokusu üzerinde yüksek yayılım gösterdiği göz önüne alınırsa [2], bu alanda özel antenlerin seçilmesi çok önemlidir. Seçilen horn ve patch antenler kendi aralarında haberleştirilir, birbirlerine aktarılan enerjiler saçılım parametreleriyle tespit edilir ve haberleşen bu iki anten arasına kemikli doku yerleştirilir. Verici antenin yaydığı elektromanyetik dalgalar doku içinden geçerek, alıcı antene ulaşır ve saçılma parametrelerine göre durum değerlendirilmesi yapılır. Kemik kırığı tespitinde, horn antenler ve patch antenler ayrı ayrı denenerek çalışmalar saçılım parametreleri açısından kıyaslanır ve kırık olma durumunda oluşan değişimler tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Horn anten, Patch anten, Mikrodalga, Elektromanyetik Dalga, Medikal Görüntüleme, Doku, Kemik

## Detection of Bone Fractures with Linerally Polarized Antennas

### Abstract

In this study, the use of antennas in the medical imaging area and the determination of bone fractures under the tissue were studied. Antennas, which have an important place at the wireless communication point, have also a wide range of uses in many different disciplines. In the same way, working with antennay that provide the opportunity to use in medical field, is the main subject of this current study. It was aimed to detect bone fractures under the tissue by using linearly polarized antennas. In order to obtain accurate results, implement in the clinical field and develop the medical imaging system, it is necessary to know the properties of the microwave antenna used in the system [1]. Horn and patch antennas were used in this study and it was determined that which one had the most efficient result by considering the difference between these two antennas. Considering the fact of electromagnetic waves also have high propagation over the human body and tissue [2], it is very important to choose the specific antenna for this study. The selected horn and patch antennas are communicated with each other, the energy transmission between them was determined through scattering parameters and a bony tissue is placed between the antennas. The electromagnetic waves radiated from the transmitting antenna pass through the tissue and reach to the receiving antenna and the situation is evaluated according to the scattering parameters. In the detection of bone fractures, horn antennas and patch antennas are tested separately, the performed tests are compared and the changes that took place in case of fracture are determined.

**Keywords:** Horn antenna, Patch antenna, Microwave, Electromagnetic Wave, Medical Imaging, Tissue, Bone

\* Sorumlu Yazar: [yusufyel.mfbel7@iste.edu.tr](mailto:yusufyel.mfbel7@iste.edu.tr)

## 1. Giriş

Medikal görüntüleme, tıp alanına getirdiği yeniliklerle büyük bir kolaylık sağlamış ve kullanım alanı hemen hemen vazgeçilmez duruma gelmiştir. Çeşitli alanlarda medikal görüntüleme imkanları varken, mikrodalgalar kullanılarak görüntülenme sağlanması da bu uygulamaların başında gelmektedir. Teknoloji büyük bir hızla ilerlerken, bu ilerlemeyle birlikte medikal görüntüleme cihazları da hızlı bir şekilde gelişmiştir [3]. Antenler de birbirleri arasında elektromanyetik dalgalar yayarak haberleştikleri için, günümüzde kullanım alanları oldukça geniştir. Ancak, bilindiği gibi her alanda aynı tip antenler kullanılmazlar. Tıpkı diğer birçok şey gibi, bu yapıların da kimlikleri vardır ve çeşitli kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaları yapılarak kullanılır. Medikal alanda kullanılan çeşitli kimliklere sahip antenler önemli rol oynamaktadır. Örneğin son zamanlarda meme kanserinin teşhis edilmesinde kullanılan antenlerin mikrodalga özellikleri büyük rol oynamaktadır [4]. Bu çalışmada kullanılan antenlerin amacı, verici bir anten ile alıcı bir anten arasında incelenmesi gereken bir yapıyı yerleştirerek verici antenden çıkan elektromanyetik dalgaların alıcı anten tarafından algılanarak, aralarında oluşan elektromanyetik dalga iletişimini sağlamaktır. Mikrodalga görüntülemelerinde uygun anten seçimi önemli bir rol oynar, bunun sebebi daha düşük bir maliyete sahip antenlerin tasarlanması ve daha fazla güvenilirlik sağlarken aynı zamanda daha kolay kullanılabilirlik sağlamasıdır [5].

Horn antenin doğrusal kutuplu, geniş bantlı ve yönlü olması ve buna karşın Patch antenin maliyetinin ucuz, dar bantlı ve ışımalarının çok yönlü olmasından dolayı bu çalışmada bu antenler kullanılmış ve bu açıdan, kıyaslama yöntemiyle bu çalışma için hangi anten yapısının daha uygun olacağına karar vermede yardımcı olmuştur. Farklı frekans aralıklarında farklı kazançlara sahip olan bu antenler, kimlikleriyle ayırt edici özellikler sağlayarak doğru sonuçlara gidilmesini sağlar. Burada kimlikten kastedilen, anteni karakterize eden parametrelerdir. Bu parametrelerin bazıları, geri dönüşüm kaybı, yayılım örüntüsü, kazanç ve ışımaya açıdır. Horn antenler genelde koni ve prizma şeklinde olup, bir dalga kılavuzu şeklinde beslenen antenlerdir. Yönlü antenler kategorisinde yer aldıkları için yönlendirikleri tarafta kuvvetli ışımaya yaparlar. Alıcı anten ile verici anten karşılıklı olarak yerleştirilirse, verici antenden çıkan dalgalar alıcı anten tarafından kuvvetli bir şekilde algılanarak kazancın yüksek olmasını sağlar. Bundan dolayı da bu tip antenlerin kullanım alanları oldukça fazladır. Bu antenden önce geniş bant sorunu çalışmalarda sorun oluşturduğu için, bu probleme çözüm olarak 1960'lı yıllarda dalga kılavuzunun öne sürülmesiyle oluşturulmuşlardır [6]. Bu sayede verimlilikte yüksek kazanç sağlarlar. Hatta doğru kullanımlarda bu kazanç oranı %70-80 oranlarına çıkabilir. Oldukça yüksek bir bant genişliğine sahip oldukları için, kullanım alanları da geniş bir yelpazeye sahiptir. Sahip olduğu dalga kılavuzu sayesinde sinyalin sıkışarak yayılmasını sağladığı için, verimliliği oldukça fazladır. Bu yüzden sadece medikal alanda değil, daha birçok mühendislik uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bugüne kadar yapılan anten tasarımların da boyutlar küçültülüp, etkinin artması hedeflenmiştir [7]. Diğer kullandığımız anten olan Mikroşerit Yama (Patch) anten ise minyatürizasyon ve maliyet ön planda tutulduğunda büyük avantajlar sağlayan, nispeten dar bantlı bir anten olup çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu tür antenler çok yönlü antenler kategorisine girerler ve her yöne ışımaya yaparlar. İletken yama, baskının yapılacağı bir düzlem ve aralarında da belirli bir dielektrik sabitine sahip olan alt

katmandan oluşacak şekilde tasarlanırlar. Boyutlarının küçük olması, imalatının kolay olması, devre teknolojilerine uyum sağlamaları nedeniyle üretimde avantaj sağlarlar [8]. Hızın ön planda olduğu, uçak, savunma ve uzay sanayilerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar [8]. Fakat dezavantaj olarak genel kullanımda %5'in altında bant genişliği sahiptirler [8]. Bu yüzden genel olarak kazançları az, kayıpları fazladır. Anten tasarımcıları açısından favori olarak seçilmesinin sebebi ise kısa sürede geniş kapsamlı uygulamalarda kullanılmalarındandır [8]. Askeri ekipman, medikal alan, savunma sanayi, kablosuz iletişim ve GPS gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar.

Bu çalışmada yer alan bu iki anten için çalışma farklarının ayırt edilmesi ve çalışmada hangisinden daha yüksek bir verimliliğe ulaşılabileceğinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Karşılıklı olarak haberleşen bu antenlerin (Horn – Horn ve Patch – Patch) arasına, analizini yapmak istediğimiz yapının (kemik yapısı) yerleştirilmesi ile üzerinden elektromanyetik dalgaların geçmesi sağlanacaktır. Verici antenden çıkan elektromanyetik dalgalar alıcı antene ulaşırken araya yerleştirilen bu yapının üzerinden geçer. Bilindiği üzere, elektromanyetik alan içine yerleştirilmiş tüm malzemeler elektrik alanına karşı atomik yapılarına bağlı olarak elektriksel geçirgenlik olarak tanımlanan bir direnç gösterirler. Ve bu dirence bağlı olarak, iki antenin bağlantısı karşılıklı portlar arasındaki enerji gönderimini etkileyecektir. Bu amaçla, antenlerin bağlı olduğu iki portlu düzenek üzerinde iletim ve yalıtım düzeylerini gösteren “Saçılma Parametreleri – S Parametreleri” ölçülür. Bu parametreler, yapıda sağlamlık ve bozukluk olduğu durumlara göre tekrar incelenir ve farklar tespit edilerek yapı üzerindeki değişikliklerin bulunması hedeflenecektir. Ayrıca bu iki anten arasında kıyaslama yapılarak hangisinden daha iyi bir sonuç alındığı tespiti yapılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırma Modeli ve Sayısal Yöntemler

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, bu uygulama için bir çalışma modeli oluşturulmuştur. Elektromanyetik dalgaların analizi için kullanılan elektromanyetik simülasyon programı ise “CST Studio”dır. Bilgisayarların yaygınlaşması, gelişim göstermesi ve teknolojinin yayılmasıyla birlikte bu tür yöntemlere daha çok ağırlık verilmiştir ve bilgisayar ortamında tasarımlar her alanda olduğu gibi elektromanyetik alanda da giderek artış göstermiştir [9]. Bu yöntemlerin uygulamasında, zaman domaininde ölçümlerin yapılmasına da başvurulur. Aslında, uzun yıllardır sonlu farklar metodu elektromanyetik dalgaların analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Bu çalışma yönteminde; birim hücre daha küçük birimlere ayrılarak E (Elektrik Alan) ve H (Manyetik Alan)'larının x, y ve z bileşenleri elde edilir [9]. Daha sonra antenler özelliklerine göre incelenerek sonuçlar değerlendirilir. Zaten antenlerin özellikleri, kazanç, yayılma örüntüsü, elektromanyetik dalga ölçüm alanında oldukça önemli bir yer kaplar [11].

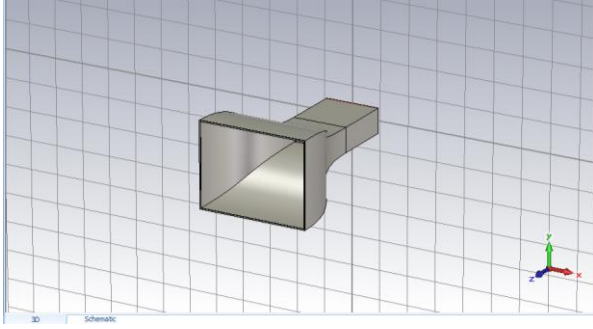
### 2.1. Antenler ve Çalışma Modeli

Giriş kısmında da belirtildiği gibi bu çalışmada Horn Anten ve Mikroşerit Antenler kullanılmıştır. Boyutlandırılmaları ve beslemeleri yapılarak kendilerine has kimlikleri oluşturulan bu antenler, çalışma için uygun duruma getirilmiştir. Çalışma bantlarına uygun olarak seçilen antenler karşılıklı olarak haberleştirilir ve bu duruma ait parametrelerle birlikte, yayılma örüntüsü incelenir. En belirgin özelliğın görüldüğü kısım ise saçılma parametreleridir. Bu parametreler incelenerek iletim ve



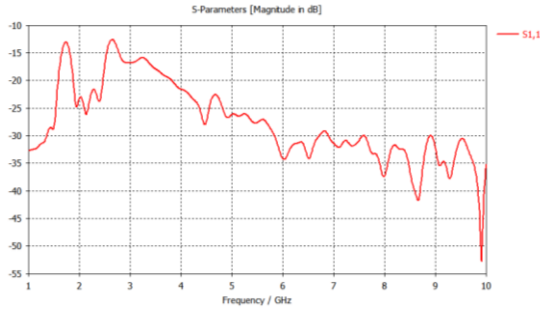
yansıma karakteristikleri hakkında bilgi alınır. Bu parametreler antenlerin kimlik kartları yerine geçerler. Özellikle S11 parametresi antenlerin geri yansıması ve ne kadarlık sinyalin yayılıma gönderildiği hakkında bilgi verdiğinden, bu parametrenin eğrisinden; hangi frekans aralığında iletimin iyi veya kötü, bir başka deyişle geri dönüşüm kaybının hangi aralıklarda daha iyi veya kötü olduğuna karar vermek mümkündür.

Tasarlanan antenler ve özellikleri simülasyon programı çalışma ekranı ve sonuçlar kısmından aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir.



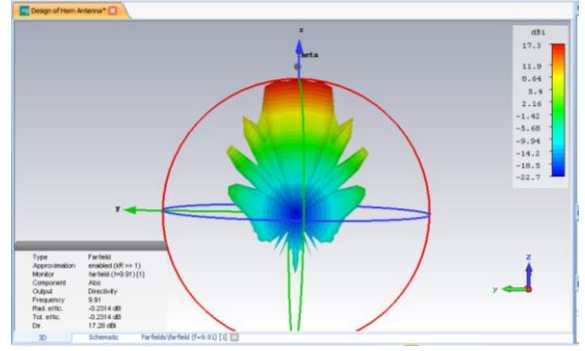
Şekil 2.1.Tasarlanan horn anten

Şekil 2.1’de tasarlanan horn anten görülmektedir. Bu anten ölçüleri ayarlanarak tasarlanmış ve beslemesi yapılmıştır.



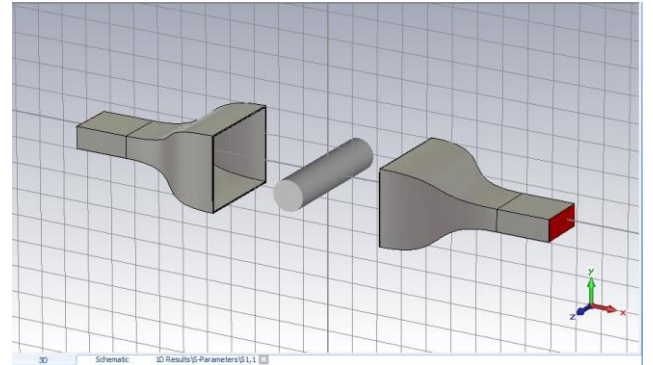
Şekil 2.2.Tasarlanan antene ait S11 parametreleri

Şekil 2.2’de tasarlanan antene ait S11 parametreleri yer almaktadır. Saçılma parametrelerinden S11 parametresi, bize gönderilen sinyalin ne kadarının geri yansıdığı ve ne kadarının yayılıma harcandığı hakkında bilgi verir. Grafik incelendiği zaman, eğrilerden frekans eksenine en yakın olan nokta, o frekansta iletimin en iyi olduğu noktayı gösterir. Parametre grafiği incelendiğinde ise; beklenildiği gibi horn anten oldukça geniş bir bant genişliğine sahip olup incelenen frekans aralığında -10dB’lik (%90 güç aktarımı) bir geri dönüşüm kaybına sahiptir. Aynı şekilde, 9.91 GHz değerinde en iyi iletim olduğu görülebilir. Horn anten, yönlü bir anten olduğu için, bu frekans bantında en iyi ışımayı yapar. Bunun daha iyi görülmesi için, ışımının 3 boyutlu görüntüsüne bakılabilir. Şekilde en düşük geri dönüş kaybının belirlendiği  $f=9.91$  GHz değeri kullanılmıştır.



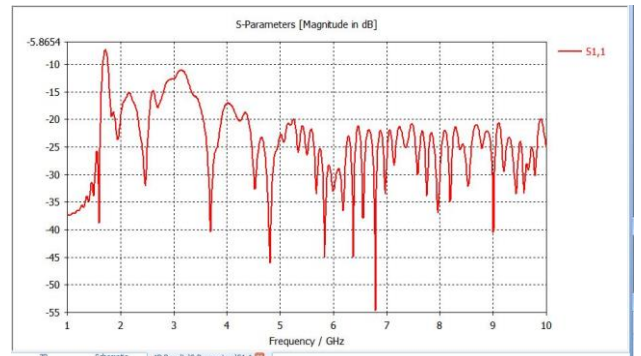
Şekil 2.3.Tasarlanan horn antene ait 9.91 GHz’de 3D ışım görüntüsü

Şekil 2.3’de tasarlanan antene ait 9.91GHz değerinde yaptığı ışım görülmektedir. Aynı zamanda anten z yönünde yönlendirildiği için, en iyi ışım yaptığı bölge de z yönünde olmaktadır. Çünkü horn antenler yönlü antenler kategorisinde yer alırlar ve bu antenler yönlendirildikleri tarafa doğru kuvvetli ışım yaparlar. Z yönünde de maksimum ışımının olduğunu Şekil 2.3’de o yöne ait rengin kırmızı olmasından da anlaşılabilir. Çünkü kırmızı olarak renklendirilen bu bölümler, ışımının en kuvvetli olduğu bölgelerdir. Rengin sarıya doğru dönmesi ışımının azaldığını, yeşile ve maviye doğru dönmesi ise ışımının giderek daha da azaldığını gösterir. Horn antenin tüm kuvvetli ışımını yönlendirildiği tarafa olduğu için, o yöne ait kazanç da bu yüzden fazla olmaktadır. Tasarlanan bu anten, özdeşlikle karşı karşıya getirilip birbirleriyle ışım yapması sağlandığında, aralarına incelenmesi gereken yapı yerleştirilerek çalışmaya ait sonuçların bulunması mümkündür.



Şekil 2.4.Tasarlanan iki özdeş antenin arasına konulan kemik yapısı

Şekil 2.4’de görüldüğü üzere tasarlanan ve özdeş olarak karşılıklı şekilde haberleştirilen antenlerin arasına bir kemik yapı yerleştirilmiştir.

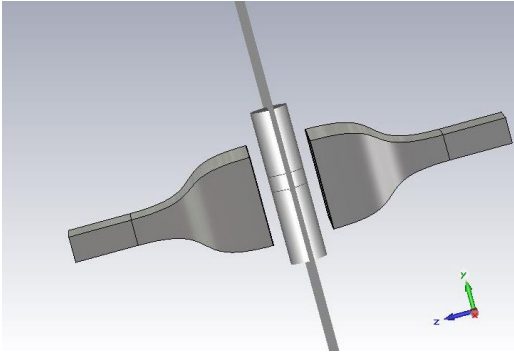


Şekil 2.5.Tasarlanan sisteme ait S11 parametreleri

Şekil 2.5'deki grafikte, Şekil 2.4 için tasarlanan sistemin S11 parametreleri görülmektedir. Parametreler incelendiği takdirde, ışımının en yüksek olduğu frekansın 6.80 GHz, en düşük olduğu frekansın ise 1.46 GHz olduğu görülmektedir.

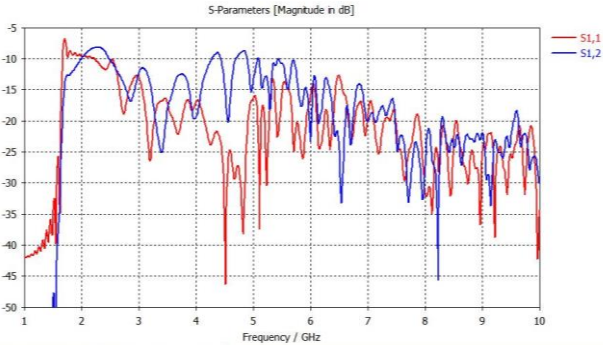
Bu grafikler incelenerek, daha sonra araya yerleştirilecek olan yapıda kırıklar meydana getirilecektir. Böylece parametrelerde olan değişiklikler, bize çalışmanın doğrultusu hakkında bilgi verecektir.

1.46 GHz'de en kötü ışımının olması, aynı zamanda antenin sinyalinin doğrultuğu yönün dışında, farklı taraflara da ışıma yaptığının ve bu yüzden bu frekans noktasındaki yayılımın düşük olduğunu gösterir. Çünkü horn antenler, çok yönlü antenler kategorisinde yer almadıklarından, her yönde kuvvetli ışıma yapamazlar. Aynı şekilde; ışımının en kuvvetli olduğu 6.80 GHz frekansı ise, antenin doğrultuğu yönde yaptığı ışıma frekansını vermektedir.



Şekil 2.6.Kemik yapısında meydana gelen kırık

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi kemik yapısında kırılma meydana gelmiştir ve antenler arasında yerleştirilmiştir. Meydana gelen kırılma, antenlerin haberleştiği doğrultuda ve ışıma yaptığı alan içinde yer almaktadır.



Şekil 2.7.Kırılmalı sisteme ait S11 ve S12 parametreleri

Şekil 2.7'de verilen grafik incelendiğinde, kırmızı renk S11, mavi renk ise S12 parametresini göstermektedir. S11 parametresi iletim parametresi ve S12 parametresi de yalıtım parametresidir. Bu iki parametre birbirinin tamamlayıcısı olarak bilinir. İletimin çok iyi olduğu yerde yalıtım çok azdır. Aynı şekilde yalıtımın çok iyi olduğu yerde de iletim çok azdır.

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi en iyi ışımının olduğu frekans 4.50 GHz'dir. Bu değer, kemikte kırılma meydana gelmeden önce (Şekil 2.5'de) 6.80 GHz değerindedir. Görüldüğü üzere, antende meydana gelen küçük dahi olsa kırılmalar, kemiğin orijinal yapısından yapılan ölçümlere nazaran oldukça farklıdır. Bu da

kullanılan antenin yönlü bir anten olmasından ve kuvvetli bir ışıma yapmasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca S12 parametreleri incelendiğinde; en iyi yalıtımın 1 ve 2 GHz aralıklarında olduğu görülmektedir. Bu aralık için S11 parametreleri de incelendiği takdirde; en kötü iletimin yine bu frekans aralıklarında olduğu sonucuna varılır. Çünkü S11 parametresinin en iyi olduğu noktada S12 kötü, S12 parametresinin en iyi olduğu aralıktaysa S11 kötü bir grafik eğilimi gösterir. Bu şekilde iletimin iyi olduğu noktada yalıtımın o oranda azaldığı ve tam tersi durumda; yalıtımın iyi olduğu noktada da iletimin o oranla azaldığının ispatıdır.

Horn anten çalışmasında kullanılan bu kemik yapısının ölçüleri, 250mm uzunluğunda ve 30mm çap boyutuna sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Horn anten boyutları ise;

Dalga boyu (X eksen) : 93mm

Dalga boyu (Y eksen) : 42mm

Dalga boyu (Z eksen) : 103mm

Ön yüz ölçüleri (X eksen) : 186mm

Ön yüz ölçüleri (Y eksen) : 145mm

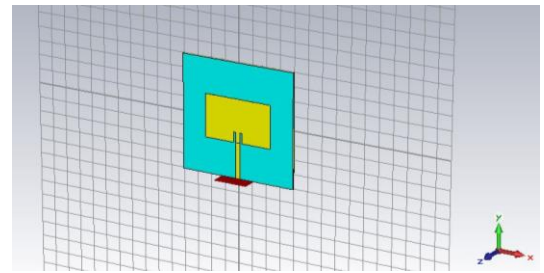
Ön yüz ölçüleri (Z eksen) : 1mm

Smoothness (Düzensizlik oranı) : 0.400000

Dış katman (İncelik) : 2 seçilerek tasarlanmıştır.

Burada oranı verilen smoothness (düzensizlik) oranı, dalga kılavuzuyla ön yüzün birleştirilmesiyle oluşan kavisin oranıdır.

Aynı çalışmanın Patch (Mikroşerit) antenlerle tasarlanmış halleri incelenecek olursa;



Şekil 2.8.Tasarlanan mikroşerit anten

Bu çalışma için tasarlanan mikroşerit anten Şekil 2.8'de verilmiştir. Anten z eksenine yönlendirilmiştir. Tasarlanan anten yönlü değil, çok yönlüdür. Bu antenin bu çalışmada ne kadar başarılı olacağı incelenecektir.

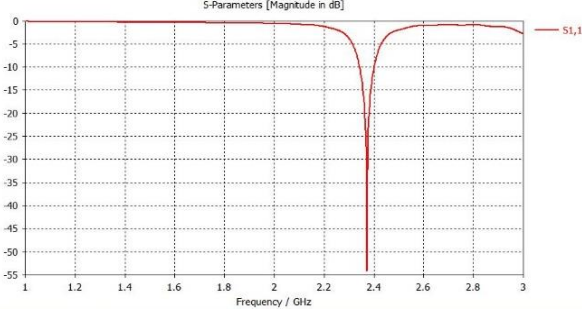
Şekilde görüldüğü gibi turkuaz renkli kısım antenin dielektrik tabakasını göstermektedir. Antenin eni ve boyu (x ve y ekseninde) 160 mm, kalınlığı (z ekseninde) ise 1.5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Dielektrik tabakanın  $\epsilon=4.08$ ,  $\mu=1$  ve  $\tan(\Delta)=0.015$  olarak alınmıştır. Tavlanmış bakır üzerine anten tasarlanmıştır.

Bu bölümün X eksenindeki ölçüsü 94 mm, Y eksenindeki ölçüsü 60 mm ve Z eksenine belirlenen kalınlığı ise 1.5 mm üzerine 0.035 mm eklenerek 0.035 mm olarak belirlenmiştir.

Bunlara ek aktarım kısmı ise; X ekseninde 5.96 mm, Y ekseninde 24.9 mm ve Z eksenine belirlenen kalınlığı 0.035 mm olarak belirlenmiş ve tasarlanmıştır.

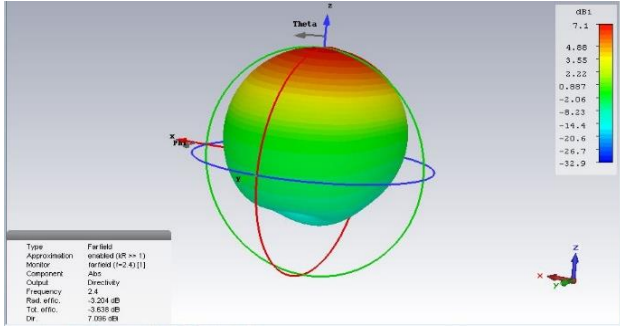
Inset (Ek) kısımları da anten çizimine dâhil edilerek, Şekil 2.8’de de görüldüğü gibi, aktarım kısmından anten kısmına ulaşan bölümün sağ ve sol kısımlarındaki açıklık kısımlarında eklenmiştir

Tasarlanan antenin saçılma parametreleri Şekil 2.9’da ve 3D görüntüleri Şekil 2.10’da verilmiştir.



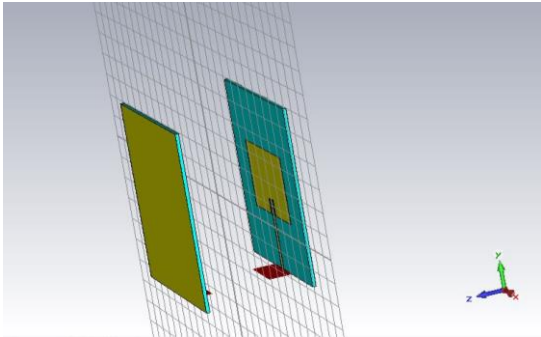
Şekil 2.9. Tasarlanan mikroşerit antene ait S11 parametresi

Şekil 2.9’da verilen grafik incelendiği zaman, tasarlanan antenin 2.4 GHz frekansında en iyi çalıştığı görülmektedir. Bu anten 2.4 GHz frekansında en iyi ışımaya yapmaktadır.



Şekil 2.10. Tasarlanan mikroşerit antene ait 2.4 GHz’de Farfield görüntüsü

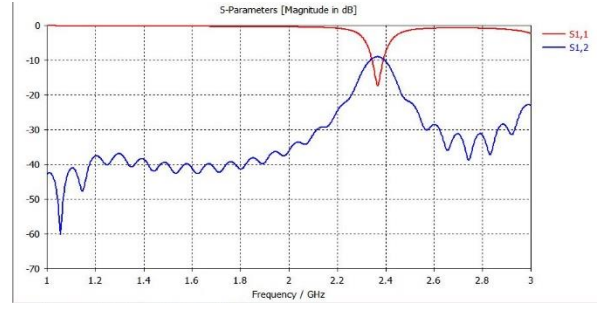
Tasarlanan mikroşerit antenin yaptığı ışımının 3D görüntüsü incelendiği zaman (Şekil 2.10), horn antenin yaptığı ışımaya göre çok farklı olduğu görülmektedir. İki antenin kimlik kategorileri farklı olduğundan dolayı ışımaya örüntüleri de farklıdır. Horn antende bu görüntünün tek yöne olduğu açık iken, mikroşerit antende meydana gelen ışımaya oval şekli almış ve her yöne ışımaya yapmıştır.



Şekil 2.11. Tasarlanan mikroşerit antenlerin karşılıklı olarak haberleşmesi

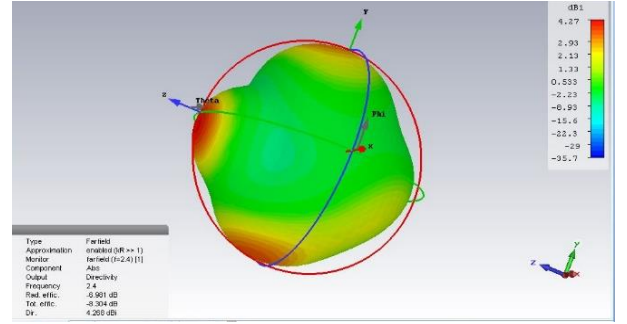
Tasarlanan mikroşerit antenin saçılma ve 3D görüntüleri incelendikten sonra bu mikro şerit antenin aynısından bir tane daha tasarlanmıştır. Tasarlanan bu iki özdeş anten karşılıklı olarak yerleştirilerek ve karşılıklı ışımaya yapmaları sağlanmıştır. Işıma

yaptıkları yön z eksenı yönündedir. Bu ışımaya göre antenlerin S parametreleri Şekil 2.12’deki grafikte verilmiştir.



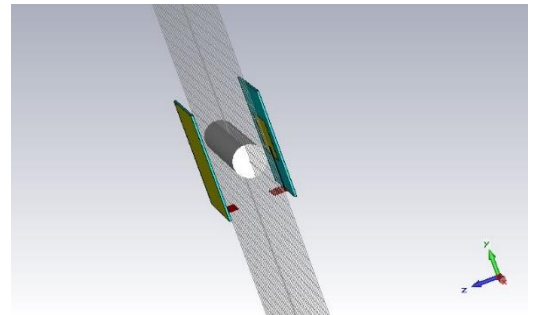
Şekil 2.12. Karşılıklı olarak haberleştirilen mikroşerit antenlere ait S11 ve S12 parametreleri

Grafik incelendiği zaman, en iyi iletimin yaklaşık 2.4 GHz frekansında olduğu görülmektedir. Fakat Şekil 2.9’da verilen grafikte karşılaştırıldığında desibel değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Şekil 2.9’da -54 dB değerlerinde olan en iyi iletim, antenler haberleştirildikten sonra -20 dB değerinin de altına inmiştir.



Şekil 2.13. Haberleştirilen antenlerin 2.4 GHz noktasındaki Farfield görüntüsü

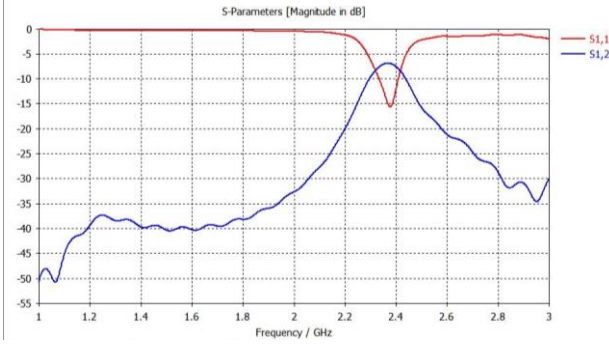
Şekil 2.13’de verilen 3D ışımaya görüntüsü incelendiği zaman, haberleştirilen antenlerin en iyi iletimin olduğu frekans değerinde, yönlendirildikleri taraftan saptıkları ve z yönüyle beraber (+) ve (-) kutuplar olmak üzere y yönüne de ışımaya yaptıkları görülmektedir. Bu durum istenen bir durum değildir, çünkü antenler her yöne ışımaya yaptığı takdirde, yönlendirildikleri ve aynı yön doğrultusunda aralarına yerleştirilen kemik yapısına maksimum derecede ışımaya yapamaması anlamına gelir.



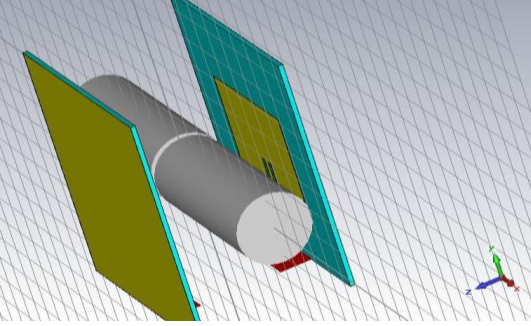
Şekil 2.14. Tasarlanan mikroşerit antenlerin arasında yerleştirilen sağlam kemik yapısı

Bu iki mikroşerit anten arasında sağlam bir kemik yapısının yerleştirildiği yapı Şekil 2.14’de verilmiştir. Şimdi bu iki anten arasında haberleşme yaptırıldığında elde edilen S parametreleri

Şekil 2.15'deki verilen grafikte görülmektedir. Grafik incelendiği zaman yaklaşık olarak 2.4 GHz frekansında en iyi ışınımı yapmaktadır. Fakat genlik değerinin -15 dB'ye düştüğü görülmektedir.

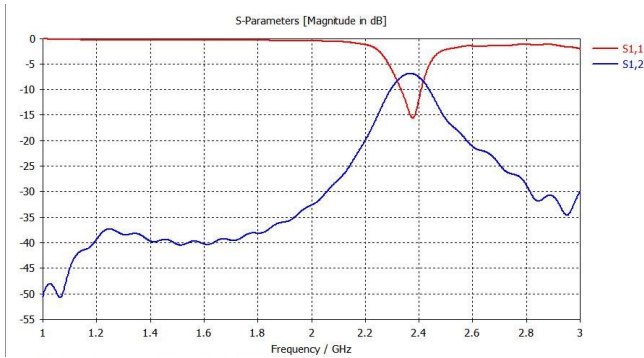


Şekil 2.15. Arada kemik yapısı varken S11 ve S12 parametreleri



Şekil 2.16. Kemik yapısında kırılmanın meydana geldiği durum

Sağlam kemik yapı incelendikten sonra şimdide kırık kemik yapının olduğu durum incelenecektir. Bunun için oluşturulan yapı Şekil 2.16'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi iki mikroserit anten arasına kırık kemik yapı yerleştirilmiştir. Bu iki anten haberleştirildiğinde elde edilen S parametreleri Şekil 2.17'de verilen grafikte verilmiştir.



Şekil 2.17. Kırıklı yapıya ait saçılma parametreleri

Grafik incelendiğinde S11 parametresi yine yaklaşık olarak 2.4 GHz frekansında en iyi ışınımı yapmaktadır. Fakat kemikte kırılma meydana geldiğinde dB değerinde neredeyse yok denecek

kadar az bir değişim meydana gelmiştir. Bu durum kırığı tespit etmek için yeterli bir argüman değildir. Çünkü kemik yapısında kırılmanın olması ve olamaması durumunda parametreler neredeyse aynıdır. Aynı zamanda yatay ekseninde de bir değişim meydana gelmediği için tespit etme gücü de artmaktadır. Bu durum mikroserit antenlerin çok yönlü antenler kategorisinde yer almasından dolayı gerçekleşir. Şekil 2.10 incelendiği zaman, oval olarak her yöne yayılım yapan ışınım görüntüsü, antenler heberleştirildikten sonra (Şekil 2.13) yönlendirildikleri doğrultunun çok daha başka yönlere doğru kutuplaşmış ve ışınım yaptığı görülmüştür. Kimliği gereği bunu yapan mikroserit anten, bu özelliğinden dolayı çalışma için uygun sonuçları vermemiştir.

Yönlendirildikleri doğrultuda kuvvetli bir ışınım yapan antenlerin bu tarz çalışmalar için daha uygun olduğu görülmektedir. Bu antenler yönlendirildikleri tarafa bir hedef konulduğunda, ışınımını bu hedefe doğru yaparlar. Bu da mikrodalgaların hedef üzerinden geçerek ve tekrar yansımaları bir parametre oluşturmasını sağlar. Yönlü antenlerin bu özelliklerinden dolayı da, sistemde meydana gelen en ufak değişiklik bile, parametrelerde kendini gösterir. Bu da çalışma üzerinde meydana gelecek değişimler açısından, ayırt edici bir özellik sağlamaktadır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular beklenen sonuçlara yakın olarak bulunmuştur. Bu çalışmada lineer kutuplu antenler kullanılarak bunların kendi aralarındaki kimliklerine göre; meydana gelen farkların tespit edilmesi sağlanmıştır. Yapılan analizler antenlerle ilgili bir çalışma yapılırken; hem çalışmanın konusu hem de antenin kimlik seçiminin önemli olduğunu göstermiştir. Çünkü her antenle yapılan her çalışma aynı ve doğru sonucu vermemektedir. Bu çalışmada bu ayırımın verilerle öne çıkarılması bu farkın ispatı niteliğindedir. Ayrıca elde edilen bulgular daha önceki çalışmalarla da paralellik göstermiştir ve medikal görüntüleme sistemlerinde bu ayırımın önemini de göz önüne çıkartmıştır. Elde edilen sonuca göre medikal görüntüleme kullanılan X-Işını görüntüleme, EMAR görüntüleme ve Ultrasound görüntülemenin yanında bunlara ek olarak antenlerin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda medikal görüntüleme alanında antenlerin kullanılmasının mümkün olacağı gösterilmiştir. Hatta sadece bu alanda değil antenlerin bu özelliğinden faydalanarak diğer tüm çalışmalar için de anahtar ve kaynak niteliğinde olabilir. Böylece mikrodalga sistemlerin hayatı kolaylaştırması açısından kullanım alanları artacak ve sürekli gelişen teknolojiyle birlikte, insan yaşamını kolaylaştıran sistemlerin önünü açacaktır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada antenlerin medikal görüntüleme için kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Bu alanda kullanılacak antenin kimliğinin oldukça önemli olduğu ve bu ayrıma göre çalışmalarda kullanılıp kullanılmayacağının tespiti yapılmıştır. Çalışma sonucunda antenlerin medikal görüntüleme için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma da doğrusal kutuplu antenler kullanılmıştır. Kullanılan antenlerden birisi "Horn Anten" iken diğeri ise "Mikroşerit Antendir". Bu antenler farklı kategorilerde olmalarına rağmen, aynı çalışmada kullanılmalarının sebebi antenlerin medikal görüntüleme için kullanılıp kullanılmayacağı sorusunu araştırmaktır. Horn antenin yönlü bir anten olduğu ve mikroşerit antenin ise çok yönlü bir anten olduğu gözönüne alarak birçok çalışma ve simülasyon yapılmıştır. Bu çalışmada paket program olarak "CST Studio Suite 3D" elektromanyetik simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde, hem anten çizimleri gerçekleştirilmiş, hem saçılma parametreleri bulunmuş hem de antenlerin yaptıkları ışınları; polar, 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntülenmesi sağlanmıştır. Program sayesinde hangi antenin kullanılacağına da karar verilmiştir. Ayrıca tasarlanan antenler ve çalıştırılan simülasyonlarla birlikte, horn antene ve mikroşerit antene ait ışınma görüntüleri elde edilmiştir. İki antenin farklı yapılarında ışınma yaptıkları gözlenmiştir.

Bu antenlerin ışınma görüntülerinin haricinde, antenlerden hangisinin bu çalışma için kullanılacağına, saçılma parametreleri incelenerek karar verilmiştir.

Horn anten çalışmasında, iki anten arasında sağlam kemik varken meydana gelen saçılma parametreleriyle, yine aynı antenler arasında bulunan kemik yapısında kırılma meydana geldiği zaman oluşan saçılma parametreleri arasında gözle görülür bir fark meydana gelmiştir. Bu farkların tespiti, S11 parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. İlk durumda belirli bir frekans değerinde olan iletim parametresi, kırıklı yapıda farklı bir frekans noktasına kaymış ve S11 parametresinde değişiklikler meydana getirmiştir. S11 parametresi değiştiği için buna paralel olarak S12 parametreleri de değişmiş ve bu değişikliklerin durum tespitinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Horn antenler dalga kılavuzu gibi bir yapıya sahip oldukları için, önce mikrodalgayı sıkıştırıp daha sonra huni hüzmesinden yayarak kuvvetli bir ışınma yapmaktadır. Karşılıklı olarak haberleşen bu iki anten, kuvvetli bir biçimde alıcı ve verici görevi görürken; aradaki yapıda meydana gelen en küçük değişikliğin tespit edilmesini sağlamıştır.

Mikroşerit anten çalışmasında, iki anten arasında sağlam bir kemik varken meydana gelen saçılma parametreleriyle, iki anten arasında kırıklı yapıdaki kemik varken meydana gelen saçılma parametreleri gözle görülür bir fark meydana getirmemiştir. Çünkü sahip olduğu kimlik gereği, bu tür antenler çok yönlü antenlerdir ve horn anten gibi dalga kılavuzuna sahip değildirler. Herhangi bir sinyal sıkışması olmadığı için, belirli bir yöne değil her yöne ışınma yaparlar. Doğrultuldukları yönlerde ışınma yaparken birbirleri arasında herhangi bir nesne girdiği zaman, yaptıkları ışınlar ve yansımalar horn anten kadar kuvvetli olmadığı için, anten ışınması yönlendirildiği kutbun farklı yerlerine de ışınma yapar. Bu da aradaki yapı hakkındaki değişimlerin tespit

edilmesini olanaksız kılar. Zaten çalışma boyunca da bu ikisi arasındaki farklar göz önünde bulundurulmuş ve mikroşerit anten bu çalışma formatında ayırt edici bir özellik sağlamadığı gözlemlenmiştir. Mikroşerit antene ait ilk durum ve sonraki durumları incelendiğinde meydana gelen değişim neredeyse gözlemlenememiştir. Bu da mikroşerit antenin bu çalışma için uygun sonuçlar vermediğinin göstergesidir.

Sonuç olarak, bu çalışma için en uygun anten horn antendir. Bu antenin kemik kırığının tespitinde kullanılabilmesi gösterilmiştir. Mikroşerit antenlerin ise bu çalışma alanında uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

## Kaynakça

1. Fernando, M., et al. *Fundamental issues in antenna design for microwave medical imaging applications*. in *2010 7th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP 2010)*. 2010.
2. Kenkel, M. and T. Wong. *Characteristics and Usage of the Ram's Horn Antenna*. in *2008 Asia-Pacific Microwave Conference*. 2008.
3. Günay, O., H. Öztürk, and O. Yazar, *İyonize Radyasyon ile Çalışan Tıbbi Görüntüleme Cihazlarının Yapısının Proje Temelli Öğrenimi*. Journal of Health Services and Education, 2019. 3(1): p. 20-27.
4. A. Çelik , M. Kurt ve S. Helhel , "Mikrodalga görüntüleme uygulamaları için bir düzlemsel dikdörtgen monopol anten tasarımı ve optimizasyonu", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 9, sayı. 1, ss. 1-12, Nis. 2018.
5. Çalışkan, R., et al., *A Microstrip Patch Antenna Design for Breast Cancer Detection*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015. 195: p. 2905-2911.
6. Mehrdadian, A., et al. *Design and implementation of 0.7 to 7 GHz broadband double-ridged horn antenna*. in *7th International Symposium on Telecommunications (IST'2014)*. 2014.
7. Krzysztofik, W.J. *Antenna properties improvement by means of modern technology*. in *2014 20th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON)*. 2014.
8. Lee, K. and K. Tong, *Microstrip Patch Antennas—Basic Characteristics and Some Recent Advances*. *Proceedings of the IEEE*, 2012. 100(7): p. 2169-2180.
9. Yavuz Erol ve Hasan H.Balık, *Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu İle Tek Boyutlu Yapılarda Elektromanyetik Dalga Yayılımının Simülasyonu*. UBMK'2001: 1. ULUSAL BİLİŞİM-MULTİMEDYA KONFERANSI, 2001.
10. Fumeaux, C., et al., *Finite-volume time-domain method for electromagnetic modelling: Strengths, limitations and challenges*. *Int. J. Microw. Opt. Technol.*, 2008. 3.
11. Kang, J., et al. *Antenna measurement using S-parameters*. in *2012 Conference on Precision electromagnetic Measurements*. 2012.



# **Bozulmamış Sediment Örnekleyici Kullanılarak Kızılırmak (Nevşehir-Türkiye) Nehri Sedimentlerinde Arsenik Ağır Metalinin Değerlendirilmesi**

Ömer Bilhan<sup>1\*</sup>, Fatih İlalan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8661-6097; 0000-0001-6331-4638), [omerbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:omerbilhan@nevsehir.edu.tr), [fatihilalan@gmail.com](mailto:fatihilalan@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900690)

**ATIF/REFERENCE:** Bilhan, Ö. & İlalan, F. (2021). Bozulmamış Sediment Örnekleyici Kullanılarak Kızılırmak (Nevşehir-Türkiye) Nehri Sedimentlerinde Arsenik Ağır Metalinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 302-308.

## **Öz**

Son yıllarda akarsu ve göllerde çevre kirliliği araştırmaları hızlı bir şekilde artmıştır. Kızılırmak Nehri, hızlı kentleşme, sanayileşme ve antropojenik etkiler nedeniyle yüksek oranlarda ağır metal yükü taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Nevşehir ili sınırlarından geçen Kızılırmak Nehrinin Gülşehir, Avanos ve Sarıhıdır hattında nehri tehdit eden kirleticilerden Arsenik (As) ağır metalinin, multisampler (bozulmamış sediment örnekleyici) cihazı kullanılarak alınan sediment örneklerindeki mevcudiyetini araştırmak ve analiz etmektir. Bu çalışma kapsamında, saha çalışmaları Orta Kızılırmak Havzası Nevşehir İli, Gülşehir ilçesi ve Sarıhıdır Köyü arasındaki bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede, nehrin doğal akışı ve arazi yapısı da göz önüne alınarak, sediment örneklerinin toplanması için 7 örnekleme noktası tespit edilmiştir. Arsenik elementine ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek değer 33 mg/kg, olarak 4. ve 7. lokasyonlardan alınan numuneler üzerinde belirlenmiş, minimum değer ise 11 mg/kg olarak 1. Lokasyon üzerinden alınan numunede tespit edilmiştir. PEL, TEL, ERL ve Ref. sınır değerleri esas alındığında, tüm lokasyonlarda Arsenik için TEL sınır değerinin aşıldığı görülmektedir. Ayrıca, 2. Lokasyonun en yüksek ortalama As değerine sahip olduğu 6. Lokasyonun ise en düşük ortalama As değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kızılırmak, Sediment, Ağır Metal, Arsenik, Kirlilik, Nevşehir.

## **Evaluation in Term of Arsenic Contamination Kızılırmak River (Nevşehir, Turkey) Sediments by using Intact Sediment Multisampler**

### **Abstract**

Environmental pollution research in rivers and lakes has increased rapidly in recent years. Kızılırmak River carries high rates of heavy metal load due to rapid urbanization, industrialization and anthropogenic effects. The aim of this study is to investigate and analyze the presence of Arsenic (As) heavy metal, one of the pollutants threatening the river, in sediment samples taken using a multisampler in Gülşehir, Avanos and Sarıhıdır line of Kızılırmak River passing through the borders of Nevşehir province. Within the scope of this study, field studies were carried out in the region between the Orta Kızılırmak Basin, Nevşehir Province, Gülşehir district and Sarıhıdır Village. In this region, 7 sampling points were determined for the collection of sediment samples, taking into account the natural flow of the river and the terrain. When the analysis results of the arsenic element were evaluated, the highest value was determined as 33 mg / kg on the samples taken from the 4th and 7th locations, and the minimum value was determined as 11 mg / kg in the sample taken from the 1st location. PEL, TEL, ERL and Ref. based on the limit values, it is seen that the TEL limit value for Arsenic is exceeded in all locations. In addition, location 2 has the highest average As value and location 6 has the lowest average As value.

**Keywords:** Kızılırmak, Sediment, Heavy Metal, Arsenic, Pollution, Nevşehir.

\* Sorumlu Yazar: [omerbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:omerbilhan@nevsehir.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyamızda hızlı nüfus artışı ve insanların yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak özellikle akarsular üzerine inşa edilen regülasyon yapılarının sayılarının artması, endüstri ve sanayi atıklarındaki kirliliğin göl ve nehir gibi alıcı ortamlara ulaşması ile içilebilir ve kullanılabilir su miktarında azalmalar ve su kalitesinde bozulmalar görülmektedir [1].

“Ağır metal” ifadesi günümüzde birçok farklı bilim alanında sıklıkla kullanılan bir terimdir. Günümüzde, literatürde kontaminasyon ve potansiyel toksisite veya eko-toksisite ile ilişkilendirilen metaller ya da yarı-metaller (metalloidler) olarak ifade edilirler. Genellikle ise ağır metal, tanımı yoğunluk, atomik ağırlık, kimyasal özellikler ya da toksisiteye bağlı olarak farklı tanımlamalarla ifade edilmektedir. Genel bir ifadeyle, ağır metal tanımı yoğunluğu  $5\text{g/cm}^3$ 'den daha büyük olan metaller olarak ifade edilmektedir. Altmışın üzerinde element, ağır metallerle örnek olarak gösterilebilse de en sık rastlanan ve en çok bilinen ağır metaller Kurşun (Pb), Arsenik (As), Civa (Hg), Mangan (Mn), Demir (Fe), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd), Krom (Sn), Gümüş (Ag) ve Selenyum (Se) örnek olarak sıralanabilir [2]. Akarsu ve göllerde kirletici etki yapan birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında; sanayi atıkları, organik maddeler, gübre atıkları, deterjanlar, pestisitler, petrol ve türevleri, bakteri ve virüsler gibi hastalık yapıcı canlılar, tuzluluk ve canlılarda toksik etki yapan maddeler sıralanabilir. Bu kirletici kaynakların en önemlilerinden birini de toksik etki yapan ağır metaller oluşturur. Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerdeki yoğunlaşma ağır metal kirliliğinin artmasındaki en önemli etkenlerdendir. Bu durum akarsu ve göllerde bulunan canlı organizmaların hayatını tehdit edebilmekle birlikte insan yaşamını da tehdit etmektedir. Ağır metallerin düşük konsantrasyonlarda bile kanserojen, toksik ve mutajen etkilerinin bulunduğu düşünüldüğünde son derece önemli oldukları ve dikkate alınmaları gerektiği söylenebilir. Ayrıca uygun olmayan deşarjlar ve atmosferik taşınım yollarıyla sucul ortamlara karışan ağır metaller biyolojik olarak parçalanamadıkları için canlı organizmalarda birikme eğilimindedirler [3].

Antropojenik kaynaklardan gelen ağır metaller, atık su, endüstriyel çamur, nehirler, havadan girdiler, yağış ve toz çökeltmesi gibi farklı kaynaklardan çevre koşullarının tüm bileşenleri arasında bulunur [4]. Sedimentlerin, çeşitli analitik tekniklerle güvenilir bir şekilde ölçülebilen seviyelerde kirleticiler biriktirdikleri için, çevre kirliliğinin mükemmel göstergeleri olduğu kanıtlanmıştır [5]. Bu durum, sedimentleri hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan gelen en ağır metaller için etkili bir değerlendirme aracı haline getirir. Arsenik yer kabuğunun yapısında en çok yeralan elementlerden bir tanesidir. Metaloid veya bir başka ifadeyle metal olmayan olarak sınıflandırılmaktadır. Eczacılık sektörü ve Tarım sektörü vb. endüstri dallarında kullanılmasının yanında, canlılar üzerinde toksik etkiye sahiptir. Arsenik kanserojenik olarak da bilinen zehirli bir element sınıfındadır. [6]. Amerika Çevre Koruma Ajansı almış olduğu yeni kararlarla, içme sularında arsenik için kabul edilen maksimum kirletici seviyesini  $0.05\text{ mg/L}$ 'den  $0.01\text{ mg/L}$ 'ye düşürmüştür. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), bünyesinde bu değer 1993 yılında  $0.01\text{ mg/L}$ 'ye düşürülmüştür [7]. Türkiye'de “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” Yönetmeliğinde Şubat 2008'den itibaren arsenik için izin verilen sınır değeri  $10\text{ ppb}$  olarak kabul edilmiştir [8].

İnsan aktiviteleri sonucunda ortaya Arsenik kirliliğinin başlıca sebepleri arasında, cam, metal ve seramik endüstrisi, lastik, boya sanayi, petrol sanayi, organik ve inorganik kimya sektörlerinde arsenik içeren atıklar ve bu atıkların yeterince kontrol edilmediği endüstri kaynakları yer almaktadır [5-8]. Bu antropojenik etkiler sonucu ortaya çıkan arsenik içerikli atıklar, su ve toprak kirliliğine neden olmasının yanında, yüzeysel sulara ve özellikle tarımsal aktiviteleri nedeniyle içme sularımıza karışabilmektedir. Arsenikle kirlenmiş yeraltı sularının sulama amaçlı kullanımı, tarımda ve gıda sektöründe ciddi riskler oluşturarak toplum sağlığını tehdit etmektedir. Bunun bir sonucu olarak, özellikle arsenik oranı yüksek atıksuların alıcı ortamlara aktarılmadan önce arıtılarak arındırılması gerekmektedir. Arsenik uzaklaştırılmasında kullanılan teknikler, kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, filtrasyon, membran sistemler, pihtılaştırma-yumaklaştırma, iyon değişimi vb. gibi arıtma teknolojileridir. Bununla birlikte, doğal su kaynakları, insan sağlığını tehdit edecek düzeyde yüksek konsantrasyonlarda arsenik içeriyorsa, bu su kaynaklarının kullanılmadan önce arıtma işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Topal, M., ve Topal, E.I.A., [9] içme ve sulama suyu olarak kullanılan Keban Baraj Gölü'nde arsenik konsantrasyonları belirlenmiş ve İTASHY'de belirtilen sınır değerle karşılaştırmışlardır. Tunca, Ü.E., [10] çalışmasında, Beyşehir Gölü üzerindeki istasyonlarda su ve sedimentteki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi ve sedimentteki antropojenik etkinin oluşturduğu kirliliği değerlendirmiştir. Akyıldız, M. ve Karataş, M. [11] Adana ili çevresinde, Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması amacıyla, bölgede 52 adet örnek olarak, alınan örnekler üzerinde Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı ile Fe, As, Al, Mn, Zn, Cu, Hg, Ni, Cr, Pb, Co, Cd, elementlerine ait ağır metal analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Wang ve diğ. [12] Kızılırmak Nehir tabanından elde ettiği bozulmamış sediment çekirdeği için Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, As, Cd, Sb, V, Cr, Hg ve Se ağır metallerinin zamansal değişimlerini radyonüklit analiz gerçekleştirerek incelemişlerdir.

Bu çalışmada, Nevşehir ili sınırlarından geçen Kızılırmak Nehrinin Gülşehir, Avanos ve Sarıhıdır hattı üzerinde, nehri tehdit eden kirleticilerden Arsenik (As) ağır metalinin, multisampler (bozulmamış sediment örnekleyici) kullanılarak alınan sediment örneklerindeki mevcudiyetini araştırmak ve ön değerlendirme yapmak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1.Çalışma Alanı

Kızılırmak Nehri, İç Anadolu bölgesinin doğusunda yer alan Sivas iline bağlı İmranlı ilçesi civarında, Kızıldağ'ın güney yamaçlarından yaklaşık  $39.8^\circ$  Kuzey,  $38.8^\circ$  Doğu noktasından başlayarak, öncelikle Batı ve Güneybatı 'ya  $38.7^\circ$  Kuzey,  $34.8^\circ$  Doğu ya kadar akar, daha sonra yay şeklinde biçimlenir. Batıya doğru akışını sürdüren nehir, daha sonra Kuzeydoğudaki Tuz Gölü'nü geçerek Kuzeybatı 'ya akar. Daha sonra Kuzey ve Kuzeydoğu 'ya yönelir. Burada Delice Irmağı ile Batı noktasında birleşir. Sonuçta Karadeniz'e  $41.72^\circ$  Kuzey  $35.95^\circ$  Doğu noktasında boşalır. Sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun illeri sınırları içerisinde geçerken, bölgede çok sayıda akarsu, dere ve çayın sularını bünyesinde toplayarak Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e deşarj olur. Düzensiz bir rejime sahip olan Kızılırmak Nehri, kar ve yağmur sularıyla beslenir. Temmuz ve Şubat ayları

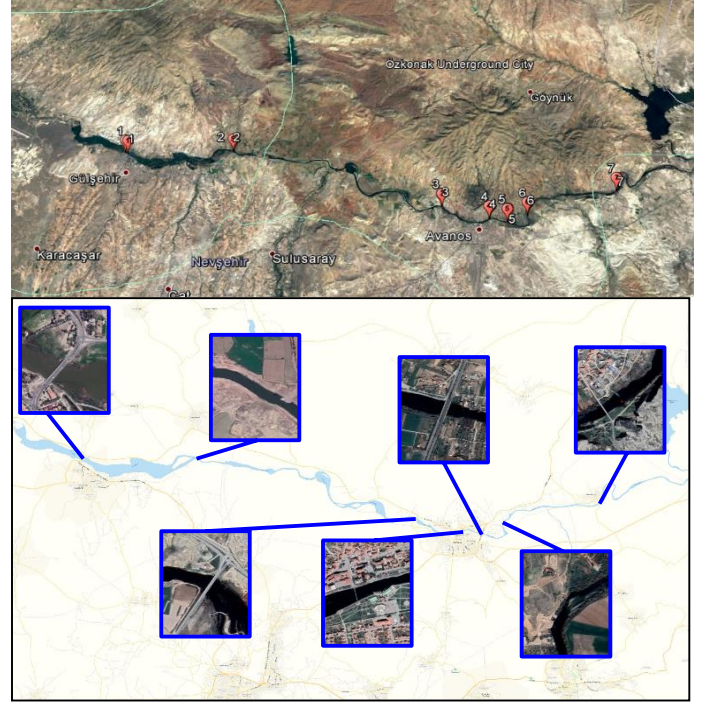
arasında düşük debilerle akan nehir, Mart ayında hızla kabarmaya başlar ve Nisan ayında en yüksek debiye ulaşır. Nehrin ortalama debisi yaklaşık  $184 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Kızılırmak Nehri üzerine inşa edilen en önemli su yapılarını değerlendirecek, Kayseri yakınlarında Sarioğlan Barajı, Yemliha yöresinde Yamula Barajı, Ankara yakınlarında Hirfanlı, Kesikköprü ve Kapulukaya barajları, Çorum yakınlarında inşa edilen Obruk Barajı, Boyabat yakınlarında inşa edilen Boyabat Barajı ile Kızılırmak Nehri'nin denize deşarj olduğu bölgeye yakın, Bafra Ovası üzerinde yer alan, Altinkaya ve Derbent barajları ön plana çıkar. Kızılırmak Nehri'ni Türkiye'deki diğer nehirlerden ayıran en önemli özelliklerden biri, havzanın değişik formasyonlar içermesidir. Kızılırmak Nehri Drenaj alanının yaklaşık % 60'lık bölümünü volkanik tüfler oluşturmakta ve bu formasyonlardaki yatak malzemesi ve havza malzemesinin özgül ağırlığı ise  $1,6 \text{ t/m}^3$  civarında olması, diğer sediment malzemesinin özgül ağırlığının  $2,6 \text{ t/m}^3$  ortalama değerine sahip olması, askı yükü sediment taşımının oranını Türkiye'deki diğer nehirlerle göre farklılaştırmaktadır.

Orta Kızılırmak Havzası içerisinde yer alan Nevşehir İli ve çevresi değerlendirildiğinde, tarım arazilerinin yanlış kullanımı, ormanlık alanların tahribatı, endüstriyel atıklar ve diğer antropojenik etkilerle birlikte sediment bütçesinin bozulduğu görülmektedir. Özellikle Gülşehir İlçesinin batısından, Avanos İlçesi Sarıhidir Köyü'nün doğusunda yer alan Bayramhacılı Barajı'na kadar, Kızılırmak Nehri üzerinde inşa edilen ve inşa halinde olan regülasyon yapılarının bölgede nehrin doğal akışını engelleyerek sediment taşımını olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Nehirdeki doğal sedimentasyonun bozulmasında diğer bir ifadeyle nehrin kirlenmesinde en önemli neden, insan etkisidir (antropojenik etkiler). Doğal bitki örtüsünün tahribatı, tarım arazilerinin bilinçsiz kullanımı gibi insan kaynaklı etkiler nehirlerdeki sediment birikimini olumsuz yönde etkiler.

Bu çalışma kapsamında, saha çalışmaları Orta Kızılırmak Havzasında yer alan Nevşehir İli sınırları içerisinde tamamlanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 1). Orta Anadolu'da yer alan Nevşehir ili, yaklaşık  $38^{\circ}39'$  - kuzey enlemi ve  $34^{\circ}35'$  doğu boylamı arasındadır. Konum olarak, Türkiye'nin neredeyse tam ortasında yer alır. Kentin Alanı  $5467 \text{ km}^2$ 'dir. Orta Anadolu'da yaygın bir toprak türü olan kahverengi topraklar Nevşehir de geniş bir yelpazeyi kaplar. Erciyes volkanik alanı yine bu bölgenin sınırlarına yakın konumlanmıştır.

Tablo 1. Saha çalışmalarının yürütüldüğü örnekleme noktalarına ait koordinatlar

Örnekleme Noktası	Koordinat
1	$38^{\circ}45.388961'N - 34^{\circ}37.077961'E$
2	$38^{\circ}43.482521'N - 34^{\circ}49.182266'E$
3	$38^{\circ}43.054462'N - 34^{\circ}50.917370'E$
4	$38^{\circ}42.974312'N - 34^{\circ}51.588608'E$
5	$38^{\circ}43.391777'N - 34^{\circ}52.354301'E$
6	$38^{\circ}44.058067'N - 34^{\circ}55.854469'E$
7	$38^{\circ}45.439403'N - 34^{\circ}41.194519'E$



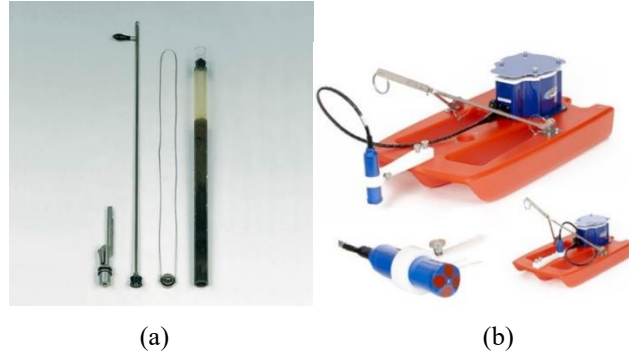
Şekil 1. Saha çalışmalarının gerçekleştirildiği örnekleme noktaları

Kızılırmak Havzasının net toplam su potansiyeli yaklaşık  $6.544$  milyar  $\text{m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Havzanın çoğu bölgesi tarım alanları ve ormanlarla kaplıdır veya yarı doğal alanlardır. Tarımsal alanlar, ormanlık alanlar, yarı doğal alanlar, sulak alanlar, su yüzeyi ve havzanın yapay alanları sırasıyla % 54.68, % 42.74, % 0.34, % 0.94 ve % 1.3'tür [13]. Kuzey ve Orta Kızılırmak Havzası alanlarının, nüfus yoğunluğuna sahip olması ve evsel atıkların yanı sıra sanayilerin çoğundan çıkan atıklar nehre veya nehre boşaltıldığından dolayı, oldukça fazla kirletici yük aldığı belirlenmiştir [14]. Yüksek kapasiteli barajların varlığı ve işletilmesi, bölgenin nüfus yoğunluğu Türkiye nüfusunun üzerinde olduğundan, nehrin doğal yapısında bozulmalar görülmektedir.

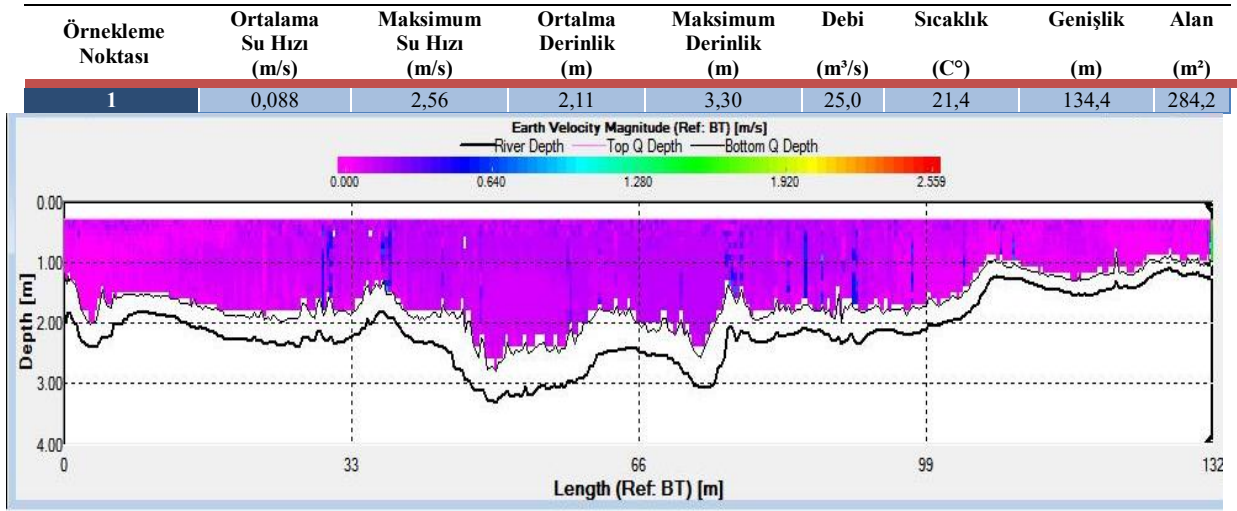
## 2.2. Saha çalışmalarında kullanılan cihazlar

Nevşehir H. B V. Üniversitesi NEUBAP14F4 Numaralı bilimsel araştırma projesi kapsamında 2014 yılı Haziran ayında gerçekleştirilen saha çalışmaları, Kızılırmak Nehri üzerinde belirlenen, 7 örnekleme noktasında, Eijkelkamp Multisampler Bozulmamış Sediment Örnekleme (Şekil 2 (a)) kullanılarak, nehir tabanından bozulmamış sediment karot örnekleri alınmıştır. Ayrıca, gelecek yıllarda daha genişletilmiş araştırmalarda kullanılmak üzere, debi ölçümleri ve nehrin taban topografyasının çıkarılması amacıyla Şekil 2 (b)'de görülen RiverRay ADCP – Stream Pro ADCP – Hemisphere A325 DGPS cihazı kullanılmıştır. Ayrıca bu cihaz üzerinde yer alan GPS yardımıyla koordinatların tespiti gerçekleştirilmiştir.  $38^{\circ}45.388961'N - 34^{\circ}37.077961'E$  Koordinatından alınan 1 numaralı örnekleme noktasına ait veriler Şekil 3'de örnek olarak sunulmuştur.





Şekil 2. (a) RiverRay ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) Hemisphere A325 DGPS Çok Yönlü Debi ve Taban Topoğrafyası Ölçüm Cihazı, (b) Eijkelkamp Multisampler Bozulmamış Sediment Örnekleyici



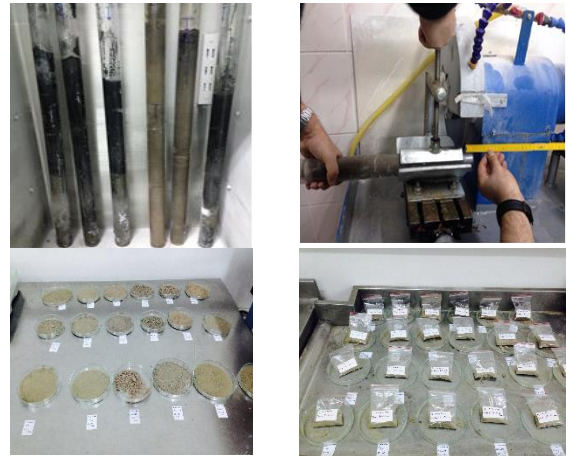
Şekil 3. RiverRay ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) A325 DGPS cihazı ile yapılan ölçümler sonucunda 1. Örneklemeye noktasından alınan hidrolik ve hidrolojik veriler.

### 2.3. Sediment Numunelerinin Nehir Tabanından Alınması

Bu çalışma kapsamında, sediment numuneleri 2014 yılı Haziran ayı içerisinde Orta Kızılırmak Havzası Nevşehir ili Gülşehir İlçesi ile Sarıhıdır Köyü arasındaki hat boyunca belirlenen 7 ayrı örneklemeye noktasından toplanmıştır. Bu koordinatlarda, Eijkelkamp Multisampler Bozulmamış Sediment Örnekleyici cihazı kullanılarak toplam 14 adet bozulmamış sediment karot numunesi nehir tabanından alınmıştır. Tablo 1'de verilen koordinatlara göre 1. Örneklemeye noktasından çıkarılan sediment numunesinin boyu 74 cm olmak üzere, 2, 3, 4, 5, 6. ve 7. Örneklemeye noktalarında sırasıyla 80, 54, 70, 52, 36 ve 78 cm'lik uzunlukta sediment numuneleri alınmıştır. Her bir lokasyondan ağır metal analizleri için 1 tanesi yedek olmak üzere, 2 adet örselenmemiş sediment karot numunesi alınmıştır. Saha çalışmaları sırasında, sediment numuneleri çıkarıldıktan sonra, kuru buz yardımıyla dondurulmuş ardından laboratuvara taşınarak analizlerin gerçekleştirilmesine kadar -80 °C'de dondurucuda muhafaza edilmiştir (Şekil 4.)

Laboratuvarda muhafaza edilen donmuş haldeki sediment numuneleri ağır metal analizleri için seviyelendirme yapıldıktan sonra, laboratuvar ortamında kesilerek dilimlere ayrılmıştır. Dilimlere ayrılan sediment numuneleri etüvde 85°C kurutulmuştur. Elmas uçlu kesici ile seviyeler dikkate alınarak kesilen her bir numune isimlendirilip numaralandırılarak kayıt

altına alınmıştır. 7 lokasyona ait her bir numune için tepe, orta ve dip (top, middle ve bottom) olarak belirlenen seviyelerden 2 şer numune alınıp etüvde kurutulduktan sonra ziplocked numune poşetlerine konularak ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Kanada merkezli Acme Analitik Laboratuvar Hizmetleri Limited Şirketi'ne gönderilmiştir (Şekil 4).

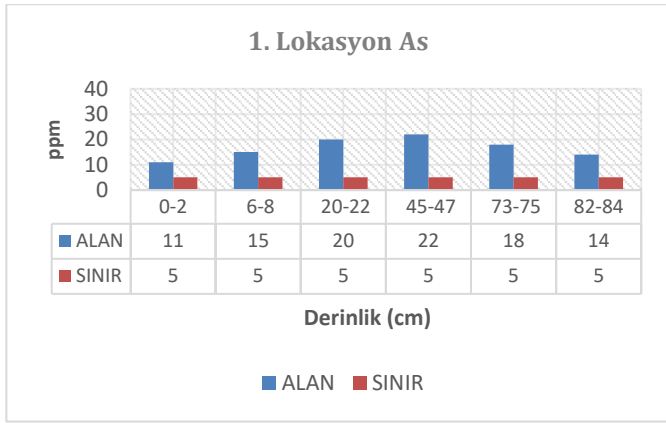


Şekil 4. Saha çalışmalarında sediment örneklerinin alınarak laboratuvarında analize hazır hale getirilmesi.

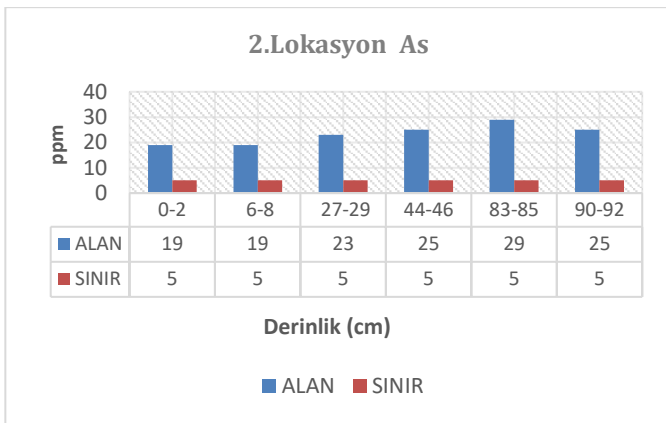
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında, Kızılırmak Nehri Gülşehir-Sarıhıdır hattı üzerinde, 7 örnekleme noktasında, nehir tabanından bozulmamış sediment örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde seviyelere göre As (Arsenik) metal konsantrasyonları belirlenerek, sediment ortamlarının Arsenik kirliliği bakımından değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir (Şekil 5-11).

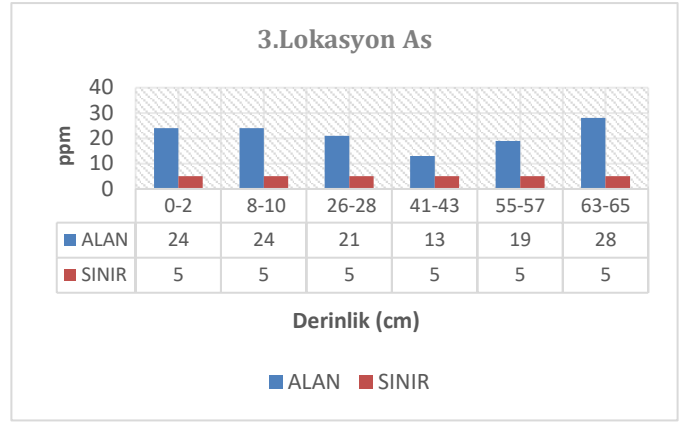
Ağır metal analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (Kanada) analitik kimya laboratuvarında ICP-ES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ICP-ES bir başka ifadeyle, indüksiyonla birleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy/ICP-ES), aynı zamanda İndüksiyonla birleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi Inductively coupled plasma optical emission spectrometry/ICP-OES olarak da bilinen kimyasal elementlerin tespiti için kullanılan analitik bir tekniktir. Bu teknik ile iz elementlerde alt analiz limitleri değerlendirildiğinde As için MDL (The Method Detection Limit) gözlenebilir sınır değeri, 5 ppm olarak belirtilmiştir.



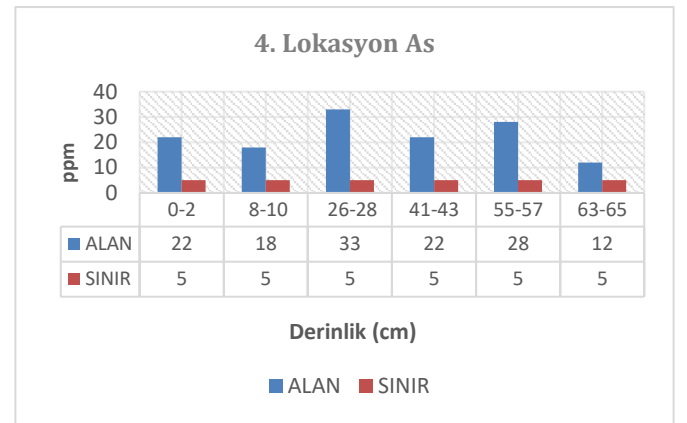
Şekil 5. 1. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



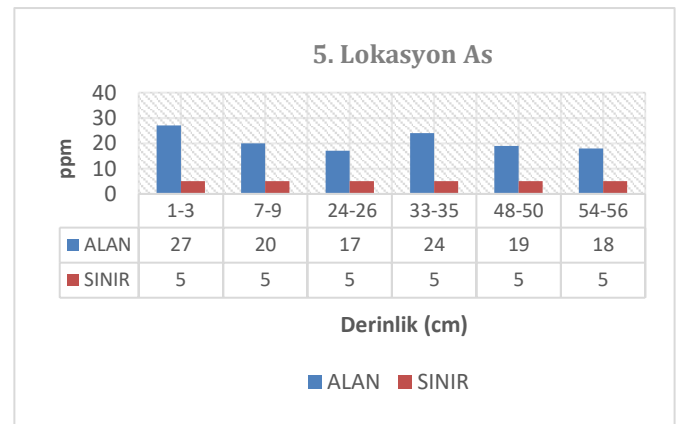
Şekil 6. 2. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



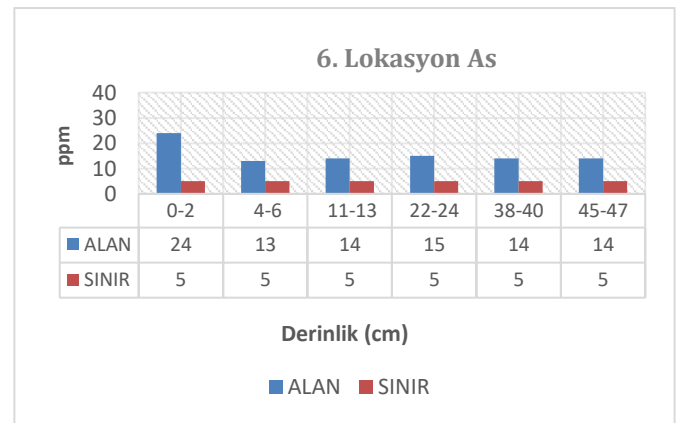
Şekil 7. 3. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



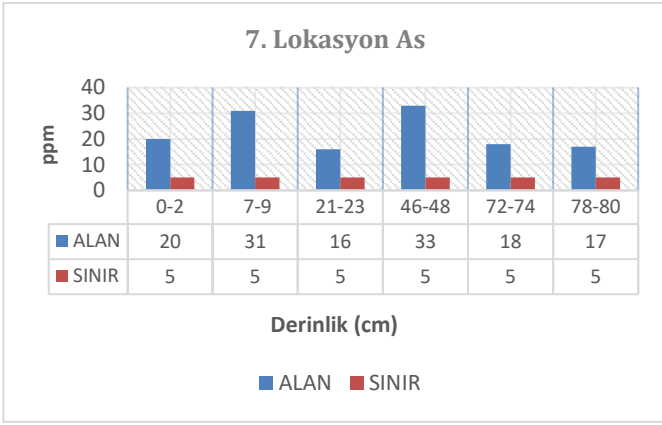
Şekil 8. 4. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



Şekil 9. 5. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



Şekil 10. 6. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri



Şekil 11. 7. Lokasyondan alınan numune Arsenik değerleri

Hidrolojik döngü dikkate alınırsa kontaminantın sudaki miktarı %1'den az olarak belirlenirken, sedimentteki oran ise %99'un üzerindedir [15]. Bu yüzden sediment kontaminasyonunun

değerlendirilmesinde önemli bir indikatördür [16]. Ayrıca, değişen ortam şartları ile beraber sedimentte depolanan kontaminantlar tekrar suya karışarak, sudaki kontaminant konsantrasyonunu arttırmaktadırlar. Böylelikle sediment sudaki kirlilik için ikinci bir kaynak oluşturmaktadır. Bu sebeplerden ötürü sedimentteki metal miktarlarının analiz edilerek, insan kaynaklı yani antropojenik etkinin araştırılması ve yüksek oranda biriken metalin canlılar üzerinde gösterdiği toksik etkinin değerlendirilmesi için pek çok farklı yöntem ve sınır değerler belirlenmiştir. Ancak sediment içerisindeki ağır metal birikiminin karmaşık kimyasal içeriğinden dolayı dünya genelinde kabul edilmiş sediment kalite standartları mevcut değildir [17].

Bu çalışma kapsamında elde edilen Arsenik değerleri Tablo 2.'de sunulan skalalar ve sınır değerler ile birlikte değerlendirilmiştir. Tablo 2'de PEL, Olası etki seviyesi, TEL: Sınır etki seviyesi [18], ERM: Etki aralığı ortancası, ERL: Etki aralığı alt sınırı [19], Ref: Endüstri öncesi referans değerler [20] olarak ifade edilmektedir.

Tablo 2. Kirlilik ölçekleri ve sınır değerler [3]

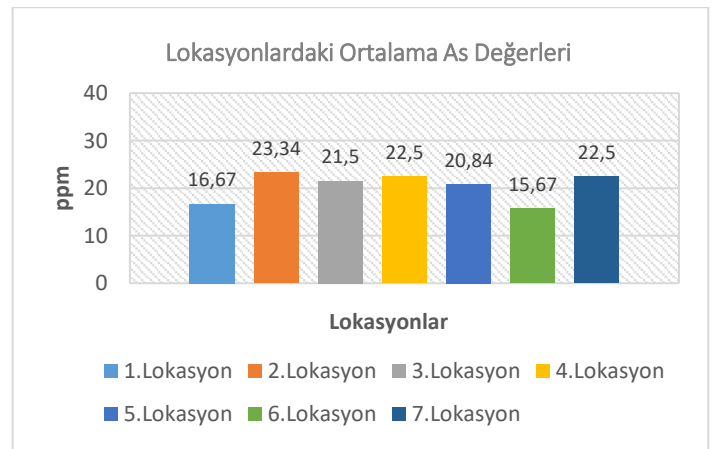
Sınır Değerler											
	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Cd	Cr	Al	Hg
PEL	197	91	315	36			17	3.53	90		0.49
ERM	390	110	270	50			85	9	145		1.3
TEL	35	35	123	18			5.9	0.6	37.3		0.17
ERL	70	35	120	30			33	5	80		0.15
Ref.	45	20	95	68	850	47200	13	0.3	90	80000	0.4

Arsenik elementine ait analiz sonuçlarına göre Şekil (5-11) değerlendirildiğinde, en yüksek değer 33 mg/kg, olarak 4. ve 7. lokasyonlardan alınan numuneler üzerinde görülmüştür. minimum değer ise 11 mg/kg olarak 1. Lokasyon üzerinden alınan numunede tespit edilmiştir. Tablo 2' de PEL, TEL, ERL ve Ref. sınır değerleri esas alındığında, tüm lokasyonlarda Arsenik için TEL sınır değerinin aşıldığı görülmektedir. İkinci lokasyondan alınan örselenmemiş numune üzerindeki tüm seviyelerde PEL ve Ref. sınır değerlerinin aşıldığı tespit edilmiştir. Tüm lokasyonlardan alınan örneklerdeki Arsenik değerleri ERM sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Herbir lokasyon için ortalama As değerleri esas alındığında, 1., 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. Lokasyonlar için sırasıyla, 16,67 mg/kg, 23,34 mg/kg, 21,5 mg/kg, 22,5 mg/kg, 20,84 mg/kg, 15,67 mg/kg, ve 22,5 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göre, 2. Lokasyonun en yüksek ortalama As değerine sahip olduğu 6. Lokasyonun ise en düşük ortalama As değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Nevşehir H. B V. Üniversitesi NEUBAP14F4 Numaralı bilimsel araştırma projesi kapsamında 2014 yılı Haziran ayında gerçekleştirilen saha çalışmaları ile Kızılırmak Nehri üzerinde belirlenen, 7 örnekleme noktasında, Eijkelkamp Multisampler Bozulmamış Sediment Örnekleyici kullanılarak nehir tabanından bozulmamış sediment karot örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde seviyelere göre As (Arsenik) metal konsantrasyonları belirlenerek, sediment ortamlarının Arsenik kirliliği bakımından ön değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Arsenik elementine ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde, en

yüksek değer 33 mg/kg, olarak 4. ve 7. lokasyonlardan alınan numuneler üzerinde belirlenmiş, minimum değer ise 11 mg/kg olarak 1. Lokasyon üzerinden alınan numunede tespit edilmiştir. PEL, TEL, ERL ve Ref. sınır değerleri esas alındığında, tüm lokasyonlarda Arsenik için TEL sınır değerinin aşıldığı görülmektedir. İkinci lokasyondan alınan örselenmemiş numune üzerindeki tüm seviyelerde PEL ve Ref. sınır değerlerinin aşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 12. Saha çalışmalarında tüm lokasyonlardan alınan numunelerde ortalama Arsenik değerleri

Tüm lokasyonlardan alınan örneklerdeki Arsenik değerleri ERM sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Şekil 12 incelendiğinde, herbir lokasyon için ortalama As değerleri, 1., 2.,

3., 4., 5., 6. ve 7. Lokasyonlar için sırasıyla, 16,67 mg/kg, 23,34 mg/kg, 21,5 mg/kg, 22,5 mg/kg, 20,84 mg/kg, 15,67 mg/kg, ve 22,5 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göre, 2. Lokasyonun en yüksek ortalama As değerine sahip olduğu 6. Lokasyonun ise en düşük ortalama As değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ön araştırma niteliğindeki bu çalışma ile birlikte, gelecekte saha çalışmalarının gerçekleştirildiği lokasyonlardan alınan mevcut örnekler için, Pb, Cu, Cr, Ni, Mn, Al, Fe, Zn ağır metallerinin detaylı analizlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, BAP birimi tarafından NEUBAP14F4 nolu projeye desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] Akın, M, Akın G. (2007). Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları Ve Su Kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2 (2007) 105-118.
- [2] Özbolat, G, Tuli, A., (2016). Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25 (4) , 502-521. DOI: 10.17827/aktd.253562
- [3] Balık, İ, Tunca, E. (2015). A Review of Sediment Contamination Assessment Methods. Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences, 1 (1) , 7-17.
- [4] Idris, A.M, (2008). Combining Multivariate Analysis and Geochemical Approaches for Assessing Heavy Metal Level in Sediments from Sudanese Harbors Along The Red Sea cost, Microchemical Journal, 5.
- [5] Arıman S, Bakan G. (2010). Assessment Of Heavy Metal Levels In Sediments Of The Mid-Black Sea Coast Of Turkey”. 15th International Conference on Heavy Metals in the Environment; 19-23 September, pg. 472-474, Gdansk, Poland.
- [6] World Health Organization. (2001). Fact Sheet No. 210. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact210.html>.
- [7] Çalışkan, M, Pala, A. (2009). İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (1) , 69-79.
- [8] Yazıcı, M. ve diğ. (2015). Kayseri Kenti Yer Altı Sularının Arsenik Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi. Karaelmas Science and Engineering Journal 5(1), 16-25.
- [9] Topal, M, Arslan Topal, E. (2015). Elazığ Keban Baraj Gölünde Arsenik Kirlenme Düzeyinin Belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2) , 154-161. DOI: 10.17798/beufen.62501.
- [10] Üçüncü Tunca, E. (2016). Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6 (2) , 205-219.
- [11] Akyıldız, M, Karataş, B. (2018). Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (2), 199-214. DOI: 10.21605/cukurovaummfd.509559.
- [12] Wang, J. Baskaran, M. Kumar, A. et al. (2020) Reconstruction of temporal variations of metal concentrations using radiochronology (<sup>239+240</sup>Pu and <sup>137</sup>Cs) in sediments from Kizilirmak River, Turkey. J Paleolimnol 65, 137–149.
- [13] TUBITAK (2010). Watershed protection action plan project for the Kizilirmak River Basin—final report. The Scientific and Technological Research Council of Turkey. Marmara Research Center, Kocaeli, Turkey, p 529 (in Turkish and English (some parts)).
- [14] Bakan, G, Özkoç, H, Tülek, S, Cüceit, H. (2010). Integrated Environmental Quality Assessment of the Kızılırmak River and its Coastal Environment. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10 (4) , . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/trjfas-ayrildi/issue/13275/160380>
- [15] Salomons, W. & Stigliani, W.M. (1995). Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments: Risk Assessment of Delayed and Non-Linear Responses. Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 3-530-58732-2.
- [16] Zamani Hargalani, F., Karbassi, A., Monavari, S.M. et al. (2014). A novel pollution index based on the bioavailability of elements: a study on Anzali wetland bed sediments. Environ Monit Assess 186, 2329–2348.
- [17] Yuan, Z., Taoran, S., Yan, Z., Tao, Y., (2014). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments from a hypertrophic plateau lake Dianchi, China. Environmental Monitoring and Assessment 186: 1219-1234.
- [18] Smith, S. L., Macdonald, D. D., Keenleyside, K. A., Ingersoll, C. G., Field, L. J., (1996). A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. Journal of Great Lakes Research 22: 624-638.
- [19] Long, E. R., Morgan, L. G. (1991). The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, 175 pp appendices.
- [20] Turekian, K. K., Wedepohl, K. H., (1961). Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. Geological Society of America, Bulletin 72: 175-192.



# Matlab/Simulink ile Bipolar ve Unipolar PWM Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

Mustafa Sacid Endiz<sup>1\*</sup>, Ramazan Akkaya<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-3325-5109), [mendiz@erbakan.edu.tr](mailto:mendiz@erbakan.edu.tr)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-6314-1500), [rakkaya@ktun.edu.tr](mailto:rakkaya@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900868)

**ATIF/REFERENCE:** Endiz, M. S. & Akkaya, R. (2021). Matlab/Simulink ile Bipolar ve Unipolar PWM Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 309-313.

## Öz

Farklı kaynaklardan elde edilen DC gücü genliği ve frekansı ayarlanabilen AC güce dönüştürebilen güç elektroniği devrelerine inverter adı verilmektedir. AC çıkış gerilimi anahtarlar üzerine uygulanan DC gerilimin uygun şekilde anahtarlanmasıyla elde edilmektedir. Anahtarların sürülmesi amacıyla kullanılan en popüler yöntem PWM tekniğidir. Bu çalışmada, inverter devrelerinde güç katındaki yarı iletken elemanların anahtarlanması amacıyla yaygın olarak kullanılan taşıyıcı tabanlı sinüzoidal PWM yöntemlerinden bipolar ve unipolar PWM kontrol teknikleri üstünlükleri yönünden incelenmiştir. Her iki kontrol tekniği Matlab/Simulink ortamında taşıyıcı ve referans sinyaller kullanılarak modellenmiş ve oluşturulan tek fazlı tam köprü inverter devresi üzerinde uygulanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Çıkış gerilim sinyalinin kalitesi bakımından farklı modülasyon indekslerinde gerçekleştirilen benzetim çalışmaları sonucunda, unipolar PWM tekniğinin bipolar PWM tekniğine göre daha etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tam köprü İnverter, Bipolar PWM, Unipolar PWM, Toplam Harmonik Bozulma, Gerilim Stresi.

## Comparative Study of Bipolar and Unipolar PWM Control Techniques using Matlab/Simulink

### Abstract

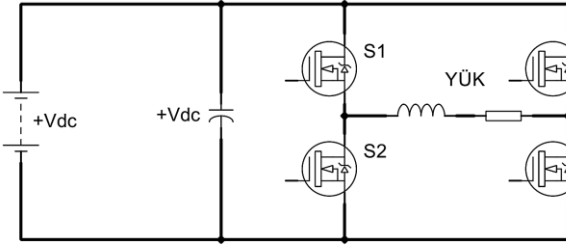
Power electronic circuits that can convert DC power obtained from different sources into AC power with adjustable amplitude and frequency are called inverters. The AC output voltage is obtained by properly switching the DC voltage applied to the switches. The most popular method for driving switches is the PWM technique. In this study, bipolar and unipolar PWM control techniques, which are widely used carrier-based sinusoidal PWM methods for the switching of the semiconductor elements on the power stage in inverter circuits, have been investigated in terms of their advantages. Both control techniques have been modeled using carrier and reference signals in Matlab/Simulink environment and simulated by applying them on a single phase full bridge inverter circuit. As a result of the simulation studies performed in different modulation indexes in terms of the quality of the output voltage signal, it has been found that the unipolar PWM technique is more effective than the bipolar PWM technique.

**Keywords:** Full Bridge Inverter, Bipolar PWM, Unipolar PWM, Total Harmonic Distortion, Voltage Stress.

\* Sorumlu Yazar: [mendiz@erbakan.edu.tr](mailto:mendiz@erbakan.edu.tr)

## 1. Giriş

İnverterler, girişindeki DC gerilimi çıkışında istenilen genlik ve frekansta AC gerilime çevirebilen DC-AC dönüştürücülerdir. Devre çıkışından elde edilen AC gerilim ve frekans sabit veya değişken olabilir (Engin ve Gülersoy, 2018). İnverter girişindeki DC gerilim değiştirilerek ve inverterin kazancı sabit tutularak değişken bir AC çıkış gerilimi elde edilebilir. İnverterin DC giriş gerilimi sabit olup değişken bir AC çıkış gerilimi istendiğinde, bu inverterin kazancının değiştirilmesiyle yani PWM kontrolüyle sağlanır (Endiz ve ark., 2015). Tam köprü inverter devre şeması Şekil 1.1'de görüldüğü gibi iki ayrı yarım köprü inverterin birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Tek fazlı tam köprü inverter devresinde DC-AC dönüşümü 4 adet anahtarla elemanı ve diyotlar ile sağlanmaktadır (Llorente ve ark., 2002). Yarım köprü inverter topolojisinde iki seviyeli çıkış gerilimi üretilir ve bunun için girişte orta uçlu bir gerilim kaynağı kullanılmalıdır. Tam köprü inverter topolojisinde ise iki ve üç seviyeli çıkış dalga formu normal bir gerilim kaynağı ile üretilmektedir (González ve ark., 2007).



Şekil 1.1. Tam köprü inverter devre şeması

H-köprüsü olarak da bilinen tam köprü inverterde, çıkış gerilimini elde etmek için 4 farklı anahtarlama ve bir de belirsiz anahtarlama olmak üzere toplam 5 durum bulunur. Belirsiz durum, tüm anahtarların iletimde olmadığı zaman aralığında gerçekleşir. Bu durumda çıkış gerilimi  $-V_{dc}$  ya da  $+V_{dc}$  gerilim değerlerinden birini almaktadır (Kabalıcı, 2020; Endiz ve ark., 2015).

## 2. PWM Kontrol Teknikleri

PWM tekniği, geçmişte daha çok temel elektronik devre elemanlarıyla analog olarak gerçekleştirilirken daha sonra gelişme gösteren mikrodenetleyiciler kullanılarak uygulanmaktadır. İlk yıllarda referans sinyali mikroişlemciden sağlanıp OPAMP'lı bir komparatörde taşıyıcı sinyali ile karşılaştırılarak PWM sinyali elde edilmekteydi. Sonraki yıllarda PWM sinyalleri önceden hesaplanıp bir hafıza elemanında depolanarak mikrodenetleyici yardımıyla sağlanmıştır. Günümüzde mikrodenetleyicilerin çok yüksek frekanslarda çalışır hale gelmesiyle hesaplama ve değerlendirme süreci aynı anda yapılarak PWM sinyalleri elde edilmektedir. PWM tekniğinde kare dalga darbeler oluşturulur ve oluşturulan darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının temel bileşeni kontrol edilir. Üretilen darbelerin yarı periyottaki sayılarının artırılması yani anahtarlama frekansının yükselmesi çıkışta istenmeyen harmoniklerin sınırlanmasını sağlar. Bunun yanında anahtarlama frekansının büyük seçilmesi anahtarlama kayıplarını arttırmaktadır (Giri ve ark., 2016; Zope ve ark., 2012). PWM sinyalleri yüksek frekanslı bir üçgen taşıyıcı dalga sinyali ile düşük frekanslı sinüzoidal referans dalga sinyalinin bir karşılaştırıcısından geçirilmesiyle elde edilir. Taşıyıcı dalga frekansının referans dalga frekansına oranı  $m_f$  ile gösterilir.

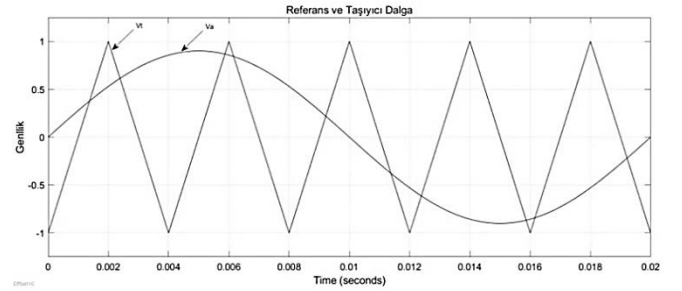
Üç fazlı sistemlerde  $m_f$ , üç ve üçün katları seçilerek hem fazlar arası denge sağlanır hem de çıkış harmonikleri sınırlanır. Sinüs sinyalinin genliğinin taşıyıcı dalga sinyalinin genliğine oranı modülasyon indeksi ile belirtilir. Modülasyon indeksinin değiştirilmesiyle çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği değiştirilebilir. İnverterlerde kullanılan PWM teknikleri yapısı itibarıyla bipolar ve unipolar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Namboodiri ve Wani, 2014).

### 2.1. Bipolar PWM Tekniği

Bipolar PWM tekniğinde Şekil 2.1'de görüldüğü üzere düşük frekanslı sinüzoidal referans sinyali ve yüksek frekanslı üçgen taşıyıcı sinyal kullanılmaktadır. Referans sinyalin genliğinin taşıyıcı sinyalden büyük olduğu durumlarda çıkış lojik 1, küçük olduğu durumlarda çıkış lojik 0 olmaktadır. Bu iki sinyalin karşılaştırılmasıyla 1 ve 0 olacak şekilde elde edilen kontrol sinyalleri güç katındaki yarı iletken elemanlara uygulanmaktadır. Bu şekilde anahtarlar on-off yapılarak DC-AC güç dönüşümü sağlanmaktadır (Soomro ve ark., 2016; Khluabwannarat ve ark., 2007). Bipolar PWM tekniğinde kontrol sinyallerine göre anahtarlama durumları alttaki gibidir:

$$V_a > V_t \text{ ise } S_1 \text{ ve } S_4 \text{ iletimde } S_3 \text{ ve } S_2 \text{ kesimde, } V_{ac} = +V_{dc}$$

$$V_a < V_t \text{ ise } S_1 \text{ ve } S_4 \text{ kesimde, } S_3 \text{ ve } S_2 \text{ iletimde, } V_{ac} = -V_{dc}$$



Şekil 2.1. Bipolar PWM kontrol sinyalleri

### 2.2. Unipolar PWM Tekniği

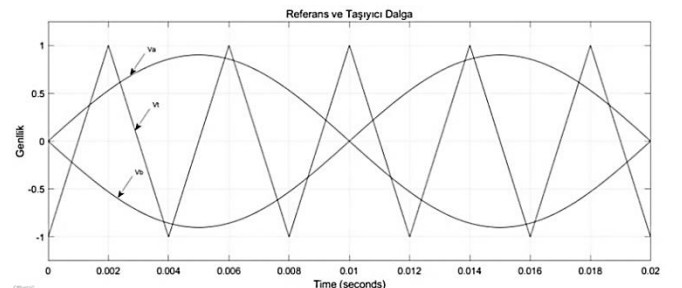
Unipolar PWM tekniğinde aralarında  $180^\circ$  faz farkı bulunan iki adet düşük frekanslı sinüzoidal referans sinyali ve bir adet yüksek frekanslı üçgen taşıyıcı sinyal kullanılmaktadır. Bipolar PWM tekniğine benzer şekilde referans sinyallerin üçgen sinyalden büyük olduğu durumlarda çıkış lojik 1, diğer durumlarda çıkış lojik 0 olmaktadır (Wu ve ark., 2013; Sharma ve ark., 2016). Unipolar PWM tekniğinde kontrol sinyallerine göre anahtarlama durumları alttaki gibidir:

$$V_a > V_t \text{ ise } S_1 \text{ iletimde } S_2 \text{ kesimde, } V_{ac} = +V_{dc}$$

$$V_a < V_t \text{ ise } S_1 \text{ kesimde } S_2 \text{ iletimde, } V_{ac} = -V_{dc}$$

$$V_b > V_t \text{ ise } S_3 \text{ iletimde } S_4 \text{ kesimde, } V_{ac} = +V_{dc}$$

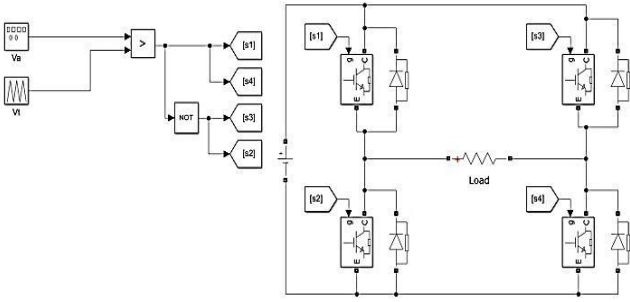
$$V_b < V_t \text{ ise } S_3 \text{ kesimde } S_4 \text{ iletimde, } V_{ac} = -V_{dc}$$



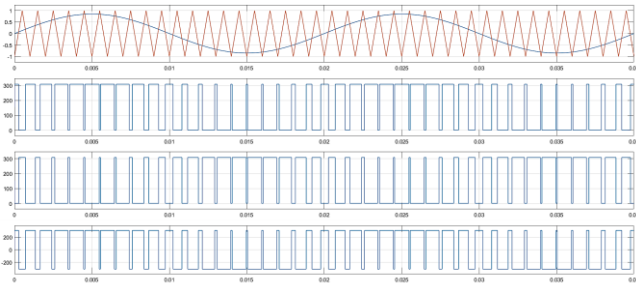
Şekil 2.2. Unipolar PWM kontrol sinyalleri

### 3. Benzetim Çalışmaları

Bipolar ve unipolar PWM kontrol teknikleri Matlab/Simulink ortamında referans ve taşıyıcı sinyaller kullanılarak modellenmiş ve tek fazlı tam köprü inverter devresi üzerinde uygulanarak çıkış gerilim sinyalinin kalitesi bakımından benzetim çalışmaları yapılmıştır. Simulinkte referans sinyal sinüzoidal dalga üretici, taşıyıcı sinyal testere dişi dalga üretici kullanılarak modellenmiştir. Giriş gerilimi 310V, referans sinyal frekansı 50Hz, taşıyıcı sinyal frekansı 1kHz ve modülasyon indeksi sırasıyla 0.85 ve 1 olarak seçilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında farklı modülasyon indekslerinin seçilmesinin temel nedeni çıkış gerilim sinyalinin kalitesinin değişimini daha iyi gözlemlemektir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de sırasıyla bipolar PWM kontrol tekniği için oluşturulan Matlab/Simulink modeli ve dalga şekilleri görülmektedir.

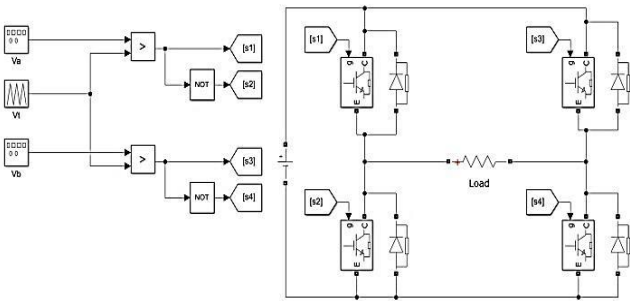


Şekil 3.1. Bipolar PWM Matlab/Simulink modeli

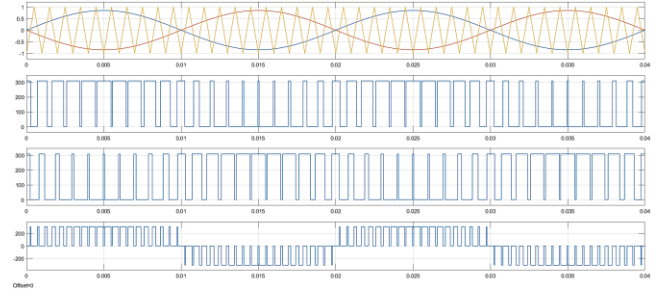


Şekil 3.2. Bipolar PWM dalga şekilleri

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te sırasıyla unipolar PWM kontrol tekniği için oluşturulan Matlab/Simulink modeli ve dalga şekilleri görülmektedir.

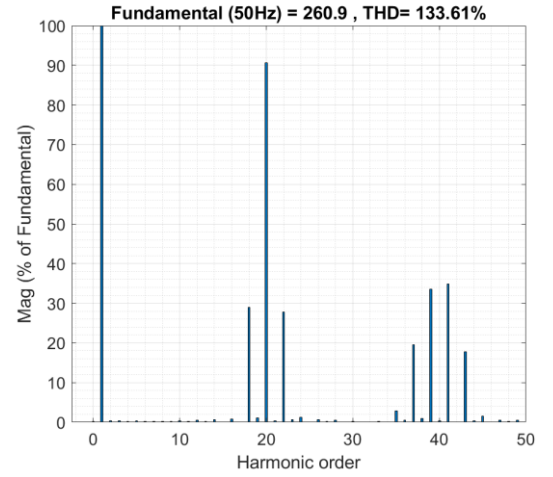


Şekil 3.3. Unipolar PWM Matlab/Simulink modeli

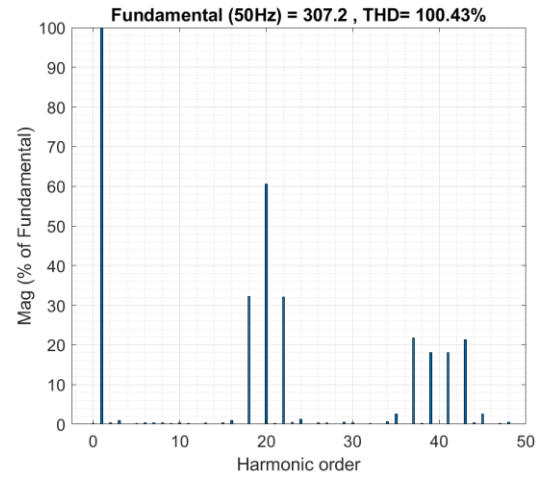


Şekil 3.4. Unipolar PWM dalga şekilleri

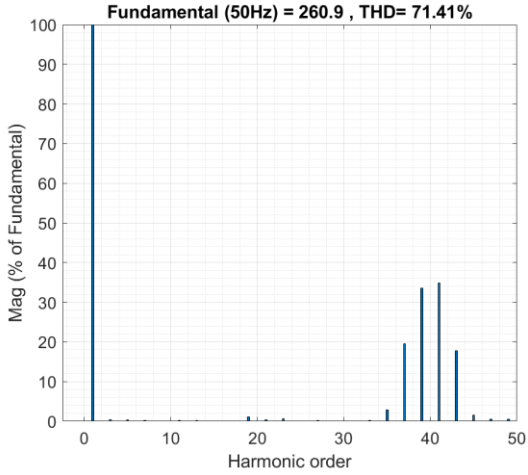
Matlab/Simulink ortamında bipolar ve unipolar PWM kontrol tekniklerinde modülasyon indeks değerleri sırasıyla 0.85 ve 1 için FFT analizi yapılarak çıkış geriliminin toplam harmonik distorsiyonu (THD) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bipolar PWM tekniğinde farklı modülasyon indekslerinde THD değerleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verildiği üzere sırasıyla %133.61 ve %100.43 olmaktadır. Aynı şartlar altında unipolar PWM tekniğinde THD değerleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de görüldüğü üzere sırasıyla %71.41 ve %52.32 olarak bulunmuştur.



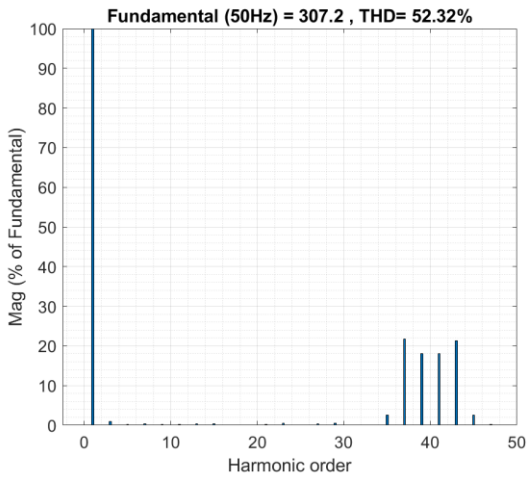
Şekil 3.5. Bipolar PWM FFT analizi (M=0.85)



Şekil 3.6. Bipolar PWM FFT analizi (M=1)



Şekil 3.7. Unipolar PWM FFT analizi (M=0.85)



Şekil 3.8. Unipolar PWM FFT analizi (M=1)

Benzetim çalışmalarında elde edilen veriler neticesinde çıkış gerilim sinyalinin kalitesi bakımından unipolar PWM tekniğinin bipolar PWM tekniğine göre her iki modülasyon indeks değerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Unipolar PWM tekniği kullanılarak elde edilen gerilim sinyalinin THD değerlerinin daha düşük olması, unipolar PWM çıkışındaki anahtarlama frekansının bipolar PWM çıkışının iki katı olmasına dayanmaktadır. Bunun temel nedeni unipolar PWM tekniğinde tetikleme sinyallerini üretmek amacıyla iki adet düşük frekanslı sinüzoidal referans sinyali kullanılmasındandır. Anahtarlama frekansı arttıkça gerilim sinyalinin THD değeri düşmektedir. Her iki kontrol tekniğinde de modülasyon indeksinin artmasına bağlı olarak çıkış geriliminin THD değeri azalmıştır. Uygulanan modülasyon indeks değerinin büyük seçilmesi hem çıkış sinyal kalitesini iyileştirmekte hem de DC bara kullanım oranını arttırmaktadır.

Unipolar PWM tekniğinin bir diğer avantajı dv/dt oranının bipolar PWM tekniğine göre daha düşük olmasıdır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.4 incelendiğinde çıkış gerilim dalga şekli bipolar PWM tekniğinde tüm periyot boyunca +310V ile -310V arasında değişirken, unipolar PWM tekniğinde ilk yarı periyotta +310V ile 0V ve ikinci yarı periyotta 0V ile -310V arasında değişmektedir. Bu nedenle inverter katında kullanılan yarı iletken anahtarlar üzerindeki gerilim stresi unipolar PWM tekniği kullanılarak önemli ölçüde azaltılmaktadır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada bipolar ve unipolar PWM kontrol teknikleri aynı şartlar altında benzetim çalışmaları yapılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Matlab/Simulink ortamında ilgili bloklar kullanılarak modelleri oluşturulan bipolar ve unipolar PWM teknikleri farklı modülasyon indeks değerlerinde tek fazlı tam köprü inverter devresine uygulanmıştır. Tam köprü inverter devresinde çıkış gerilim kalitesi incelendiğinde unipolar PWM tekniğinin her iki modülasyon indeksinde düşük THD değeri ile daha etkili olduğu görülmüştür. THD değerinin düşük olması harmoniklerin azaltılması için ihtiyaç duyulan filtre elemanlarının boyutlarının küçülmesine imkân verecektir.

Unipolar PWM tekniğinde dv/dt oranının azalması ise inverter katındaki gerilim stresinin azalmasını sağlayacağından daha düşük nominal değerli yarı iletken anahtarların seçilmesi mümkün olacaktır. Sonuç olarak unipolar PWM tekniği kullanılan DC-AC dönüştürücü devrelerinde hem çıkış gerilim kalitesi THD değerinin düşmesine bağlı olarak artırılmakta hem de düşük nominal değerli anahtarların kullanımına imkan vermesinden dolayı oluşturulan devrenin maliyeti azaltılmaktadır.

## Kaynakça

- Endiz, M. S., Erel, S., & Yagci, M. (2015). Comparative study of single phase power inverters based on efficiency and harmonic analysis. *i-Manager's Journal on Instrumentation & Control Engineering*, 4(1), 1.
- Endiz, M. S., & Akkkaya, R. (2020, June). A Novel Single Phase Modified Quasi-Z-Source Inverter Circuit Design and Analysis. In 2020 24th International Conference Electronics (pp. 1-6). IEEE.
- Engin, M., & Gülersoy, T. (2018). Hibrid güç sistemleri için evirici tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 228-234.
- Giri, S. K., Chakrabarti, S., Banerjee, S., & Chakraborty, C. (2016). A carrier-based PWM scheme for neutral point voltage balancing in three-level inverter extending to full power factor range. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(3), 1873-1883.
- González, R., Lopez, J., Sanchis, P., & Marroyo, L. (2007). Transformerless inverter for single-phase photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(2), 693-697.
- Kabalıcı, E. (2020). Review on novel single-phase grid-connected solar inverters: Circuits and control methods. *Solar Energy*, 198, 247-274.
- Khluabwannarat, P., Thammarat, C., Tadsuan, S., & Bunjongjit, S. (2007, December). An analysis of iron loss supplied by sinusoidal, square wave, bipolar PWM inverter and unipolar PWM inverter. In 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007) (pp. 1185-1190). IEEE.
- Llorente, S., Monterde, F., Burdío, J. M., & Acero, J. (2002, March). A comparative study of resonant inverter topologies used in induction cookers. In APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (Cat. No. 02CH37335) (Vol. 2, pp. 1168-1174). IEEE.



- Namboodiri, A., & Wani, H. S. (2014). Unipolar and bipolar PWM inverter. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(7), 237-243.
- Sharma, C. S., Patel, N., & Chaturvedi, H. (2016). Unipolar and Bipolar PWM Inverter Fed Induction Motor. no, 12, 1661-1664.
- Soomro, J., Memon, T. D., & Shah, M. A. (2016, November). Design and analysis of single phase voltage source inverter using Unipolar and Bipolar pulse width modulation techniques. In *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)* (pp. 277-282). IEEE.
- Wu, T. F., Kuo, C. L., Sun, K. H., & Hsieh, H. C. (2013). Combined unipolar and bipolar PWM for current distortion improvement during power compensation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(4), 1702-1709.
- Zope, P. H., Bhangale, P. G., Sonare, P., & Suralkar, S. R. (2012). Design and Implementation of carrier based Sinusoidal PWM Inverter. *International Journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering*, 1(4), 230-236.



# Bant Çentik Karakteristiği Gösteren Ultra Geniş Bant Mikroşerit Anten Tasarımları Üzerine Bir İnceleme

Gürtay Sezay Gürsoy<sup>1\*</sup>, Sena Esen Bayer Keskin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4291-0101), [gurtaysezaygursoy@arel.edu.tr](mailto:gurtaysezaygursoy@arel.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8309-3393), [senaesenbayer@gmail.com](mailto:senaesenbayer@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903121)

**ATIF/REFERENCE:** Gürsoy, G.S., Bayer Keskin, S.E. (2021). Bant Çentik Karakteristiği Gösteren Ultra Geniş Bant Mikroşerit Anten Tasarımları Üzerine Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 314-320.

## Öz

Ultra Geniş Bant (UGB) teknolojisi özellikle kısa mesafeli iletişimlerde, çok düşük enerji seviyelerinde çalışabilen bir radyo teknolojisidir. Bu teknoloji sayesinde, dijital verilerin oldukça düşük enerji seviyelerinde ve yüksek veri hızlarında geniş bir frekans spektrumu üzerinden iletilmesi sağlanmaktadır. UGB teknolojisinin kablosuz sistemlerde kullanımı için 3.1-10.6 GHz frekans bandı, Federal İletişim Komisyonu (FİK) tarafından tanımlanmıştır ve bu frekans aralığında; WiMAX (3.3-3.7 GHz), WLAN (5.15-5.85 GHz), C-bant (3.8-4.2 GHz) ve X-bant (7.25-7.75 ve 7.9-8.4 GHz) gibi birçok dar bantlı iletişim sistemi yer almaktadır. UGB teknolojisinin, dijital iç mekân ve ev ağıları uygulamaları için veri iletiminin düşük maliyetli ve yüksek hızlı olarak gerçekleştirilmesi gibi avantajlarının yanında, 3.1-10.6 GHz frekans bandında yer alan dar bantlı iletişim sistemlerinden kaynaklanan elektromanyetik parazitlenme gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. İletişim kalitesini arttırmak ve istenmeyen sinyalleri engellemek için mikrodalga filtreler kullanılabilir ancak bu yöntem sistemin maliyetini ve hacmini arttırdığı gibi kayıplara da neden olmaktadır. Bu nedenle, literatürde mevcut bantlardan kaynaklanan potansiyel parazitlenmeyi önlemek için bant reddetme özelliklerine sahip UGB antenlerinin tasarımı üzerine çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, parazit sorunlarını önlemek için farklı yaklaşımlar kullanan, bant çentik karakteristiği gösteren birçok UGB anten geliştirildiği görülmüştür. Bu çalışmalarda; yama ve toprak düzleminde yarıklar kullanma, besleme hattı veya toprak düzleminde saplamalar kullanma, parazitik şerit kullanma, Elektromanyetik Bant Boşluğu (EBB) yapıları kullanma ve Yarık Halka Rezonatör (YHR) kullanma gibi tekniklerin tercih edildiği ve bu teknikler sayesinde de WiMAX, WLAN, X-bant ve C-bant frekans bantlarında bant çentik karakteristiği gösteren mikroşerit anten tasarlandığı gözlenmiştir. Bu bildiri kapsamında, UGB bandında çalışan ve bant çentik karakteristiği gösteren, literatürde yer almış mikroşerit anten çalışmalarının derlemesi sunulmuştur. Yapılan derleme sonucunda, kullanılan çeşitli teknikler sayesinde hem dar bantlı iletişim sistemlerinde bant çentik karakteristiği sağlandığı, hem de kazanç, bant genişliği ve geri dönüş kaybı gibi performans parametrelerinde de farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** UGB, Bant Çentik, WiMAX, WLAN, X-bant.

## Ultra Wideband Microstrip Antenna Designs Showing Band-Notch Characteristic: A Review

### Abstract

Ultra Wide Band (UWB) is a radio technology that can operate at a very low energy level especially in short distance communication. By means of this technology, digital data are transmitted through a wide frequency spectrum in very low energy and high data speed.

\* Sorumlu Yazar: [gurtaysezaygursoy@arel.edu.tr](mailto:gurtaysezaygursoy@arel.edu.tr)

3.1-10.6 GHz frequency band was identified in order that uses UWB technology in wireless systems by Federal Communication Commission (FCC) and there are many narrowband communication systems like WiMAX (3.3-3.7 GHz), WLAN (5.15-5.85 GHz), C-band (3.8-4.2 GHz) ve X-band (7.25-7.75 and 7.9-8.4 GHz) in this frequency band. Apart from the advantages of UWB systems like realise low cost and very speed digital indoor and home network applications has a disadvantage known as electromagnetic interference due to narrowband communication systems that situate in the 3.1-10.6 GHz frequency band. In order to increase the communication quality, filters can be used, however, this method increases the cost and size of the system. Also, it causes losses in communication. Therefore, there is a lot of research in the literature about UWB antenna designs that have a band-notched characteristic in order that block potential interference stemming from a narrowband communication system. According to works in the literature, in order to achieve band-notched characteristic, researchers usually have preferred like technics using the slot on the patch or ground plane, parasitic strip, Electromagnetic Band Gap (EBG) structure, stub and Split Ring Resonator (SRR) structure. In this letter, it is presented the review of microstrip antennas that operate in the UWB frequency band (3.1-10.6 GHz) and show band-notched characteristic in the narrowband communication system. As a result, by means of using these different technics in the literature, both band-notched characteristic in the different narrowband frequency band like WiMAX, WLAN, X-band, C-band and different results has been achieved in the performance parameters like gain, bandwidth, return loss.

**Keywords:** UWB, band-notched, WiMAX, WLAN, X-band.

## 1. Giriş

Kompakt yapıya sahip, düşük maliyetli, kolay üretilebilen ve birçok cihaza kolay uyarlanabilir antenlere; kablosuz haberleşme, uydu haberleşmesi, havacılık gibi alanlarda duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu ihtiyacın giderilmesi için de son yıllarda kullanımı bir hayli yaygınlaşan ve birçok avantaja sahip mikroşerit antenler tercih edilmektedir. Mikroşerit antenler düşük profilli olup düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere kolayca uyum sağlamaktadır (Balanis, C. A., 2016).

Mikroşerit anten tasarımında sıklıkla tercih edilen yöntemlerden biri de UGB teknolojisinin kullanılmasıdır. Bu sistemler, düşük maliyetli ve yüksek hızlı dijital iç mekân ve ev ağları uygulamalarında oldukça avantaj sağlamaktadır. FİK, Şubat 2002'de UGB sistemleri için ilk emisyon limitleri bildirisini yayınlamış ve bu sistemlerin ticarileşmesini sağlamıştır (FİK Bildirisi, 2002). Bu bildiriye göre, 3.1-10.6 GHz frekans bandı UGB sistemleri için tanımlanmıştır. UGB teknolojisinin geniş bant genişliğine sahip olması; düşük güç tüketimi, yüksek veri hızı, düşük maliyetli uygulama, dar bant sistemleriyle birlikte var olma gibi çeşitli avantajları beraberinde getirmektedir (Ian Oppermann ve ark., 2004).

UGB teknolojisinin bu avantajlarının dışında, 3.1-10.6 GHz frekans bandında bulunan; WiMAX (3.3-3.7 GHz), WLAN (5.15-5.85 GHz), C-bant (3.8-4.2 GHz), X-bant (7.25-7.75 ve 7.9-8.4 GHz) frekans bantlarının yol açtığı elektromanyetik parazitlenme gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. Literatür incelendiğinde UGB teknolojisinin avantajlarından daha fazla yararlanmak için bu frekans bantlarında bant çentik karakteristiği gösteren mikroşerit anten tasarımlarına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bir sonraki başlık altında da bu tasarımların detaylıca incelemesi sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Literatür incelendiğinde, tasarlanan UGB antenlerinin bant çentik karakteristiği göstermesi için pek çok farklı teknik kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; yama ve toprak düzleminde yarıklar kullanma, besleme hattı veya toprak düzleminde saplamalar kullanma, parazitik şerit kullanma, EBB yapıları kullanma ve YHR kullanma olarak sıralanabilir.

## 2.1. Literatürde Kullanılan Yöntemler

### 2.1.1. Yarık Kullanma

Literatürde, UGB teknolojisinde dar bantlı sistemlerden kaynaklanan parazitlenmelerin önüne geçmek için uygulanan yöntemlerden biri antenin yama ve toprak düzleminde yarıklar oluşturulmasıdır. Bu yonteme örnek olarak dairesel bir yama üzerinde oluşturulan U şekilli yarığa sahip anten geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Yarıklar içeren çalışmalar incelendiğinde, yama ve/veya toprak düzlemine yerleştirilen yarıkların boyutu, istenen çentik frekansının yaklaşık olarak yarı dalga boyu uzunluğuna sahip olduğunda bant çentik işlemi gerçekleştiği gözlenmiştir.

Husham J. Mohammed ve ark. dairesel yama üzerine C-şekilli ve ark-şekilli yarık kullanarak WiMAX, WLAN ve C-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat besleme yöntemi tercih edilmiştir. C-şekilli ve ark-şekilli yarıklar ile bant çentik karakteristiği elde edilmiş, ayrıca Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Ateşböceği Algoritması (AA) kullanılarak anten parametrelerinin optimizasyonu sağlanmıştır. Elde edilen anten; 28 x 30 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.7 ile 10.6 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Husham J. Mohammed ve ark., 2016).

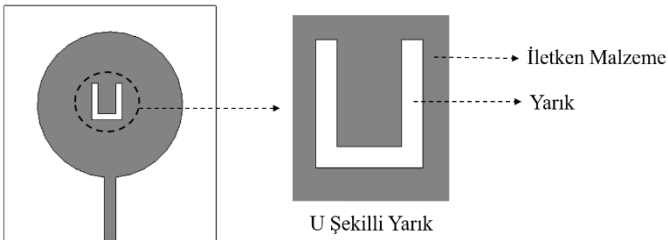
Neelaveni Ammal Murugan ve ark. U şekilli yarık ile WiMAX, WLAN ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamışlardır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yama ortasındaki U şekilli yarık WiMAX bandını, yama düzleminin yan kısmında bulunan yarık X-bandını, yama düzleminin alt kısmındaki yarık ise WLAN bandını durdurmuştur. Elde edilen anten; 30 x 28 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.14-4.67 dB arası kazançla sahiptir (Neelaveni Ammal Murugan ve ark., 2016).

Hari Shankar Mewara ve ark. Y şekilli yama üzerine, C ve U şekilli yarık yerleştirilerek WiMAX, WLAN, X-bant, ITU-8 (7.9-8.5 GHz) ve RN (9-10 GHz) frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamışlardır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. C ve U şekilli yarıklar yama üzerine yerleştirilmesiyle WiMAX ve WLAN bandı, yarıkların toprak düzlemine yerleştirilmesiyle X-bant, ITU-8 ve RN frekans bantlarında filtreleme sağlanmıştır. Elde edilen

anten; 36 x 38 mm<sup>2</sup> boyuta, 2.86 ile 13.3 GHz arası çalışma frekansına ve 2.2 ile 4.5 dBi arası kazançla sahiptir (Hari Shankar Mewara ve ark., 2017).

H. Hosseini ve ark. tarafından L şekilli yarık kullanılarak WiMAX, WLAN, ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak Rogers 4003, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu besleme yöntemi tercih edilmiştir. L şekilli yarıkların boyutu, çeyrek dalga boyu olarak belirlenmiş ve bu yarığın, anten üzerindeki konumuna ve simetrisine göre bant çentik işlemi sağlanmıştır. Elde edilen anten 21 x 14 mm<sup>2</sup> boyuta, 3 ile 12 GHz arası çalışma frekansına ve 2.3 dBi kazançla sahiptir (H. Hosseini ve ark., 2018).

Literatürdeki diğer çalışmalar da incelendiğinde görülmüştür ki anten tasarımında yarık kullanarak bant çentik karakteristiği elde etme yöntemi en basit ve alışılmış yöntemdir.



Şekil 1. U Şekilli Yarık Kullanılarak Oluşturulan Anten Geometrisi

### 2.1.2. Saplama Modülü Kullanma

UGB antenlerde bant çentik karakteristiği sağlamak için literatürde tercih edilen bir başka teknik de saplamaların kullanılmasıdır. Saplama, yarık kullanımına benzer şekilde antenin; yama, toprak ve besleme hattına yerleştirilebilir. Yazarların elde ettikleri bulgulara göre açık devre olarak düşünülen saplamaların uzunluğu, çeyrek dalga boyu olarak seçildiğinde bant çentik işlemi gerçekleşmektedir.

Wen Jiang ve ark. yaptıkları tasarımda T ve U şekilli saplama kullanarak WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak Rogers4003, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. T şekilli saplama yamanın ortasına, U şekilli saplama ise besleme hattı yanına yerleştirilmesiyle bant çentik karakteristiği elde edilmiştir. Elde edilen anten, 2.8 ile 11 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Wen Jiang ve ark., 2012).

Junhui Wang ve ark. ikizkenar yamuk şeklindeki yama düzlemine, T ve U şekilli saplama modülleri ekleyerek WiMAX ve WLAN frekans bantlarında bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yama düzlemine tercih edilen U şekilli saplama WiMAX, T şekilli saplama ise WLAN bandının filtrelenmesi için kullanılmıştır. Elde edilen anten; 26 x 27.3 mm<sup>2</sup> boyuta ve 3 ile 11 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Junhui Wang ve ark., 2013).

### 2.1.3. Parazitik Şerit Kullanma

Bant çentik işlemi için uygulanan bir başka teknik ise anten yayılım elemanı olan yamada veya toprak düzleminde parazitik şerit elemanı kullanılmasıdır. Bu teknığe parazitik şerit ismi verilmesinin nedeni ise parazitik şerit elemanının, yayılım elemanı ile doğrudan beslenmemesinden kaynaklanmaktadır. Parazitik şeritler, istenen bant çentik frekansında rezonansa girerek akım dağılımını bozar ve antenin o frekans bandında çalışmamasını sağlar.

Ke Zhang ve ark. dairesel yamadaki simetrik yarıklar ile parazitik şerit oluşturarak WLAN frekans bandında bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak Wangling F4Bm-2, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat besleme yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca yarıkların yama merkezine uzaklığının parametrik analizi yapılarak bant çentik karakteristiği açısından optimum değer belirlenmiştir. Elde edilen anten; 37 x 47 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.8 ile 13.5 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Ke Zhang ve ark., 2010).

Xianglong Liu ve ark. toprak düzlemine, dairesel yarık ve parazitik şerit ekleme yöntemi ile WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu yöntemi tercih edilmiştir. Antenin arka yüzeyinde yer alan L şekilli parazitik şerit ile anten, WiMAX ve WLAN bandında bant çentik karakteristiği göstermiştir. Elde edilen anten; 40 x 30 mm<sup>2</sup> boyuta ve 7.3 dBi kazançla sahiptir (Xianglong Liu ve ark., 2013).

Parazitik şerit ekleme yöntemi, literatürde sıklıkla tercih edilen yarık ekleme yöntemine göre daha kolay bir tasarıma sahiptir. Çünkü bir doğru boyunca uzanan şeritten meydana gelir ve farklı varyasyonlara sahip yarıklar gibi komplike bir yapıda değildir. Bu durum antenin tasarım aşamasında avantaj sağlamaktadır.

### 2.1.4. EBB Yapısı Kullanma

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, UGB antende bant çentik karakteristiği elde etmek için geliştirilen yeni bir teknik de EBB tekniğidir. EBB, metalik bir parçadan meydana gelir ve toprak düzlemi ile yama düzlemi arasında bağlantı kurulmasını sağlayan kısa bir pin görevi görür.

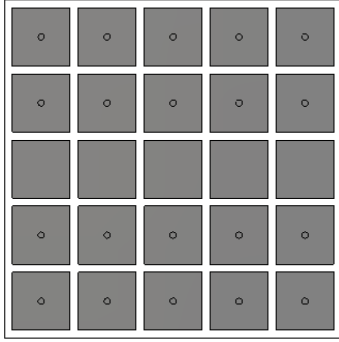
Mohammad Yazdi ve ark. mantar şekline benzer EBB yapısı kullanarak WLAN frekans bandında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak RT/Duroid 4003, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. EBB yapısı besleme hattı etrafına konumlandırılarak LC filtre devresi gibi davranması sağlanmış ve WLAN bandında bant çentik karakteristiği gösteren bir mikroşerit anten elde edilmiştir. Elde edilen anten; 35 x 39 mm<sup>2</sup> boyuta sahiptir (Mohammad Yazdi ve ark., 2011).

Lin Peng ve ark. konik şekilli yama altında üç adet EBB yapısı kullanarak sırasıyla, WiMAX ve WLAN (3.4, 5.2, 5.8-GHz) frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlanmıştır. Antende alt katman malzemesi olarak Rogers RO4003C, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Elde edilen anten; 22 x 32 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2 ile 5.7 dBi arası kazançla sahiptir (Lin Peng ve ark., 2013).

Sumon Modak ve ark. spiral şekilli EBB ve çatal şekilli yarık kullanarak C-bant (4 ve 6.5 GHz), X-bant LTE ve WLAN frekans

bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Besleme hattı etrafına EBB şekillerinin konumlandırılmasıyla iki bandın, dikkörtgensel yama içerisinde yarı kullanılmasıyla da diğer üç bandın filtrelenmesi sağlanmıştır. Elde edilen anten; 31.3 x 34.9 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.9 ile 10.5 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Sumon Modak ve ark., 2020).

Örnek bir EBB yapısı Şekil 2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Örnek Bir EBB Yapısı

### 2.1.5. YHR Yapısı Kullanma

Bant çentik uygulamalarında kullanılan diğer bir teknik de anten tasarımında YHR veya Tamamlayıcı Yarı Halka Rezonatörü (TYHR) tercih edilmesidir. Bu yapıya da örnek olarak dikkörtgensel bir yama üzerine TYHR ve alt katman üzerine YHR eklenmesiyle oluşturulan anten geometrisi Şekil 3’de gösterilmiştir. Bir YHR, dikkörtgensel veya dairesel yapıda olan, birbirine zıt bir çift halkadan meydana gelir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulara göre YHR boyutlarında yapılan değişiklikler ile farklı frekans bantlarında bant çentik karakteristiği elde etmek mümkündür.

J. Liu ve ark. dairesel yama içerisine TYHR ekleme yöntemi ile WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Ayrıca yazarlar, TYHR'nin iç ve dış halkasının genişliği değiştirilerek farklı frekans bantlarında durdurma sağlanabileceğini vurgulamışlardır. Elde edilen anten; 40.9 x 34 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.9 ile 12 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (J. Liu ve ark., 2008).

Debdeep Sarkar ve ark. eliptik TYHR ve dikkörtgensel TYHR kullanarak WiMAX, WLAN ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Antende eliptik TYHR ile WiMAX ve WLAN bandını, dikkörtgensel TYHR ise X bandını filtrelemektedir. Elde edilen anten; 35 x 35 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.21 ile 11.71 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Debdeep Sarkar ve ark., 2014).

Jyotshna ve ark. yama düzlemine TYHR ekleme yöntemi ile WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Elde edilen anten; 26 x 30 mm boyuta ve 3 ile 11 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Jyotshna ve ark., 2015). Ayrıca tasarlanan antenin, istenen frekans bandında filtreleme

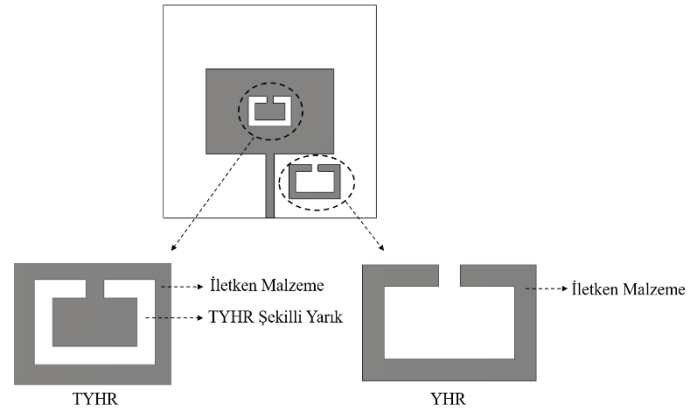
sağlaması için kullanılacak YHR'nin eşdeğer uzunluğu aşağıdaki formülde gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$L_{eq} = 2*(L_m + L_n) - G_i - 4W_i \quad (1)$$

$$f_r = \frac{C}{2*Leq*\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2)$$

burada,  $f_r$ , durdurulacak bandın rezonans frekansını;  $Leq$ , rezonatörün eşdeğer uzunluğunu;  $\epsilon_r$ , alt katmanın dielektrik sabitini;  $C$ , ışık hızını ( $3 \times 10^8$  m/s);  $L_m$  ve  $L_n$ , rezonatörün uzunluklarını;  $G_i$ , rezonatörün açıklığını;  $W_i$ , rezonatörün genişliğini temsil etmektedir.

A. Naghar ve ark. anten tasarımında YHR kullanarak WLAN ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak Rogers ULTRALAM 2000, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yazarlar, toprak düzlemine yerleştirilen parazitik YHR ile WLAN bandını, yama düzlemine yerleştirilen dikkörtgensel şekilli YHR ile X-bant frekans bandının reddedilmesini sağlamıştır. Elde edilen anten; 30 x 35 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.8 ile 12 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (A. Naghar ve ark., 2016).



Şekil 3. TYHR ve YHR Yapısı Kullanılarak Oluşturulan Anten Geometrisi

Lin-Chuan Tsai ve ark. TYHR tasarımına sahip, WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu besleme yöntemi tercih edilmiştir. Anten tasarımında iki adet YHR toprak düzlemine konumlandırılarak bant çentik karakteristiği elde edilmiştir. Tasarlanan anten; 78 x 44.6 mm<sup>2</sup> boyuta, 2.44 ile 10.79 GHz arası çalışma frekansına ve 3.6 dBi gibi maksimum kazançla sahiptir (Lin-Chuan Tsai ve ark., 2016).

Wei Xiao ve ark. yama düzleminde eliptik şekilli TYHR kullanarak WiMAX ve WLAN frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak ultra likit kristal polimer, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yama düzleminde kullanılan ve üç katmandan oluşan eliptik TYHR'nin; dış katmanı WiMAX, orta katmanı WLAN (5.15-5.35 GHz), iç katmanı da WLAN (5.725-5.825 GHz) bandında filtreleme sağlamıştır. Elde edilen anten; 27 x 21 mm<sup>2</sup> boyuta ve 2.41 dBi kazançla sahiptir (Wei Xiao ve ark., 2016).

Ajay Yadav ve ark. TYHR ve S şekilli yarık kullanarak WiMAX, WLAN ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yazarlar anten tasarımında YHR kullanarak X-bant; TYHR ve S şekilli yarık kullanarak da WiMAX ve WLAN bantlarında bant çentik karakteristiği elde etmişlerdir. Elde edilen anten; 26 x 30 mm<sup>2</sup> boyuta, 3 ile 11 GHz arası çalışma frekansına ve 5 dBi kazanca sahiptir (Ajay Yadav ve ark., 2017).

Latheef A. Shaik ve ark. YHR'nin, anten üzerinde farklı noktalara yerleştirilmesiyle 6.6 GHz ve 7.49 GHz merkez frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak RT duroid, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu besleme metodu tercih edilmiştir. Tasarlanan antende, aynı karakteristik özelliklere sahip iki katmanlı alt katman tercih edilmiş ve YHR'nin, bu alt katmanın farklı noktalarına yerleştirilmesiyle bant çentik özelliği elde edilmiştir. Elde edilen anten; 50 x 50 mm<sup>2</sup> boyuta, 2 ile 12 GHz arası çalışma frekansına ve 1 ile 3 dBi arası kazanca sahiptir (Latheef A. Shaik ve ark., 2018).

Ajay Yadav ve ark. TYHR ve U şekilli yarık kullanarak WiMAX, WLAN ve C-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu beslemesi tercih edilmiştir. Yazarlar anten tasarımında, yama düzlemine yerleştirilen TYHR ile WiMAX ve WLAN bantlarında, U şekilli yarık ile de C-bandında filtreleme sağlamışlardır. Elde edilen anten; 26 x 30 mm<sup>2</sup> boyuta ve 3 ile 11 GHz arası çalışma frekansına sahiptir (Ajay Yadav ve ark., 2019).

Zaid A. Abdul Hassain ve ark. YHR'nin, anten üzerinde farklı noktalara yerleştirilmesiyle WLAN (5.15-5.35 ve 5.725-5.85 GHz) ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yazarlar tasarladıkları UGB antenin, WLAN bandında bant çentik karakteristiği göstermesi için besleme hattı yanına 4 adet YHR konumlandırmışlardır. X bandı reddi için de toprak düzleminde üç farklı boyuta sahip TYHR oluşturulmuştur. Elde edilen anten, 30 x 35 mm<sup>2</sup> boyuta ve 6.6 dB kazanca da sahiptir (Zaid A. Abdul Hassain ve ark., 2019).

YHR ve TYHR kullanılarak yapılan çalışmalarda; boyut, frekans bant genişliği ve kazanç anlamında daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi de rezonatörlerin bir elektromanyetik metamalzeme elemanı olması ve böylece antenin elektromanyetik alanda sıradışı özellikler göstermesi sayesinde olduğu düşünülmektedir.

### 2.1.6. Hibrit Teknik Kullanma

Bazı araştırmacılar bant çentik karakteristiği elde etmek için; yarık, saplama, parazitik şerit vb. gibi birden fazla tekniği birlikte uygulayıp ve buna da hibrit teknik ismi vermişlerdir.

Shobhit Saxena ve ark. yarık ve spiral şekilli saplama kullanarak hibrit bir teknik ile yedi adet frekans bandında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4 tercih edilmiştir ve bu çalışmada Anten-1 ve Anten-2 adı verilen iki adet anten tasarlanmıştır. Anten-1'de geniş altıgen yarık, altıgen ve dikdörtgenel saplama kullanılarak UGB bandında çalışan, dairesel polarize anten elde edilmiştir. Anten-2'de ise dikdörtgenel spiral şekli kullanılarak bant çentik karakteristiği gösteren bir yapı tasarlanmıştır. Elde edilen anten; 25 x 25 mm<sup>2</sup> boyuta, 3.1 ile 10.8 GHz arası çalışma frekansına, 6.6 dB kazanca ve eksenel oranın 3'ün altında olduğu 4.1 GHz bant genişliğine sahiptir (Shobhit Saxena ve ark., 2018).

Zhijun Tang ve ark. dört çift eleman kullanarak gerçekleştirdikleri Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış (ÇGÇÇ) anten tasarım yöntemiyle WiMAX, WLAN ve X-bant frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da mikroşerit hat beslemesi tercih edilmiştir. Yazarlar, gerçekleştirdikleri ÇGÇÇ anten tasarımında, H ve L şekilli yarıklar kullanarak WLAN bandında, U ve L şekilli yarıklar kullanarak da WiMAX ve X-bant frekans bantlarında bant çentik karakteristiği elde etmişlerdir. Ayrıca tasarımda kullanılan simetrik ortogonal yapılar ve merdiven şekilli yarıklar da ÇGÇÇ antenin karşılıklı bağlantısını engellemiştir. Elde edilen anten; 39 x 39 mm<sup>2</sup> boyuta, 2.3 ile 13.75 GHz arası çalışma frekansına ve 1.40 dBi ile 4.60 dBi arası kazanca sahiptir (Zhijun Tang ve ark., 2019).

Vutukuri Sarvani Duti Rekha ve ark. ÇGÇÇ anten tasarımına yarık ekleme yöntemi ile WiMAX ve askeri radar uygulamalarını içeren frekans bantlarında, bant çentik karakteristiği gösteren UGB anten tasarlamıştır. Antende alt katman malzemesi olarak FR-4, besleme yöntemi olarak da düzlemsel dalga kılavuzu besleme yöntemi tercih edilmiştir. ÇGÇÇ anten tasarımında bir çift eleman kullanarak UGB bandında çalışan, daha sonra da iki çift eleman kullanarak bant çentik karakteristiği gösteren anten elde etmiştir. Elde edilen anten; 80 x 80 mm<sup>2</sup> boyuta, 2.1 ile 20 GHz arası çalışma frekansına ve 5.8 dBi maksimum kazanca sahiptir (Vutukuri Sarvani Duti Rekha ve ark., 2020).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bant çentik uygulamaları için yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular Tablo 1'de özetlenmektedir. Bu tabloya göre, literatürde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun WiMAX, WLAN, C-bant ve X-bant frekans bantlarında bant çentik karakteristiği gösterdiği gözlenmektedir. Tasarlanan yapılardan boyut olarak en küçüğünün 294 mm<sup>2</sup>, en büyüğünün ise 6400 mm<sup>2</sup> boyuta sahip olduğu görülmektedir. Literatürdeki yapılar incelendiğinde frekans bant genişliğinin en geniş bantlı tasarımda 18 GHz (boyutu 80 x 80 mm<sup>2</sup>), en dar bant genişliğine sahip tasarımda 7.9 GHz (boyutu 28 x 30 mm<sup>2</sup>) olduğu gözlenmektedir. Ayrıca tasarlanmış yapıların çoğunda Rogers ve FR-4 alt katmanlarının tercih edildiği görülmektedir.

Tablo 1. Literatürde Yapılmış Çalışmaların Karşılaştırma Tablosu

Kaynak	Kullanılan Yöntem	Boyut (mm <sup>2</sup> )	Dielektrik Sabiti	Bant Çentik Karakteristiği Gösteren Frekans Bandı	Kazanç (dBi)	Frekans Bant Aralığı (GHz)
Husham J. Mohammed ve ark., 2016	Yarık Kullanma	28 x 30	4,4	WiMAX, WLAN, C-bant	N/A	2.7-10.6
Neelaveni Ammal Murugan ve ark., 2016	Yarık Kullanma	30 x 28	4,4	WiMAX, WLAN, X-bant	4.67	N/A
Hari Shankar Mewara ve ark., 2017	Yarık Kullanma	36 x 38	4,4	WiMAX, WLAN, X-bant, ITU-8, RN	4.5	2.86-13.3
H. Hosseini ve ark., 2018	Yarık Kullanma	21 x 14	3,55	WiMAX, WLAN, X-bant	2.3	3.0-12.0
Junhui Wang ve ark., 2013	Saplama Modülü Kullanma	26 x 27.3	4,4	WiMAX, WLAN	N/A	3.0-11.0
Xianglong Liu ve ark., 2013	Parazitik Şerit Kullanma	40 x 30	4,4	WiMAX, WLAN	7.3	N/A
Ke Zhang ve ark., 2010	Parazitik Şerit Kullanma	37 x 47	3	WLAN	N/A	2.8-13.5
Lin Peng ve ark., 2013	EBB Yapısı Kullanma	22 x 32	3,38	WiMAX, WLAN	N/A	N/A
Sumon Modak ve ark., 2020	EBB Yapısı Kullanma	31.3 x 34.9	4,4	C-bant, X-bant, LTE, WLAN	N/A	2.9-10.5
Latheef A. Shaik ve ark., 2018	YHR Yapısı Kullanma	50 x 50	2,33	6.6 GHz ve 7.49 GHz	1-3	2-12
Ajay Yadav ve ark., 2019	YHR Yapısı Kullanma	26 x 30	4,4	WiMAX, WLAN, C-bant	N/A	3-11
Zhijun Tang ve ark., 2019	Hibrit Teknik Kullanma	39 x 39	4,4	WiMAX, WLAN, X-bant	4.60	2.3-13.75
Vutukuri Sarvani Duti Rekha ve ark., 2020	Hibrit Teknik Kullanma	80 x 80	4,4	WiMAX, askeri radar uygulamaları	5.8	2.1-20

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, UGB (3.1-10.6 GHz) frekans bandında çalışan ve WiMAX (3.3-3.7 GHz), WLAN (5.15-5.85 GHz), C-bant (3.8-4.2 GHz), X-bant (7.25-7.75 GHz) gibi dar bant genişliğine sahip frekans bantlarında bant çentik karakteristiği gösteren mikroşerit anten çalışmalarının derlemesi sunulmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, tasarlanan UGB antenlerinin bant çentik karakteristiği göstermesi için yama ve toprak düzleminde yarıklar kullanma, besleme hattı veya toprak düzleminde saplamalar kullanma, parazitik şerit kullanma, EBB yapıları kullanma ve YHR kullanma gibi birçok farklı teknikten yararlandığı görülmüştür. Bu tekniklerden, yama ve toprak düzleminde yarıklar oluşturulması en basit ve alışılmış olanıdır ve bu yöntemin pek çok araştırmacı tarafından sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. Anten tasarımında yarık kullanmanın yanı sıra YHR kullanılarak oluşturulan yapılarda anten boyutu ve frekans bant genişliğinde iyileştirme sağlandığı görülmüştür. Yapılan derleme çalışması sonucunda, bant çentik karakteristiği gösteren mikroşerit antenlerin tasarımı ile UGB iletişimde parazitlenmelerin önüne geçilerek iletişim kalitesinin artırıldığı sonucuna varılmıştır.

#### Kaynakça

- Balanis, C. A. (2016). Antenna theory: analysis and design. John Wiley & sons.
- FC Commission. (2002). Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. First report and order, 02-48.
- Oppermann, I., Hämmäläinen, M., & Iinatti, J. (Eds.). (2005). UWB: theory and applications. John Wiley & Sons.
- Mohammed, H. J., Abdullah, A. S., Ali, R. S., Abd-Alhameed, R. A., Abdulraheem, Y. I., & Noras, J. M. (2016). Design of a uniplanar printed triple band-rejected ultra-wideband antenna using particle swarm optimisation and the firefly algorithm. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 10(1), 31-37.
- Murugan, N. A., Balasubramanian, R., & Patnam, H. R. (2016). Printed ultra-wideband monopole U-slotted antenna for triple band-rejection. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 30(12), 1532-1544.
- Mewara, H. S., Deegwal, J. K., & Sharma, M. M. (2018). A slot resonators based quintuple band-notched Y-shaped planar monopole ultra-wideband antenna. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 83, 470-478.

- Hosseini, H., Hassani, H. R., & Amini, M. H. (2018). Miniaturised multiple notched omnidirectional UWB monopole antenna. *Electronics Letters*, 54(8), 472-474.
- Jiang, W., & Che, W. (2012). A novel UWB antenna with dual notched bands for WiMAX and WLAN applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 293-296.
- Wang, J., Yin, Y., Liu, X., & Wang, T. (2013). Trapezoid UWB antenna with dual band-notched characteristics for WiMAX/WLAN bands. *Electronics Letters*, 49(11), 685-686.
- Liu, X. L., Yin, Y. Z., Liu, P. A., Wang, J. H., & Xu, B. (2013). A CPW-fed dual band-notched UWB antenna with a pair of bended dual-L-shape parasitic branches. *Progress In Electromagnetics Research*, 136, 623-634.
- Zhang, K., Li, Y., & Long, Y. (2010). Band-notched UWB printed monopole antenna with a novel segmented circular patch. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, 1209-1212.
- Yazdi, M., & Komjani, N. (2011). Design of a band-notched UWB monopole antenna by means of an EBG structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10, 170-173.
- Peng, L., & Ruan, C. L. (2013). Design and time-domain analysis of compact multi-band-notched UWB antennas with EBG structures. *Progress In Electromagnetics Research*, 47, 339-357.
- Modak, S., Khan, T., & Laskar, R. H. (2020). Penta-notched UWB monopole antenna using EBG structures and fork-shaped slots. *Radio Science*, 55(9), 1-11.
- Liu, J., Gong, S., Xu, Y., Zhang, X., Feng, C., & Qi, N. (2008). Compact printed ultra-wideband monopole antenna with dual band-notched characteristics. *Electronics letters*, 44(12), 710-711.
- Sarkar, D., Srivastava, K. V., & Saurav, K. (2014). A compact microstrip-fed triple band-notched UWB monopole antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 13, 396-399.
- Jyotshna, J. P. SRR Loaded Dual Band Notched Ultra Wideband Microstrip Antenna.
- Naghar, A., Falcone, F., Alejos, A., Aghzout, O., & Alvarez, D. (2016). A Simple UWB Tapered Monopole Antenna with Dual Wideband-Notched Performance by Using Single SRR-Slot and Single SRR-Shaped Conductor-Backed Plane. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 31(9).
- Tsai, L. C., & Chen, W. J. (2016). A UWB antenna with band-notched filters using slot-type split ring resonators. *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(11), 2595-2598.
- Xiao, W., Mei, T., Lan, Y., Wu, Y., Xu, R., & Xu, Y. (2016). Triple band-notched UWB monopole antenna on ultra-thin liquid crystal polymer based on ESCSRR. *Electronics Letters*, 53(2), 57-58.
- Yadav, A., Agrawal, S., & Yadav, R. P. (2017). SRR and S-shape slot loaded triple band notched UWB antenna. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 79, 192-198.
- Shaik, L. A., Saha, C., Antar, Y. M., & Siddiqui, J. Y. (2018). An antenna advance for cognitive radio: Introducing a multilayered split ring resonator-loaded printed ultrawideband antenna with multifunctional characteristics. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 60(2), 20-33.
- Yadav, A., Sharma, M. D., & Yadav, R. P. (2019). A CPW-fed CSRR and inverted U slot loaded triple band notched UWB antenna. *Progress In Electromagnetics Research*, 89, 221-231.
- Hassain, Z. A. A., Ali, M. M., & AZEE, A. (2019). Single and Dual Band-Notch UWB Antenna Using SRR/CSRR Resonator. *Journal of Communications*, 14(6), 504-510.
- Saxena, S., Kanaujia, B. K., Dwari, S., Kumar, S., & Tiwari, R. (2018). Compact ultra-wideband microstrip antenna with dual polarisation/multi-notch characteristics. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12(9), 1546-1553.
- Tang, Z., Wu, X., Zhan, J., Hu, S., Xi, Z., & Liu, Y. (2019). Compact UWB-MIMO antenna with high isolation and triple band-notched characteristics. *IEEE Access*, 7, 19856-19865.
- Rekha, V. S. D., Pardhasaradhi, P., Madhav, B. T. P., & Devi, Y. U. (2020). Dual Band Notched Orthogonal 4-Element MIMO Antenna With Isolation for UWB Applications. *IEEE Access*, 8, 145871-145880.





# Hassas Kavrama Görevinde Robot Elin Kavrama Kuvvetinin Bulanık Kontrolü için Güvenlik Marjı Veri Tabanının Elde Edilmesi

Canfer İşlek<sup>1\*</sup>, Ersin Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9728-8431), [canferislek.mdbf17@iste.edu.tr](mailto:canferislek.mdbf17@iste.edu.tr)

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6598-9484), [ersin.ozdemir@iste.edu.tr](mailto:ersin.ozdemir@iste.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900166)

**ATIF/REFERENCE:** İşlek, C. & Özdemir, E. (2021). Hassas Kavrama Görevinde Robot Elin Kavrama Kuvvetinin Bulanık Kontrolü için Güvenlik Marjı Veri Tabanının Elde Edilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (24), 321-327.

## Öz

Bu çalışmanın amacı, bir robot elin kavrama kuvvetinin kontrolünün bulanık mantık denetleyici ile yapılabilmesi için gerekli parametrelerin ayarlanması amacıyla insanların hassas kavrama yeteneğine ait verilerin toplanmasıdır. Literatürde, insanların nesnelere kavrayıp kaldırırken minimum kavrama kuvvetinin üzerine ekledikleri fazladan kuvvet, güvenlik marjı olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada insanlarla farklı ağırlıkta ve farklı yüzey özelliklerinde nesnelere için hassas kavrama ve kaldırma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde, insanların hassas kavrama görevinde farklı ağırlıkta ve yüzey özelliklerindeki nesnelere kavrayıp kaldırırken uyguladıkları güvenlik marjı verileri elde edilmiştir. Elde edilen güvenlik marjı verileri, tasarlanacak olan bulanık mantık denetleyicinin veri tabanı olarak değerlendirilecektir. Böylelikle bir robot elin, özellikleri bilinmeyen bir nesneyi hassas bir şekilde kavrayıp kaldırabilmesi sağlanacaktır. Yapılan deneyler sonucunda değişen nesne ağırlığına ve yüzey sürtünme katsayısına bağlı olarak %9 ile %20 arasında değişen güvenlik marjı oranları elde edilmiştir. Bu çalışma ile robot elin kavrama kuvveti kontrolü için bulanık mantık tabanlı, değişken güvenlik marjı odaklı bir kavrama kuvveti kontrol yaklaşımı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güvenlik marjı, Robot el, Kavrama kuvveti, Hassas kavrama.

## Obtaining the Safety Margin Database for Fuzzy Control of the Grip Force of Robotic Hand in the Precision Grasp Task

### Abstract

The aim of this study is to collect data on human's precise grip ability in order to adjust the parameters required to control the grip force of a robotic hand with a fuzzy logic controller. In the literature, the extra force that humans add on over of the minimum grip force when grasping and lifting objects is expressed as the safety margin. In this study, precision grip and lifting experiments were carried out for objects of different weights and different surface properties. In the experiments, the safety margin data that people apply while grasping and lifting objects of different weights and different surface properties in precision grasping were obtained. The obtained safety margin data will be evaluated as the database of the fuzzy logic controller to be designed. In this way, it will be ensured that a robotic hand can grip and lift an unknown object precisely. As a result of the experiments, safety margin rates varying between 9% and 20% were obtained depending on the varying object weight and coefficient of friction of surface. In this study, a fuzzy logic-based, variable safety margin-oriented grip force control approach is presented for robotic hand grip force control.

**Keywords:** Safety margin, Robotic hand, Grasping force, Precision grasp.

\* Sorumlu Yazar: [canferislek.mdbf17@iste.edu.tr](mailto:canferislek.mdbf17@iste.edu.tr)

## 1. Giriş

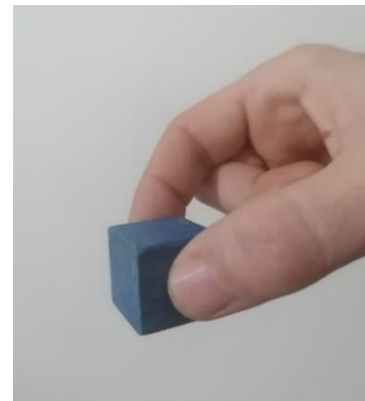
Gelişen teknoloji ile birlikte farklı robot uygulamalarını yaşamımızın her alanında görmekteyiz. Robotlar başta insan olmak üzere canlıların yeteneklerini ve davranışlarını taklit edebilen, elektronik ve mekanik birimlerden oluşan, programlanabilen disiplinler arası cihazlardır. Nesneleri hassas bir şekilde kavrama ve kaldırma yeteneği bir robottan beklenen en önemli insan yeteneklerinden biridir.

Kavrama, nesnenin yapısal özelliklerine, parmakların durumuna ve kavrama görevinin niteliğine göre güçlü kavrama ve hassas kavrama olarak Cutkosky (1989) tarafından iki ana sınıfa ayrılmıştır. Bir robot el için kavrama ve manipülasyon, kinematik açıdan hareket planlamasını; statik ve dinamik açıdan ise kuvvet kontrolünü içeren karmaşık bir görevdir (Mavrakis ve ark., 2017). Bu görevin statik ve dinamik açıdan karmaşık olmasının en önemli sebebi kavranan nesne ile ilgili bilinmeyen özelliklerdir. İnsanlar kavrayıp kaldıracakları nesnenin yüzey sürtünme özellikleri, ağırlığı ve mukavemet özellikleri ile ilgili kavrama kuvvetinin niceliğini belirleyecek kesin bir bilgiye sahip değildirler. Bu nedenle kavranacak nesne, bir insan ve robot için özellikleri bilinmeyen nesne (Unknown object) (Okamura ve ark., 2000; Bicchi ve ark., 1993; Su ve ark., 2015; Pettersson-Gull ve Johansson, 2018) olmaktadır. Robot elin kavrama kuvveti kontrolü üzerine yapılan birçok çalışmadaki yaklaşım ve metot, Coulomb sürtünme modelini temel almıştır (Bicchi ve ark., 1993; Koda ve Maeno, 2006; Wettels ve ark., 2009; Ho and Hirai, 2011; Morita ve ark., 2018). Bu çalışmaların birçoğunda Coulomb sürtünme denklemi ile hesaplanabilen kayma noktasına odaklanılmıştır. İnsanın ya da robot elin parmakları arasında nesnenin düşmeden asılı durmasını sağlayan temel unsur statik sürtünme kuvvetidir. Bu durum Coulomb sürtünme yasası ile açıklanabilir. Nesneye uygulanacak kavrama kuvvetinin minimum sınır değeri Coulomb sürtünme yasası ile teorik olarak hesaplanabilir. Nesneyi kalıcı deformasyona uğratmayacak minimum kavrama kuvveti ise Hook yasası ile teorik olarak hesaplanabilir. Fakat pratikte nesnelerin yüzeyleri homojen değildir. Kavranıp kaldırılacak nesnenin ağırlığı, yüzey sürtünme özellikleri ve mukavemet değerleri bilinmeyen özelliklerdir. Kombine kuvvet etkileri altında, özellikleri bilinmeyen, kalıcı deformasyona yatkın bir nesnenin bir robot el tarafından kavranıp kaldırılması belirsizlikler içeren karmaşık bir problem ortaya koymaktadır. Bir robot elin hassas kavrama görevi için optimum kavrama kuvvetinin hesaplanabileceği bir matematik model ortaya koymak oldukça zordur.

Literatürde robot el ve bununla ilgili kavrama ve kuvvet kontrolü alanlarında öncü çalışmalar 1980'li yılların başlarından itibaren başlamıştır (Okamura ve ark., 2000). Robot el kavramasına yönelik yapılan çalışmalara insan elinin kavrama becerilerine yönelik yapılan deneysel tıbbi çalışmalar yön vermiştir. (Cutkosky ve Howe, 1990). Bu kapsamında G. Westling ve R. S. Johansson tarafından yön verici çalışmalar ortaya konulmuştur. Birçok çalışmada insanların nesneleri kavrayıp kaldırırken, kavrama kuvvetinin Coulomb sürtünme yasası ile hesaplanabilen minimum sınır değerinin üzerine fazladan kuvvet uyguladıkları ortaya konulmuştur (Westling ve Johansson, 1984; Edin ve ark., 1992; Fu ve Santello, 2018; Kossowsky ve ark., 2020; Gaut, 2020). Bu fazlalık kuvvet genellikle "Güvenlik marjı" olarak ifade edilmiştir. Güvenlik marjının, kavrama kuvvetinin minimum sınır değerine göre yüzde oranı ise "Güvenlik marjı oranı" olarak ifade edilmektedir.

Önceki bazı çalışmalarda güvenlik marjının bir aralıkta değişken olduğu görüşü kabul edilse de güvenlik marjın sabit bir oran ya da katsayı olarak kabul edilmiştir (Hadjiosif and Smith, 2015). Tremblay ve Cutkosky (1993), güvenlik marjı oranının %15 ile %100 arasında değiştiğini belirterek, çalışmalarında güvenlik marjı oranını %20 kabul etmişlerdir. Wettels ve ark. (2009), tahmin edilen kayma noktasının üzerine %20 güvenlik marjı oranı uygulamışlardır. Bergmann Tiest ve Kappers (2019), sabit nesne ağırlığı ve yüksek statik sürtünme katsayıları için yaptıkları çalışmalarında güvenlik marjı faktörünü 1,6 (%60) olarak bildirmişlerdir. Bazı çalışmalarda güvenlik marjının ortalama %10 ile %40 arasında değiştiği belirtilmiştir (Johansson ve Flanagan, 2008; Wiertelowski ve ark., 2013; Su ve ark., 2015). Bazı çalışmalarda ise önceki yaygın görüşün aksine güvenlik marjının değişken nesne koşullarından ve çevre koşullarından etkilendiği; sabit bir parametre olmadığı ortaya konulmuştur (Kossowsky ve ark., 2020; Hadjiosif ve Smith, 2015; Gibo ve ark., 2013; Farajian ve ark., 2020; Grover, 2018). Bazı çalışmalarda kavrama kuvvetinin, güvenlik marjı ile ileri besleme şeklinde ayarlanabileceği belirtilmiştir (Hadjiosif ve Smith 2015; Gibo ve ark., 2013). Wang ve ark. (2017) güvenlik marjının tespitine dayalı bir kavrama kuvveti kontrolünün etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Güvenlik marjı odaklı yapılan çalışmalarda değişen nesne koşullarına göre ayarlanan bir güvenlik marjı yaklaşımı kabul görmektedir. Bir robot elin hassas kavrama görevi için güvenlik marjının tespiti ile etkin bir kuvvet kontrolü sağlanabileceği belirtilmiştir. Fakat güvenlik marjının değişen nesne özelliklerine bağlı olarak nasıl değiştiği ile ilgili etkin bir matematik model mevcut değildir. Nesneye ve çevresel koşullara bağlı değişkenlikler ve belirsizliklerden dolayı bir matematik model ortaya koyma oldukça güçtür. Bu nedenle bu çalışmada esnek hesaplama yöntemlerinden bulanık mantık yöntemine dayalı kavrama kuvveti kontrolüne odaklanılmıştır. Bulanık mantık, belirsizliğin fazla olduğu, karmaşık ve matematik modelinin çıkarılması zor olan uygulamalarda başarı ile kullanılmaktadır (Rodriguez ve ark., 2012; Kocabaş, 2017; Tüysüz, 2018). Bulanık mantık insanın yaklaşık akıl yürütme, karar verme özelliklerini ve uzman bilgisini işlenebilir mantıksal algoritmalarla modelleyebilen bir yöntemdir (Zadeh, 1965). İnsanlar, kalıcı deformasyona yatkın, özelliklerini bilmediği nesneleri optimum güvenlik marjı ile hassas bir şekilde kavrayıp kaldırabilme yeteneğine sahiptir (Westling ve Johansson, 1984). Bu yetenek bebeklikten beri deneysel olarak edinilen bir yetenektir.



Şekil 1. İki Parmaklı Hassas Kavrama

Bu çalışmanın amacı bir robot elin hassas kavrama görevinde kavrama kuvvetinin bulanık mantık tabanlı kontrolü

için insanların hassas kavrama becerilerinden güvenlik marjı veri tabanı elde etmektir. Elde edilen güvenlik marjı verileri bulanık mantık denetleyici için veri tabanı olarak kullanılabilir. Bu çalışmada insanların hassas kavrama becerilerinden güvenlik marjı verileri elde etmek için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde Şekil 1’de görüldüğü gibi yumuşak parmak uçlu, baş ve işaret parmağın kullanıldığı iki parmaklı hassas kavrama modeli kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada yaşları 19 ile 46 arasında, sağ ellerini kullanan 6’sı kadın ve 8’i erkek olmak üzere sağlıklı 14 katılımcı ile 4 farklı nesne yüzey özelliği ve 5 farklı nesne ağırlığı için işaret ve başparmakların kullanıldığı hassas kavrama ve kaldırma deneyleri yapılmıştır. Katılımcılar, bilgilendirilmiş onam formu ile onay vermişlerdir. Tüm deney protokolleri Mustafa Kemal Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Deneyler yapılırken katılımcılara çatlayıp kırılacak bir nesne kaldırdıklarını varsaymaları ve minimum kavrama kuvveti uygulayarak kaldırmaları gerektiği ama nesneyi düşürmemeleri gerektiği söylenmiştir. Çünkü kavrama görevinin türü belirlenerek, katılımcıların yüksek güvenlik marjı oranları ile güçlü kavrama eğilimi göstermeleri (Kossowsky ve ark., 2020) engellenmeye çalışılmıştır.

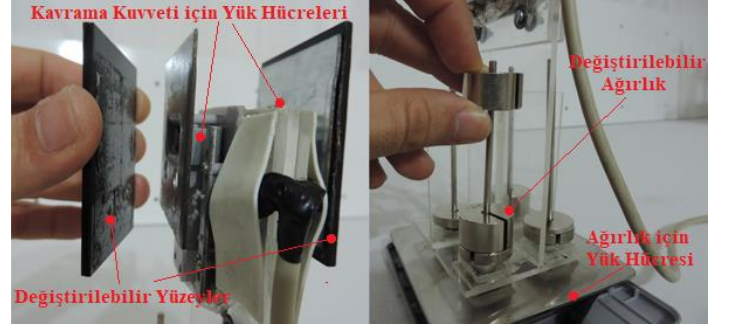
### 2.1. Deney Düzeneğinin Kurulması

Hassas kavrama ve kaldırma deneyleri için değiştirilebilir ağırlık ve yüzey özelliğine sahip Şekil 2’de görülen deney nesnesi tasarlanmıştır. Şekil 3’de ise deney nesnesinin ağırlığının ve yüzeylerinin değiştirilebilir özellikleri görülmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan Deney Nesnesi

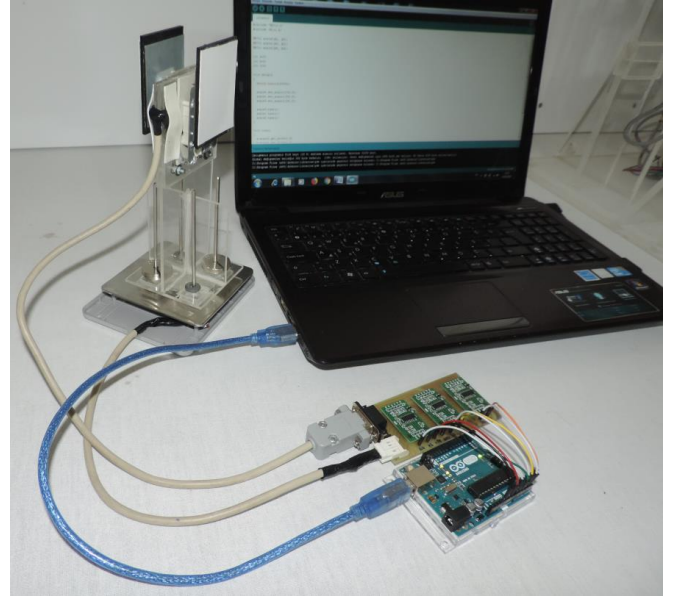
Şekil 3’de görüldüğü gibi deney nesnesinin çift taraflı yapışkan bant ile çıkarılıp takılabilen, akrilik plakalardan oluşan değiştirilebilir kavrama yüzeyleri mevcuttur. Kavrama kuvveti yük hücreleri tarafından algılanmaktadır. Kavrama yüzeyleri, yük hücrelerinin monte edildiği metal plakalara yapıştırılmaktadır. Deney nesnesinin ağırlığı, Şekil’3 de görüldüğü gibi değeri bilinen kütlelerin ağırlık çubuklarına takılması ile ayarlanmaktadır.



Şekil 3. Deney Nesnesinin Ağırlığının ve Yüzeylerinin Değiştirilebilir Özellikleri

#### 2.1.1. Değiştirilebilir Yüzeylerin Elde Edilmesi

Deneylerin uygulanmasından önce Şekil 2’deki deney nesnesi için yüzey materyalleri belirleme çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4’de görüldüğü gibi statik sürtünme katsayılarının ölçümü için HX711 sensör modül kartı, Arduino Uno R3 kart ve deney nesnesinden oluşan ölçüm düzeneği kurulmuştur. Kurulan düzeneğe ile statik sürtünme katsayılarının ölçümü için Şekil 5(a)’da görülen 2 eksenli 3 serbestlik derecesine sahip eyleyici sistem kullanılmıştır. Böylelikle deney nesnesinin değiştirilebilir yüzeylerine farklı sürtünme özelliklerine sahip materyaller yerleştirilerek Şekil 5(b)’de görüldüğü gibi statik sürtünme katsayıları ölçülmüştür.

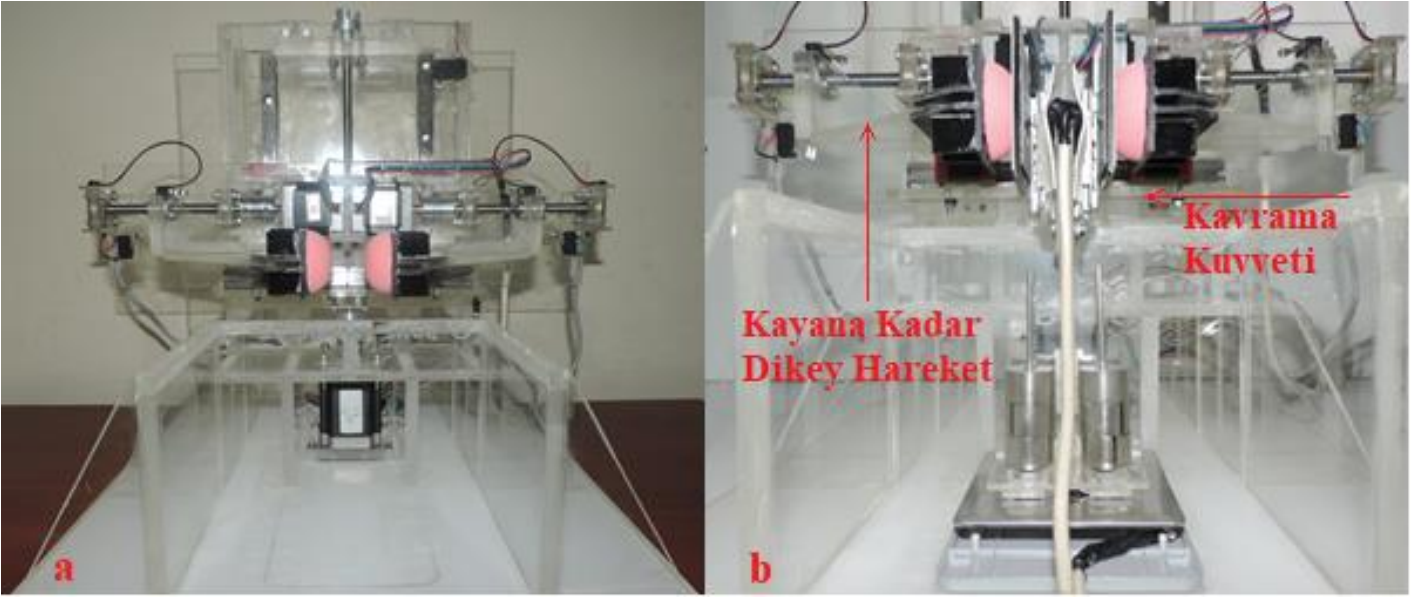


Şekil 4. Statik Sürtünme Katsayısı Ölçüm Düzeneği

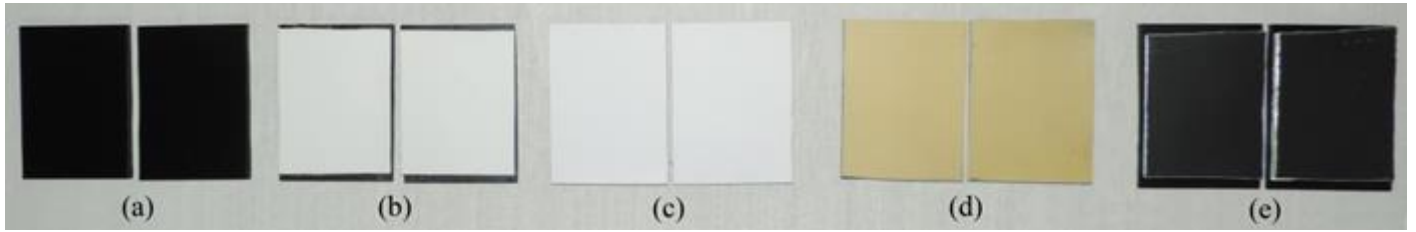
Statik sürtünme katsayıları ölçülürken deney nesnesi sabit 900 g ağırlığa sahiptir. Başlangıç değeri 100 gf olacak şekilde 20 kere 20 gf ‘luk artışlarla kavrama kuvveti uygulanmıştır. Arttırılan her kavrama kuvveti için kayma elde edene kadar dikey hareket sağlanmıştır. Böylece her yüzey materyali için yazılım tarafından Coulomb sürtünme yasasına göre Eşitlik 1 kullanılarak 20 adet statik sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.

$$\mu_s = \frac{F_{t_{max}}}{2F_n} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de  $\mu_s$ , statik sürtünme katsayısını,  $F_{t_{max}}$ , kayma anında ölçülen maksimum teğetsel kuvveti (Ağırlık) ve  $F_n$  ise kayma anındaki normal kuvvet (Kavrama kuvveti) değerini ifade etmektedir.

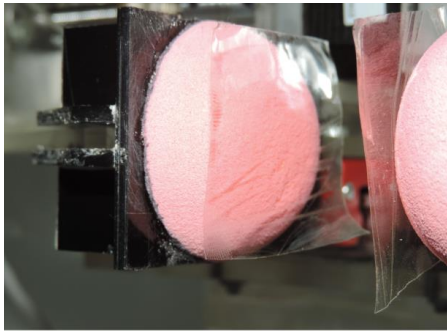


Şekil 5. Eyleyici Sistem (a) ve Statik Sürtünme Katsayısının Ölçümü (b)



Şekil 6. Belirlenen Yüzey Materyalleri ile Oluşturulmuş Kavrama Yüzeyleri: PMMA (a) PP (b), A4 (c), HDPE (d), PTFE (e)

Yazılım içerisinde 20 adet  $\mu_s$  değerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak her ölçülen yüzey materyali için ortalama statik sürtünme katsayısı ( $\mu_{\text{sort}}$ ) elde edilmiştir. Ölçüm yapılırken Şekil 7'da görüldüğü gibi eyleyicinin kavrama yüzeylerinde 36  $\mu\text{m}$  kalınlıkta BOPP (Biaxially Oriented Polypropylene-Çift Yönlü Gerdirilmiş Polipropilen) film kullanılmıştır. BOPP filmin kullanılmasının sebebi, insanlarla yapılacak olan deneyler ile eyleyici sistemle yapılacak olan ölçümlerde ortak ara yüz materyaline ihtiyaç duyulmasıdır. Çünkü insan parmak ucu derisi ile eyleyicinin kavrama yüzeyleri aynı materyallerde farklı sürtünme katsayıları ortaya çıkaracaktır.



Şekil 7. Eyleyicinin Kavrama Yüzeylerinde BOPP Filmin Kullanımı

Yüzey materyalleri belirleme çalışmaları sonucunda 5 farklı yüzey materyali belirlenmiştir. Yüzey materyalleri kaygan ve sürtünmeli yüzeyleri temsil edebilecek şekilde belirlenmiştir.

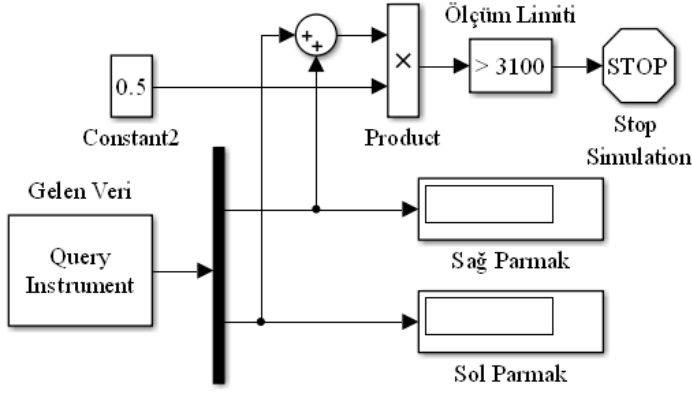
Belirlenen materyaller akrilik plakaların üzerine yapıştırılarak Şekil 6'da görülen kavrama yüzeyleri elde edilmiştir. Kavrama yüzeyleri Şekil 3'de görülen deney nesnesine çift taraflı yapıştırıcı bant ile yapıştırılmaktadır. Tablo 1'de yüzey materyalleri ve BOPP film ile oluşturdukları ortalama statik sürtünme katsayıları ( $\mu_{\text{sort}}$ ) verilmiştir.

Tablo 1. Yüzey Materyalleri ve BOPP Film ile Oluşturdukları  $\mu_{\text{sort}}$  Değerleri

Yüzey Materyalleri	$\mu_{\text{sort}}$
PMMA (Polymethyl Methacrylate- Pleksiglas)	0,75
PP (Polypropylene-Polipropilen)	0,55
A4 Fotokopi Kâğıdı	0,28
HDPE (High Density Polyethylene-Yüksek Yoğunluklu Polietilen)	0,14
PTFE (Polytetrafluoroethylene-Teflon)	0,07

### 3.1. Deneylerin Uygulanması

Yüzey materyalleri ve statik sürtünme katsayıları elde edildikten sonra deneylerin uygulanmasına geçilmiştir. Yapılan deneylerde katılımcıların deney nesnesini kaldırdıkları andaki ölçüm verilerini okumak için Şekil 8'de görülen Matlab/Simulink modeli hazırlanmıştır.



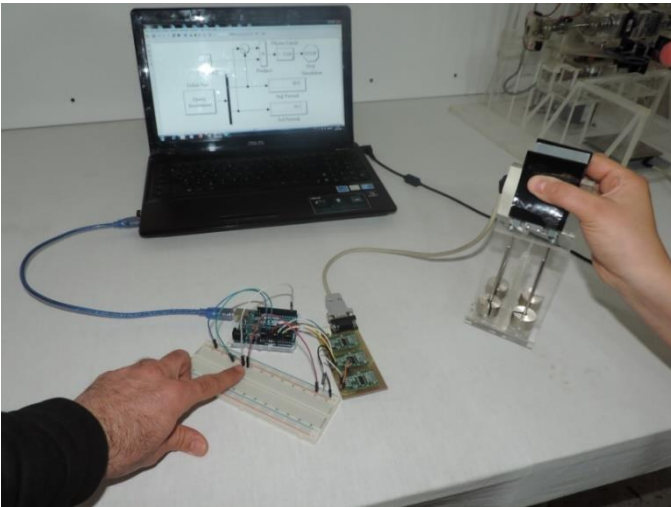
Şekil 8. Deneylerde Ölçüm Verilerini Okumak için Hazırlanan Matlab/Simulink Modeli

Deneyler esnasında eyleyicinin kavrama yüzeylerinde olduğu gibi katılımcıların parmak uçlarına da Şekil 9'de görüldüğü gibi BOPP film yapııştırılmıştır.



Şekil 9. İnsan Parmağının Ucunda BOPP Filmin Kullanımı

Şekil 10'da görüldüğü gibi her bir katılımcı ile 300 gf, 500 gf, 700 gf ve 900 gf olmak üzere 4 farklı ağırlık ve Şekil 7'de görülen 5 farklı kavrama yüzeyi için hassas kavrama ve kaldırma deneyi yapılmıştır. Her bir ağırlık ve yüzey için 5'er deneme yapılmıştır. Denemeler esnasında her iki parmağın uyguladıkları kuvvetlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Katılımcıların her birinden, her bir yüzey ve ağırlık için 70 adet veri elde edilmiştir. Bazı yüzey ve ağırlıklar için yük hücrelerinin ölçüm limitleri aşıldığından veri elde edilememiştir. 14 katılımcıdan tüm deneyler sonunda 1035 adet veri elde edilmiştir.



Şekil 10. Hassas Kavrama ve Kaldırma Deneylerinin Yapılışı

Deneylerden elde edilen kavrama kuvveti verileri kullanılarak 4 farklı ağırlık ve 5 farklı yüzey özelliği için Eşitlik 2 ile güvenlik marjı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan 70 adet güvenlik marjı verilerinden en düşük değere sahip 14 veri belirlenmiştir. 14 verinin 70 veri içerisindeki tekrarlamaya sayılarına göre ağırlıklı ortalamaları hesaplanmıştır. Daha sonra Eşitlik 3 kullanılarak güvenlik marjı yüzde oranları hesaplanmıştır. Böylelikle insanların hassas kavrama görevinde değişen nesne koşullarına bağlı uyguladıkları optimum güvenlik marjı verileri ve buna bağlı güvenlik marjı yüzde oranları elde edilmiştir.

$$Gm = Fn_g - \frac{Ft_{max.}}{2\mu_s} \quad (2)$$

$$\%Gm = \left( \frac{Gm}{Fn_g - Gm} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Eşitlik 2'de  $Gm$ , güvenlik marjını ifade etmektedir.  $Fn_g$  ise katılımcıların deney nesnesini kaldırdıkları anda ölçülen güvenlik marjı içeren kavrama kuvvetidir. Eşitlik 3'de  $\%Gm$ , güvenlik marjı yüzde oranını ifade etmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

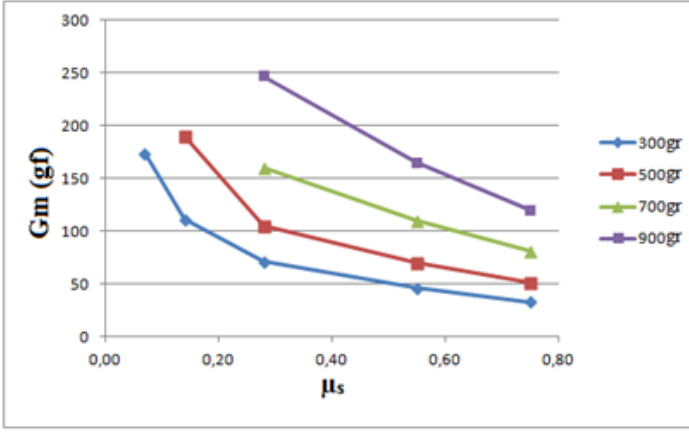
Bu çalışmada yapılan deneylerde insanların hassas kavrama görevinde nesnenin değişen ağırlığına ve değişen yüzey özelliğine göre uyguladıkları optimum güvenlik marjı verileri ve buna bağlı güvenlik marjı yüzde oranları elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerde 4 farklı nesne ağırlığı ve 5 farklı yüzey sürtünme özelliği için kavrama kuvveti verileri elde edilmiştir. Elde edilen kavrama kuvveti verileri kullanılarak optimum güvenlik marjı verileri ve güvenlik marjı yüzde oranları hesaplanmıştır. Tablo 2'de insanlardan elde edilen optimum güvenlik marjı verileri görülmektedir. Tablo 3'de ise Optimum güvenlik marjı verilerinden hesaplanan güvenlik marjı yüzde oranları görülmektedir.

Tablo 2. Elde Edilen Optimum Güvenlik Marjı Verileri

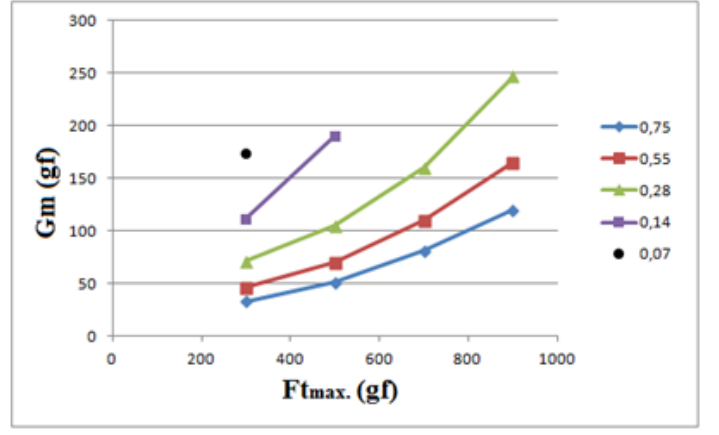
Gm (gf)	Ft <sub>max.</sub> (gf)				
	300	500	700	900	
μ <sub>sort.</sub>	0,75	33	51	81	120
	0,55	46	70	110	165
	0,28	71	105	160	247
	0,14	111	190	LA	LA
	0,07	174	LA	LA	LA

Tablo 3. Elde Edilen Optimum Güvenlik Marjı Yüzde Oranları

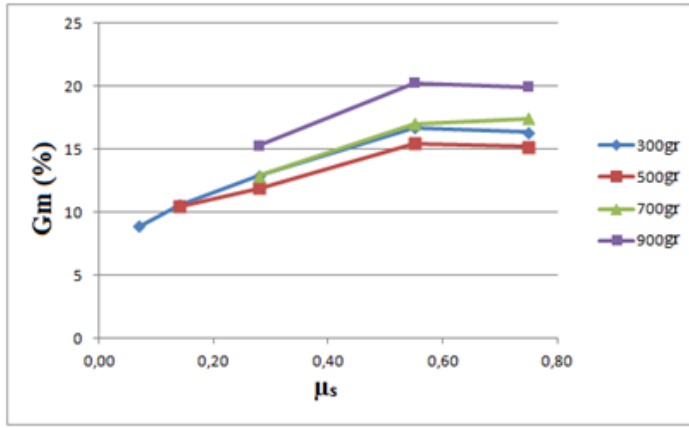
%Gm	Ft <sub>max.</sub> (gf)				
	300	500	700	900	
μ <sub>sort.</sub>	0,75	16	15	17	20
	0,55	17	15	17	20
	0,28	13	12	13	15
	0,14	11	10	LA	LA
	0,07	9	LA	LA	LA



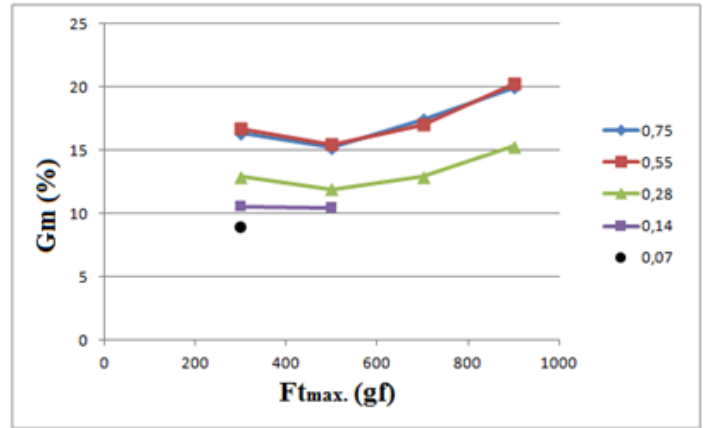
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 11. Deneylerden Elde Edilen Optimum Güvenlik Marjı verilerine ve Güvenlik Marjı Yüzde Oranlarına ait Değişim Grafikleri: a) Statik sürtünme katsayısı değişimine göre güvenlik marjı değişimi, b) Ağırlık değişimine göre güvenlik marjı değişimi, c) Statik sürtünme katsayısına göre güvenlik marjı yüzde oranı değişimi, d) Ağırlık değişimine göre güvenlik marjı yüzde oranı değişimi

Tablo 2 ve Tablo 3'deki LA (Limit Aşımı) ile gösterilen veri bölümleri, kullanılan yük hücrelerinin ölçüm limitlerinin aşıldığı yerlerdir. LA ile gösterilen bölümlerde ya yeterince ya da hiç veri elde edilememiştir. Şekil 11'de elde edilen optimum güvenlik marjı verilerine ve güvenlik marjı yüzde oranlarına ait grafikler görülmektedir.

Tablo 2 ve Tablo 3'deki veriler ile beraber Şekil 11'deki grafikler incelendiğinde güvenlik marjının statik sürtünme katsayısının ve ağırlığın değişimine duyarlı olduğu görülmektedir. Her ağırlık değeri için kayganlık arttıkça güvenlik marjı da artmıştır. Aynı şekilde her statik sürtünme katsayısı değeri için ağırlık arttıkça güvenlik marjı da artmıştır. Güvenlik marjı yüzde oranlarının ise sürtünmeli yüzeylerde ve düşük ağırlıklarda sabit eğilimli olduğu görülmektedir. Fakat ağırlık ve kayganlık arttıkça güvenlik marjı yüzde oranları da artmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatürde önceki çalışmalarda sabit güvenlik marjı oranı yaklaşımının aksine yapılan son çalışmalardaki değişen nesne koşullarına göre değişken güvenlik marjı görüşünü desteklemektedir. Literatürdeki çalışmalara katkı olarak bu çalışmada değişen yüzey sürtünme özelliğine ve değişen ağırlığa bağlı olarak insanlarla yapılan deneylerden optimum güvenlik marjı verileri elde edilmiştir. Literatürdeki uygulanan sabit %20 güvenlik marjı değeri, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre daha kaygan yüzeylere ve daha düşük ağırlığa sahip nesnelere için yüksek bir oran ifade etmektedir.

Bu çalışmada değişen yüzey sürtünme özelliğine ve değişen ağırlığa göre güvenlik marjı oranının %9 ile %20 arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada insanın hassas kavrama yeteneğine ait gerçek veriler kullanılarak, güvenlik marjı odaklı kavrama kuvveti kontrolü için gerekli parametreler bulunmuştur. Yapılan deneylerden elde edilen optimum güvenlik marjı verileri ile oluşturulan veri tabanı, bulanık mantık denetleyici ayarlanmasında kullanılacaktır. Böylelikle bir robot elin hassas kavrama görevinde özellikleri bilinmeyen bir nesnenin hassas bir şekilde kavranıp kaldırılması sağlanacaktır.

Çalışmada, insanlarla farklı yüzey özellikleri ve değişen ağırlıklarda hassas kavrama ve kaldırma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde insanların hassas kavrama görevinde değişen nesne özelliklerine bağlı uyguladıkları optimum kavrama kuvveti değerleri elde edilmiştir. Optimum kavrama kuvveti değerlerinden optimum güvenlik marjı ve güvenlik marjı yüzde oranları elde edilmiştir. Bu çalışmada değişen yüzey sürtünme özelliğine ve değişen ağırlığa bağlı olarak güvenlik marjı oranının %9 ile %20 arasında değişen optimum verileri elde edilmiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmayı 9861 proje numarası ile destekleyen Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Cutkosky, M. R. (1989). On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Transactions on robotics and automation*, 5(3), 269-279.
- Mavrakis, N., Ghalamzan, E. A. M., & Stolkin, R. (2017, September). Safe robotic grasping: Minimum impact-force grasp selection. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 4034-4041). IEEE.
- Okamura, A. M., Smaby, N., & Cutkosky, M. R. (2000, April). An overview of dexterous manipulation. In *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065)* (Vol. 1, pp. 255-262). IEEE.
- Bicchi, A., Salisbury, J. K., & Brock, D. L. (1993). Contact sensing from force measurements. *The International Journal of Robotics Research*, 12(3), 249-262.
- Su, Z., Hausman, K., Chebotar, Y., Molchanov, A., Loeb, G. E., Sukhatme, G. S., & Schaal, S. (2015, November). Force estimation and slip detection/classification for grip control using a biomimetic tactile sensor. In *2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)* (pp. 297-303). IEEE.
- Pettersson-Gull, P., & Johansson, J. (2018). Intelligent robotic gripper with an adaptive grasp technique. Thesis for the Degree of Master of Science, *Mälardalen University School of Innovation Design and Engineering*, Västerås, Sweden.
- Koda, Y., & Maeno, T. (2006, October). Grasping force control in master-slave system with partial slip sensor. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 4641-4646). IEEE.
- Wettels, N., Parnandi, A. R., Moon, J. H., Loeb, G. E., & Sukhatme, G. S. (2009). Grip control using biomimetic tactile sensing systems. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 14(6), 718-723.
- Ho, V. A., & Hirai, S. (2011). Understanding Slip Perception of Soft Fingertips by Modeling and Simulating Stick-Slip Phenomenon. In *Robotics: Science and Systems*.
- Morita, N., Nogami, H., Higurashi, E., & Sawada, R. (2018). Grasping force control for a robotic hand by slip detection using developed micro laser doppler velocimeter. *Sensors*, 18(2), 326.
- Cutkosky, M. R., & Howe, R. D. (1990). Human grasp choice and robotic grasp analysis. In *Dextrous robot hands* (pp. 5-31). Springer, New York, NY.
- Westling, G., & Johansson, R. S. (1984). Factors influencing the force control during precision grip. *Experimental brain research*, 53(2), 277-284.
- Edin, B. B., Westling, G., & Johansson, R. S. (1992). Independent control of human finger-tip forces at individual digits during precision lifting. *The Journal of physiology*, 450(1), 547-564.
- Fu, Q., & Santello, M. (2018). Improving fine control of grasping force during hand-object interactions for a soft synergy-inspired myoelectric prosthetic hand. *Frontiers in neurorobotics*, 11, 71.
- Kossowsky, H., Farajian, M., Milstein, A., & Nisky, I. (2020). The Effect of Between-Probe Variability in Haptic Feedback on Stiffness Perception and Grip Force Adjustment. *bioRxiv*.
- Gaut, I. (2020). Evaluation of object attributes to study speed-accuracy trade-off of gloves using ISO 9241-411 standard. Thesis for the Degree of Master of Science, *West Virginia University, Benjamin M. Statler College of Engineering and Mineral Resources*, Morgantown, West Virginia.
- Hadjosif, A. M., & Smith, M. A. (2015). Flexible control of safety margins for action based on environmental variability. *Journal of Neuroscience*, 35(24), 9106-9121.
- Tremblay, M. R., & Cutkosky, M. R. (1993, May). Estimating friction using incipient slip sensing during a manipulation task. In *[1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 429-434). IEEE.
- Wettels, N., Parnandi, A. R., Moon, J. H., Loeb, G. E., & Sukhatme, G. S. (2009). Grip control using biomimetic tactile sensing systems. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 14(6), 718-723.
- Bergmann Tiest, W. M., & Kappers, A. M. (2019). The influence of visual and haptic material information on early grasping force. *Royal Society open science*, 6(3), 181563.
- Johansson, R. S., & Flanagan, J. R. (2008). 6.05-Tactile sensory control of object manipulation in humans. *Senses Compr. Ref. Acad. Press NY NY*, 67-86.
- Wiertelowski, M., Endo, S., Wing, A. M., & Hayward, V. (2013, April). Slip-induced vibration influences the grip reflex: A pilot study. In *2013 World Haptics Conference (WHC)* (pp. 627-632). IEEE.
- Gibo, T. L., Bastian, A. J., & Okamura, A. M. (2013). Grip force control during virtual object interaction: effect of force feedback, accuracy demands, and training. *IEEE transactions on haptics*, 7(1), 37-47.
- Farajian, M., Leib, R., Kossowsky, H., Zaidenberg, T., Mussa-Ivaldi, F. A., & Nisky, I. (2020). Stretching the skin immediately enhances perceived stiffness and gradually enhances the predictive control of grip force. *Elife*, 9, e52653.
- Grover, F. M. (2018). *Intermittency between grip force and load force*. (Doctoral dissertation, University of Cincinnati).
- Wang, X., Xiao, Y., Zhao, Y., & Fan, X. (2017). Grasping force optimization algorithm of soft multi-fingered hand based on safety margin detection. *jiqiren/Robot*, 39, 844-852.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Kocabaş, A. (2017). *Design and optimization of a fuzzy logic based maximum power point tracker for pv panel* (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi).
- Tüysüz, M. (2018). *Hibrit güç sistemlerinde maksimum güç noktası takibi için bulanık denetleyicinin optimizasyonu* (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi).
- Rodriguez, R. M., Martinez, L., & Herrera, F. (2011). Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 20(1), 109-119.



# Türkçe Tweetler üzerinde Makine Öğrenmesi ile Nefret Söylemi Tespiti

İslam Mayda<sup>1\*</sup>, Banu Diri<sup>2</sup>, Tuğba Dalyan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5584-0259), [islam.mayda@stu.khas.edu.tr](mailto:islam.mayda@stu.khas.edu.tr)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6652-4339), [diri@yildiz.edu.tr](mailto:diri@yildiz.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Bilgi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5868-5407), [tugba.yildiz@bilgi.edu.tr](mailto:tugba.yildiz@bilgi.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903854)

**ATIF/REFERENCE:** Mayda, İ., Diri, B. & Dalyan, T. (2021). Türkçe Tweetler üzerinde Makine Öğrenmesi ile Nefret Söylemi Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 328-334.

## Öz

Sosyal medya ağlarının sayısının ve kullanımının artması beraberinde nefret söylemi içeriklerinin de daha çok paylaşılması problemini doğurmuştur. Gerek kamu otoriteleri gerekse sosyal medya ağlarının kendileri, artan nefret söylemiyle mücadele kapsamında çeşitli politikalar üretmektedir. Kullanıcılar tarafından üretilen verinin hacminin oldukça büyük olması nedeniyle nefret söylemi tespitinde otomatik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle son yıllarda başta İngilizce olmak üzere birçok dil üzerinde otomatik nefret söylemi çalışması yapılmış olmasına rağmen Türkçe üzerine kapsamlı bir çalışma henüz sunulmamıştır. Bu çalışma bu ihtiyaca karşılık vermek amacıyla yapılmıştır. Farklı hedef gruplara dair anahtar kelimelerin geçtiği 1000 adet Türkçe tweet toplanmış ve iki değerlendirici tarafından üç sınıflı (nefret söylemi, saldırgan ifade, hiçbirisi) olarak ayrı ayrı etiketlenmiştir. Oluşturulan Türkçe nefret söylemi veri seti sonraki çalışmalarda kullanılabilmesi için kamuya açık olarak paylaşılmıştır. Bu veri seti üzerinde farklı özellik kümeleri ve farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Üç sınıflı veri seti üzerinde en yüksek performans %79,9 F-ölçüm değeri ile SMO (Sıralı Minimal Optimizasyon) algoritmasının kullanıldığı testte elde edilmiştir. Türkçe nefret söylemi tespitinde daha başarılı sonuçlar almak için veri seti boyutunun artırılması gerekirken, sunulan bu çalışmanın gelecekte yapılacak çalışmalara öncü niteliğinde olması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nefret söylemi tespiti, makine öğrenmesi, Türkçe tweetler.

## Hate Speech Detection with Machine Learning on Turkish Tweets

### Abstract

The increase in the number and use of social media networks has led to the problem of sharing hate speech content more. Both public authorities and social media networks themselves produce various policies within the scope of combating increasing hate speech. Automated systems are needed to detect hate speech due to the very large volume of the data produced by users. Although, in recent years, automatic hate speech studies have been conducted on many languages, especially English, a comprehensive study on Turkish has not been presented yet. This study was carried out in order to meet this need. 1000 tweets in Turkish with keywords for different target groups were collected and labeled separately in three categories (hate speech, offensive expression, none of them) by two evaluators. The Turkish hate speech data set created was shared publicly for use in future studies. Various tests were carried out on this data set using different feature sets and different machine learning algorithms. The highest performance on the three-class data set was obtained in the test using the SMO (Sequential Minimal Optimization) algorithm with 79.9% F-measure value. While the size of the data set needs to be increased in order to achieve more successful results in detecting Turkish hate speech, this study is expected to be a pioneer for future studies.

**Keywords:** Hate speech detection, machine learning, Turkish tweets.

\* Sorumlu Yazar: [islam.mayda@stu.khas.edu.tr](mailto:islam.mayda@stu.khas.edu.tr)



## 1. Giriş

İnternet kullanımının yaygınlaşması, sosyal medya ağlarının sayısının artmasıyla üretilen web içeriği de hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Sosyal medya siteleri hem dünyada<sup>†</sup> hem de Türkiye'de<sup>‡</sup> en çok ziyaret edilen web siteleri arasındadır. Bu tür platformlar, kullanıcılarına her türlü düşüncesini paylaşma imkânı sağlamaktadır. Buna bağlı olarak nefret söylemi içeren ifadeler de çoğalmaktadır. Nefret söylemi ve nefret suçu hakkında bir bilgi modeli geliştirme, test etme ve aktarmaya katkı sağlamayı amaçlayan eMORE Projesi raporunda; günümüzde kitle iletişim araçlarında, sosyal medyada ve günlük yaşamda "ötekine" yönelik korkunun gittikçe arttığı belirtilmiştir (RiSSC, 2017). Rapor, son yıllarda artan terör eylemleri, mülteci krizi gibi etkenlerin nefret söylemi artışında temel sebepler olduğunu ortaya koymaktadır. Avrupa'da nefret söyleminin giderek yaygınlaşmasına karşı olarak Avrupa Konseyi tarafından desteklenen *No Hate Speech Movement* hareketi ortaya çıkmıştır<sup>§</sup>. UNESCO da ülkelerin nefret söylemi sorunuyla başa çıkmalarına yardımcı olmak amacıyla *Countering Online Hate Speech* adlı bir çalışma yayınlamıştır (Gagliardone vd., 2015). Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından kabul edilen ve 167 üye ülkenin taraf olduğu Kişisel ve Siyasal Haklar Uluslararası Sözleşmesi (International Covenant on Civil and Political Rights - ICCPR) ayrımcılığa, düşmanlığa veya şiddete teşvik oluşturan her türlü ulusal, ırksal veya dini nefretin savunuculuğu kanunla yasaklanacaktır şeklinde bir madde içermektedir (Birleşmiş Milletler, 1976).

Nefret söylemi ve nefret suçlarının dünyayla paralel olarak Türkiye'de de arttığı tespit edilmiştir (Arcan, 2013). ABD, İngiltere ve Almanya gibi pek çok gelişmiş ülkede nefret söylemi ve suçuna yönelik yasal düzenlemeler olmasına rağmen T.C. Anayasası'nda nefret söylemiyle ilgili doğrudan bir düzenleme veya özel bir kanun bulunmamaktadır. Ancak, Türk Ceza Kanunu'nda nefret suçlarıyla ilişkilendirilebilecek bazı maddeler yer almaktadır ve buna bağlı olarak çeşitli olaylarda birtakım cezai yaptırımlar uygulanmaktadır (Kaya, 2018).

Nefret söyleminin hedef kişi veya gruplar üzerindeki fiziksel ve zihinsel zararlarına yönelik çeşitli araştırmalar yayınlanmıştır (Waldron, 2014; Gelber & McNamara, 2016). Bu tür paylaşımların hedef kitle üzerindeki doğrudan zararlarının yanı sıra diğer okuyucuların görüşlerini etkilemeleri ve onları da harekete geçirmesi bakımından dolaylı zararları da vardır. İçerik ne kadar uzun süre paylaşımında kalırsa, mağdurlara o kadar fazla zarar verir (Gagliardone vd., 2015). Bu yüzden nefretin daha fazla yayılmaması için nefret söylemi içeriğinin en kısa süre içerisinde paylaşımından kaldırılması gerekir. Sosyal medya ağlarındaki toplam kullanıcı sayıları ve paylaşım sayıları\*\* düşünülüğünde, bunun manuel olarak yapılmasının mümkün olmadığı görülmektedir.

Kullanıcılar tarafından içeriği oluşturulan birçok sosyal medya ağı (Facebook<sup>††</sup>, Twitter<sup>‡‡</sup>, Youtube<sup>§§</sup>, vs.) nefret söylemi

içeren ifadelerin paylaşımını yasaklamıştır ve bu paylaşımları engellemek için algoritmik çözümler uygulamaya çalışmaktadır. Ancak, üretilen içeriğin büyüklüğü ve problemin çok yönlü olması bu durumu zorlaştırmakta ve nefret söylemleri çevrimiçi platformlarda sorun olmaya devam etmektedir (Djuric vd., 2015). Bu nedenle özellikle son yıllarda, nefret söylemi içeriklerinin otomatik olarak tespit edilmesine yönelik çalışmalara daha çok yoğunlaşılmıştır.

Nefret söyleminin evrensel olarak kabul gören bir tanımı bulunmamaktadır. Nefret söylemi tespiti üzerine yapılan çalışmalarda bu konudaki sınırların net olarak belirlenmiş olmadığı ifade edilmekte ve yapılan tanıma göre veri seti etiketleme sürecinin değiştiğine, dolayısıyla çalışmanın başarısının da etkilediğine dikkat çekilmektedir (Waseem, 2016). Bu yüzden öncelikle bu konuda bir çalışma yapmadan önce nefret söylemi tanımının net olarak yapılması gerekmektedir. Bugüne kadar yapılan bazı nefret söylemi tanımları şöyledir:

Avrupa Konseyi'nin Bakanlar Komitesi 97(20) sayılı Tavsiye Kararı'nda nefret söylemini şu şekilde tanımlamıştır: "nefret söylemi" kavramının ırkçı nefreti, yabancı düşmanlığını, Yahudi aleyhtarlığını veya azınlıklara, göçmenlere veya göçmen kökenli insanlara karşı saldırgan milliyetçilik ve etnik merkezcilik, ayrımcılık ve düşmanlık ifadesi içeren hoşgörüsüzlüğe dayanan diğer nefret biçimlerini yayan, teşvik eden, destekleyen veya meşrulaştıran tüm ifade biçimlerini kapsadığı anlaşılmaktadır (Weber, 2009).

Hukuk profesörü olan Nockleby Amerikan Anayasası Ansiklopedisi'nde nefret söylemi kavramını "bir kişiyi veya grubu ırk, renk, etnik köken, cinsiyet, cinsel yönelim, milliyet, din veya diğer özellikler gibi bazı özelliklere göre ayıran her türlü ifade" şeklinde tanımlamıştır (Nockleby, 2000). UNESCO tarafından yayınlanan Online Nefret Söylemi ile Mücadele kitabında bu tanım "belirli bir sosyal veya demografik grupla tanımlanan hedefe zarar vermeye (özellikle de ayrımcılığa, düşmanlığa veya şiddete) teşvik eden ifadeler" şeklinde yer almıştır (Gagliardone, 2015).

Nefret söyleminin tanımı üzerinde düşünülürken bireylerin ifade özgürlüğü hakkı da göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer bir deyişle, bir yandan nefret söylemi içeriklerini yasaklarken diğer yandan da kişilerin ifade özgürlüğü hakkının korunması gerekmektedir. Ancak, nefret söylemi ile ifade özgürlüğü arasındaki çizgi günümüzde çok net çizilememektedir. Bu da diğer bir tartışma konusudur (Çelik, 2013).

Nefret söyleminin otomatik olarak tespit edilmesine yönelik son yıllarda çok sayıda yayın yapılmıştır (Fortuna & Nunes, 2018; Schmidt & Wiegand, 2017). Bu yayınların büyük bir kısmı İngilizce üzerine iken Almanca, İtalyanca, İspanyolca, Arapça, Endonezce dilleri üzerine de bazı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Buna karşılık, bugüne kadar Türkçe dili üzerine nefret söyleminin otomatik tespitine yönelik, kadına karşı nefret söylemine dair sunulan bir çalışma (Şahi vd., 2018) haricinde başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Şahi vd. yaptıkları çalışmada öncelikle Twitter'da #kıyafetimekarisma etiketiyle atılan tweetleri iki sınıflı olarak etiketlemiş, daha sonra dengeli bir veri seti oluşturmak için bunların içinden 318 tweet (159 adedi nefret söylemi, 159 adedi nefret söylemi değil) seçerek

<sup>†</sup> <https://www.alexacom/topsites>

<sup>‡</sup> <https://www.alexacom/topsites/countries/TR>

<sup>§</sup> <https://www.coe.int/en/web/no-hate-campaign>

<sup>\*\*</sup> <https://dustinstout.com/social-media-statistics/>

<sup>††</sup> [https://www.facebook.com/communitystandards/hate\\_speech](https://www.facebook.com/communitystandards/hate_speech)

<sup>‡‡</sup> <https://help.twitter.com/en/rules-and-policies/hateful-conduct-policy>

<sup>§§</sup> <https://support.google.com/youtube/answer/2801939>

deneylerini bu küçük veri seti üzerinde gerçekleştirmiştir. Farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin denendiği çalışmada en yüksek F-ölçüm değeri %72 ile Rastgele Ağaç sınıflandırıcıyla yapılan deneyde elde edilmiştir. Bu çalışma Türkçe üzerine yapılan ilk çalışma olsa da kullanılan veri setinin gerek boyutunun çok küçük olması gerekse kapsamının çok dar olması nedeniyle yeterli değildir.

Ayrıca, Türkçe'de nefret söylemine dair Sosyal Bilimler alanındaki çeşitli dergilerde yer alan araştırmalar, bu kavramın analizi ve Türkiye'deki örnekleri üzerine tartışmalardan ibarettir (Vardal, 2015; Alp, 2016; Alp, 2018). Türkçe metinler üzerinde nefret söyleminin otomatik tespitine yönelik çalışmalar konusunda ciddi bir açık olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın ilk amacı, söz konusu ihtiyaca karşılık vermektir. Bu tür bir çalışma yapabilmek için öncelikle Türkçe nefret söylemi veri setine sahip olunması gerekmektedir. Ancak, bu konuda daha önce kamuya açık olarak paylaşılan yapısal bir veri seti oluşturulmamıştır. Bu eksikliği gidermek de çalışmanın amaçlarından biridir. Çalışma kapsamında öncelikle Türkçe nefret söylemi veri seti oluşturulmuş, daha sonra oluşturulan veri seti üzerinde farklı öğrenme yöntemleri ve farklı özellik kümeleriyle deneysel çalışmalar yapılarak en ideal model bulunmaya çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Türkçe nefret söylemi veri seti

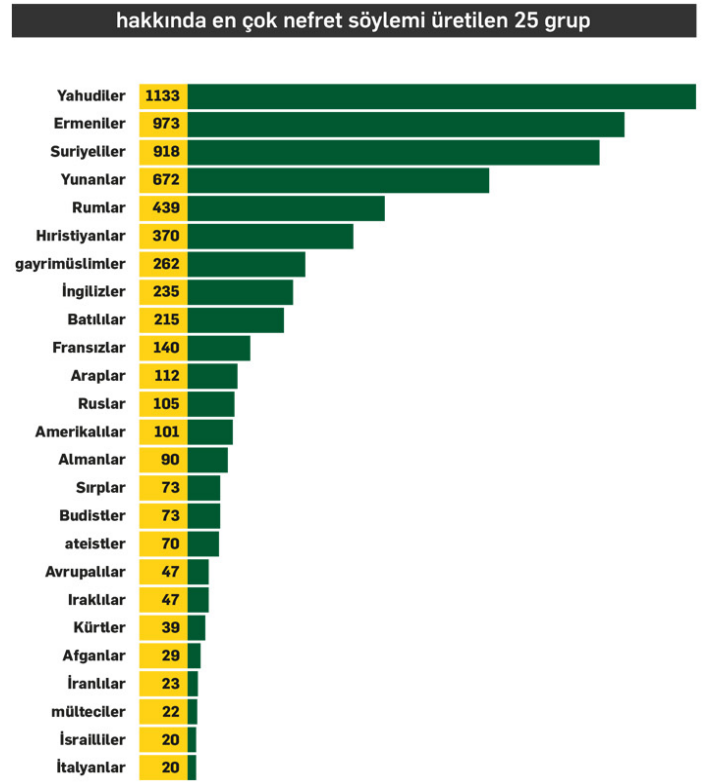
Üzerinde sınıflandırma çalışması yapılacak Türkçe tweet veri seti oluşturulmadan önce, tweetleri toplarken aramada kullanılacak olan hedef gruplara dair anahtar kelimelere karar verilmiştir. Bunun için öncelikle, ulusal ve yerel medyadaki nefret söylemi haberlerinin listelendiği NefretSoylemi.org sitesinde yer alan içerikler incelenmiştir. Hrant Dink Vakfı'nın yürütmekte olduğu *Medyada Nefret Söyleminin İzlenmesi Projesi* kapsamında oluşturulan bu sitede, gönüllüler günlük ve haftalık gazeteleri takip ederek tespit ettikleri nefret söylemi haberlerini kamuoyu ile paylaşmaktadırlar.

Hedef gruplara dair anahtar kelimeler belirlenirken, NefretSoylemi.org sitesindeki nefret söylemi içeriklerinde en çok geçen terimlerle birlikte, Şekil 1'de sunulan ve yine Hrant Dink Vakfı tarafından aynı proje kapsamında hazırlanmış olan "Medyada Nefret Söylemi ve Ayrımcı Söylem 2018 Raporu"nın\*\*\* sonuçları göz önünde bulundurulmuştur.

Bu doğrultuda Twitter'da arama yapılırken kullanmak üzere seçilen anahtar kelimeler şöyledir: *suriyeli, ermeni, ingiliz, kürt, türk, yunan, arap, rum, alevi, müslüman, yahudi, ateist, gavur, hristiyan, kadın, sapık, eşcinsel*.

Şekil 1'deki rapora göre nefret söylemine en çok maruz kalan ilk üç grup olduğu için *yahudi, ermeni* ve *suriyeli* anahtar kelimeleri için 100'er, seçilen diğer anahtar kelimeler için 50'şer olmak üzere toplamda 1000 tweet toplanmıştır. Tweet toplama işlemi için KNIME aracı kullanılmıştır. Belirlenen anahtar kelimeler ile yapılan aramalarda Türkçe dilinde yazılmayan tweetler ile tweet tekrarları veri setine dâhil edilmemiştir.

\*\*\* <https://hrantdink.org/tr/asulis/faaliyetler/projeler/medyada-nefret-soylemi/2002-medyada-nefret-soylemi-ve-ayrimci-soylem-2018-raporu-yayimlandi>



Şekil 1. Medyada Nefret Söylemi ve Ayrımcı Söylem 2018 Raporu'na göre hakkında en çok nefret söylemi üretilen 25 grup

Küfür veya hakaret içeren her ifade nefret söylemi olarak görülemeyeceği gibi içerisinde hiçbir küfür, hakaret veya kötü söz içermeyen her ifade de nefret söylemi değildir diye değerlendirilemez (Malması & Zampieri, 2017). Bu noktada, saldırgan bir ifade içeren ancak nefret söylemi olmayan verilerin, nefret söylemi ifadesi içeren verilerden ayır edilebilmesi önemli bir problemdir. Literatürdeki birçok araştırmada bu iki tür ifade aynıymış gibi değerlendirilmiş ve saldırgan ifade içeren her veri nefret söylemi içeriyor şeklinde etiketlenmiştir (Warner & Hirschberg, 2012; Kwok & Wang, 2013). Söz konusu çalışmalarda veri seti, nefret söylemi içeren ve içermeyen olmak üzere iki sınıftan oluşmaktadır ve sınıflandırma işlemi buna göre yapılmaktadır. Gerçekte ise saldırgan ifadeler ile nefret söylemi ifadeleri birbirinden farklı şeyler olduğu için, bu çalışmada Türkçe nefret söylemi veri seti oluştururken verilerin 3 sınıflı (nefret söylemi, saldırgan ifade, hiçbirisi) olarak etiketlenmesi tercih edilmiştir.

Nefret söylemi olarak etiketlenen verilere ayrıca en az bir alt sınıf etiketi de (etnik, dini, cinsiyetçi, siyasi/ideolojik) verilmiştir. Bu çalışmada nefret söylemi alt sınıflarına dair bir deney yapılmamıştır, ancak bu alt sınıf etiketlerinin gelecek çalışmalarda daha kapsamlı deneylerde kullanılması düşünülmektedir.

Bir ifadenin nefret söylemi içerip içermediği farklı değerlendiriciler tarafından farklı şekilde yorumlanabilmektedir. Bir değerlendiricinin "nefret söylemi" olarak etiketlediği bir veri, başka bir değerlendirici tarafından "saldırgan ifade içeren ancak nefret söylemi olmayan" şeklinde etiketlenebilirken, bir başka değerlendirici tarafından "ne nefret söylemi ne de saldırgan bir ifade" olarak sınıflandırılabilir. Bu yargının kesin bir çerçevesinin olmaması, değerlendiricinin bakış açısına göre değişiklik göstermesi veri seti etiketlemede ciddi bir sorun olarak gözlemlenmektedir (Razavi vd., 2010). Bu nedenle

etiketleme işleminde en az iki değerlendiricinin görev alması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan veri setini etiketleme sürecinde öncelikle iki farklı değerlendirici birbirinden bağımsız olarak tweetleri etiketlenmiştir. Yapılan bağımsız etiketlemenin sonucunda iki değerlendiricinin vermiş olduğu etiketlerin uyum oranının %83.4 olduğu görülmüştür. Daha sonra iki değerlendirici bir araya gelerek farklı etiketlenen veriler üzerinde karşılıklı tartışarak birbirini ikna etme yoluyla uyum oranını %96.4'e yükseltmiştir. Üzerinde mutabık kalınamayan tweetler ise üçüncü değerlendiriciye sorulmuş ve en sonunda üçüncü değerlendiricinin verdiği etiketle birlikte oy çoğunluğuna sahip etiket değeri o verinin etiketi olarak atanmıştır. İlk iki değerlendiricinin sınıf etiketleri üzerinde uzlaşmadığı tweetlere ait örnekler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İki değerlendiricinin üzerinde uzlaşmadığı tweetler

Tweet
<i>Adana'da Suriyeli çok birine aşık olacam diye korkuyorum çünkü güzeller</i>
<i>İzmir'de denize döktüğümüz Yunanlılardan, Venizelos kolundaki kadın kim? bilen varmı? <a href="https://t.co/cq3A3LuPSe">https://t.co/cq3A3LuPSe</a></i>
<i>Birader beni karıştırma bu işlere. zaten Yahudi zannediyolar isimden ötürü ☹️ <a href="https://t.co/pg8oSgvSmB">https://t.co/pg8oSgvSmB</a></i>
<i>Bugün müşteriye ilahiyat fakültesi karşısından ev gösterdim. Bu muhitten nefret ediyorum işim olmasa durmam buralarda dedi. Neden dedim. İlahiyatı sevmiyorum dedi. Yahudi misiniz diye sordum. Yok canım Elhamdülillah müslümanım dedi. 3-5 saniye sessizce bakışıp dağıldık.</i>
<i>1891 ABD de her yıl 6000 kadın Doğumdan sonra ölüyor kafayı buna takan Dr lee bir buluşuyla 1 e düşürüyor ama hristiyan. Tanrım bu adamı nereye alırsın. ödül mü cezamı verirsin öylesine sordum.</i>

İki değerlendiricinin üzerinde uzlaşmadığı tweetler için üçüncü değerlendiricinin kararı alındıktan sonra veri setinin etiketleme süreci tamamlanmıştır. Veri setinin sınıf dağılımı Tablo 2'deki gibi olmuştur.

Tablo 2. Oluşturulan veri setinin sınıf dağılımı

Etiket	Tweet Sayısı
nefret söylemi	276
saldırgan ifade	60
hiçbiri	664
<b>TOPLAM</b>	<b>1000</b>

## 2.2. Önişleme ve Özellik Çıkarımı

Önişleme adımları olarak veri setindeki tüm metinler küçük harfe çevrilmiş, URL adresleri ve kullanıcı adları temizlenmiştir. Karakter ngram özellikleri çıkarılırken, sınıflandırma başarısına olumlu etki edeceği düşünülen nokta, ünlem, soru işareti, tek tırnak ve çift tırnak haricindeki diğer noktalama işaretleri de silinmiş, fazladan boşluklar tek boşluğa indirilmiştir. Yazım hataları öncelikle Google Dokümanlar servisinin Yazım Denetimi seçeneği ile otomatik olarak düzeltilmiş, daha sonra

bütün tweetler gözden geçirilerek otomatik olarak düzeltilmeyen yazım hatalarının elle düzeltimi yapılmıştır. Veri setinin önişleme adımlarından sonraki son hali web tabanlı bir depolama servisi olan Github'da<sup>+++</sup> açık kaynak olarak sunulmuştur.

Kelimelerin morfolojik analizinde açık kaynak kodlu Türkçe doğal dil işleme kütüphanesi olan Zemberek (Akın & Akın, 2007) tercih edilmiştir. Özellik kümeleri olarak karakter bigram ve trigramları, kelime unigram, bigramları ve tweete özgü özellikler çıkarılarak kullanılmıştır. Kelime ngramları için, Zemberek ile kök ve eklerine ayrılan kelimelerin çekim ekleri atılarak kök ve yapım eklerinden oluşan gövdeleri elde edilmiş ve kelime gövdeleri terim olarak kullanılmıştır. Karakter ngramları bulunurken veriler olduğu gibi işlenmiş, kelime ngramları bulunurken ise verilerdeki tüm noktalama işaretleri temizlenerek işleme alınmıştır.

Bu aşamada elde edilen özellik kümelerindeki özellik sayıları Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3. Özellik kümeleri ve sayıları

Özellik Kümesi	Özellik Sayısı
Karakter bigram	1162
Karakter trigram	7686
Kelime unigram	4838
Kelime bigram	18166
Tweete özgü özellikler	6
<b>TOPLAM</b>	<b>31858</b>

Tweete özgü özellik kümesinde o tweetin beğeni sayısı, retweet sayısı, tweeti atan kişinin toplam paylaşım sayısı, takipçi sayısı, takip ettiği kişi sayısı ve toplam beğeni sayısı özellikleri mevcuttur.

## 2.3. Özellik Seçimi ve Sınıflandırma

Sınıflandırma deneyleri için WEKA aracı kullanılmıştır. Hem sınıflandırma başarısını yükseltmek hem de deney sürelerini kısaltarak daha hızlı sonuç elde edebilmek için özellik kümeleri üzerinde özellik seçimi yapılmıştır. Özellik seçimi aşamasında WEKA'nın içerisinde hazır olarak tanımlanmış olan *InfoGainAttributeEval* fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu fonksiyon, bilgi kazancı değerlerini hesaplayarak özelliklerin değerini belirlemektedir<sup>+++</sup>.

Sınıflandırma aşamasında ise öncelikle özellik kümelerinin çeşitli kombinasyonları oluşturulmuş, özellik seçimi fonksiyonu ile bu kümelerden ilk 1000 özellik seçilmiş ve daha sonra Naive Bayes (NB), Karar Ağacı (J48), SMO ve Rastgele Orman (RF) gibi farklı makine öğrenmesi algoritmalarıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 10-katlı çapraz doğrulama uygulanmış ve veri setinde sınıf dağılımı eşit olmadığı için başarı ölçütü olarak ise F-ölçüm değeri esas alınmıştır.

<sup>+++</sup> <https://github.com/imayda/turkish-hate-speech-dataset-1>

<sup>+++</sup> <https://weka.sourceforge.io/doc.dev/weka/attributeSelection/InfoGainAttributeEval.html>

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çeşitli özellik kümesi kombinasyonları içinden özellik seçimi yapılarak elde edilen 1000'er özellik üzerinde farklı makine öğrenmesi algoritmalarıyla gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Seçilen 1000'er özellik ile farklı makine öğrenmesi algoritmalarının sınıflandırma performansı

Özellik kümesi	Algoritma performansı (F-ölçüm)			
	NB	J48	SMO	RF
Kelime unigram	%68,5	%66,7	%71,1	%69,1
Kelime bigram	%56,8	-	%68,2	%68,0
Karakter bigram	%61,2	%58,1	%60,5	-
Karakter trigram	%65,8	%65,2	%67,3	%66,9
Kelime bigram +Karakter trigram	%69,0	%65,7	%75,8	%69,0
Kelime unigram +Karakter trigram	%71,2	%65,1	%73,1	%68,4
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram	%70,7	%65,5	<b>%77,8</b>	%69,8
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter bigram +Karakter trigram	%70,4	%65,6	%73,8	%68,6
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram +Tweet özellikleri	%71,3	%66,3	<b>%77,8</b>	%69,6

Tablo 4'teki sonuçlara bakıldığında bazı deneylerde kötü sınıflandırmadan dolayı duyarlılık (recall) veya kesinlik (precision) değerleri hesaplanmadığı için F-ölçüm yüzdeleri de hesaplanamayıp, deney sonucu olarak “-” yazılmıştır. Deney sonuçlarında genel olarak SMO sınıflandırıcının diğer makine öğrenmesi yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir.

Özellik kümelerinin tek başlarına kullanıldığında karakter bigramları genelde diğer özellik kümelerine göre daha kötü sonuç vermiştir. En yüksek F-ölçüm değerinin alındığı, kelime unigram, kelime bigram ve karakter trigramların kullanıldığı deneyden sonra özellik kümesine karakter bigramların dâhil edilmesi genel olarak başarıyı düşürmüştür. Bu sonuçlara göre karakter bigramların kullanılmasının sınıflandırma başarısında olumsuz etkisi olduğu söylenebilir.

Diğer yandan, tweete özgü özelliklerin, en yüksek F-ölçüm değerinin alındığı deneyin başarı oranını artırmaya yönelik bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Tweete özgü özellik kümesinde çok az sayıda özellik bulunmasının bu etkinin sınırlı kalmasında temel sebep olduğu düşünülebilir.

Farklı makine öğrenmesi algoritmalarıyla yapılan deneylerde en iyi sonucun SMO sınıflandırıcı ile alınması üzerine, bu sınıflandırıcı ile farklı testler de gerçekleştirilmiştir. Farklı sayılarda özellik seçiminin başarı oranı üzerindeki etkisini görmek amacıyla, çeşitli özellik kombinasyonları üzerinde farklı

sayılarda özellik seçilerek SMO sınıflandırıcı ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Özellik kümeleri üzerinde farklı sayıda özellik seçimi yapılarak SMO ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları

Özellik kümesi	SMO performansı (F-ölçüm)				
	İlk 3000 özellik	İlk 2000 özellik	İlk 1000 özellik	İlk 600 özellik	İlk 300 özellik
Kelime unigram	%67,1	%67,1	%71,1	%71,5	%72,4
Kelime bigram	%66,4	%66,7	%68,2	%68,4	%67,7
Karakter trigram	%64,8	%68,2	%67,3	%70,2	%74,7
Kelime bigram +Karakter trigram	%73,4	%75,6	%75,8	%76,1	%76,5
Kelime unigram +Karakter trigram	%71,2	%71,6	%73,1	%75,0	%77,5
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram	%72,2	%75,6	%77,8	<b>%79,7</b>	%77,5
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram +Tweet özellikleri	%71,8	%75,5	%77,8	<b>%79,9</b>	%77,4

Farklı sayıda özellik seçilerek yapılan deneylerde en iyi sonuçlar, %80'e yakın F-ölçüm değerleri ile 600 özelliğin seçildiği deneyde alınmıştır. Bu sonuçlar, onbinlerce sayıda özellik barındıran özellik kümelerinde özellik seçimi yapılarak daha az sayıda ve daha anlamlı özelliklerle daha başarılı sonuçlar alındığını bir kez daha göstermektedir. En yüksek F-ölçüm değerinin elde edildiği deneyin sonucunda oluşan karmaşıklık matrisi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Üç sınıflı veri setinde en yüksek F-ölçüm değerinin alındığı deneye ait karmaşıklık matrisi

	SINIF	TAHMİN		
		Nefret	Saldırgan	Hiçbiri
GERÇEK	Nefret	175	3	98
	Saldırgan	9	18	33
	Hiçbiri	33	14	617

Literatürde yer alan birçok çalışmada yapıldığı gibi saldırgan ifadeler de nefret söylemi şeklinde değerlendirildiği durumda iki sınıflı hale gelen veri seti üzerinde yapılacak deneylerin başarı oranlarını görebilmek amacıyla, üç sınıflı veri setindeki Saldırgan veriler Nefret verisine dâhil edilmiş ve SMO sınıflandırıcı ile tekrar deney yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları Tablo 7'deki gibidir.

Tablo 7. Nefret ve saldırgan veriler birleştirilerek iki sınıflı veri seti üzerinde SMO ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları

Özellik kümesi	SMO performansı (F-ölçüm)				
	İlk 3000 özellik	İlk 2000 özellik	İlk 1000 özellik	İlk 600 özellik	İlk 300 özellik
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram	%78,5	%80,6	%82,3	%81,8	%79,0
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram +Tweet özellikleri	%78,6	%80,2	<b>%83,1</b>	%82,4	%78,5

İki sınıflı veri seti üzerinde en yüksek F-ölçüm değeri %83,1 ile kelime unigram, kelime bigram, karakter trigram ve tweete özgü özelliklerin bir araya getirilip, özellik seçimi ile ilk 1000 özelliğin seçildiği deney sonucunda alınmıştır. Bu deneyin karmaşıklık matrisi Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İki sınıflı veri setinde en yüksek F-ölçüm değerinin alındığı deneye ait karmaşıklık matrisi

GERÇEK	TAHMİN		
	SINIF	Nefret + Saldırgan	Hiçbiri
Nefret + Saldırgan		212	124
Hiçbiri		38	626

Son olarak, *Saldırgan* etiketli verilerin veri setinden çıkarılması durumunda, sadece *Nefret* ve *Hiçbiri* etiketli veriler üzerinde sınıflandırma başarısını görebilmek için 940 tweetten oluşan (276 *Nefret*, 664 *Hiçbiri*) veri seti üzerinde son testler tekrar yapılmıştır. Bu testlerde elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur. .

Tablo 9. Saldırgan veriler veri setinden çıkartılarak iki sınıflı veri seti üzerinde SMO ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları

Özellik kümesi	SMO performansı (F-ölçüm)				
	İlk 3000 özellik	İlk 2000 özellik	İlk 1000 özellik	İlk 600 özellik	İlk 300 özellik
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram	%81,6	%84,9	%85,4	%84,6	%84,8
Kelime unigram +Kelime bigram +Karakter trigram +Tweet özellikleri	%82,0	%84,6	<b>%86,4</b>	%85,2	%84,8

Tablo 9'da görüldüğü gibi, *Saldırgan* etiketli veriler çıkartıldığında iki sınıflı veri setinde en yüksek F-ölçüm değeri %86,4 olarak alınmıştır. En iyi sonuç veren bu testin sonucuna ait karmaşıklık matrisi Tablo 10'daki gibidir.

Tablo 10. 940 tweetten oluşan iki sınıflı veri setinde en yüksek F-ölçüm değerinin alındığı deneye ait karmaşıklık matrisi

GERÇEK	TAHMİN		
	SINIF	Nefret	Hiçbiri
Nefret		183	93
Hiçbiri		30	634

#### 4. Sonuç

Sosyal medya kullanımının artışına paralel olarak çevrimiçi platformlarda daha fazla görülmeye başlanan nefret söylemiyle mücadelede otomatik tespit sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkçe üzerine kapsamlı bir nefret söylemi tespiti çalışması ise henüz ortaya konmamıştır. Bu yapılan çalışma bu ihtiyaca yönelik olarak sunulmuştur.

Öncelikle farklı hedef gruplara dair 1000 tweet toplanmış ve iki değerlendirici tarafından ayrı ayrı etiketlenmiştir. Farklı etiketlenen tweetler üzerinde değerlendiriciler kendi aralarında anlaşamadıklarında üçüncü değerlendiriciye başvurulmuş ve verilerin son etiketi çoğunluğun oyuna göre atanmıştır. Bu veri seti gelecek çalışmalarda kullanılabilmesi için açık kaynak olarak sunulmuştur. Bu veri seti kamuya açık olarak paylaşılan ilk Türkçe nefret söylemi veri seti olma niteliğindedir.

Kelime ve karakter ngram özellikleriyle tweete özgü özelliklerin farklı kombinasyonları oluşturularak elde edilen veri kümelerinden, bilgi kazancına dayalı özellik seçimi yöntemiyle ilk 1000'er özellik seçilmiş ve farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde en yüksek F-ölçüm değeri %77,8 ile SMO sınıflandırıcının kullanıldığı testlerde alınmıştır. Bu aşamadaki deneylerde karakter bigram özelliklerinin kullanılmasının genel olarak başarıya olumsuz etki ettiği, tweete özgü özelliklerin etkisinin ise sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra, özellik seçimi işleminde farklı sayılarda özellik seçilmesinin başarıya etkisini görmek amacıyla yapılan testlerde ilk 600 özelliğin kullanıldığı deneylerde %79,9 F-ölçüm değeri ile en yüksek başarı oranına ulaşılmıştır.

SMO sınıflandırıcı ile gerçekleştirilen sonraki testlerde, *Saldırgan* ve *Nefret* sınıfına ait verilerin bir arada değerlendirildiği iki sınıflı veri seti üzerinde en yüksek F-ölçüm değeri %83,1 olarak; *Saldırgan* sınıfına ait verilerin tamamen çıkartıldığı 940 tweetlik iki sınıflı veri seti üzerinde ise en yüksek F-ölçüm değeri %86,4 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma nefret söylemi tespitinde hedef grupların çeşitliliği bakımından Türkçe üzerine yapılan ilk kapsamlı çalışma olsa da, çalışmada kullanılan veri setinin boyutunun düşük olduğu söylenebilir. Ayrıca, veri setinin 1000 örnek gibi az sayıda tweetten oluşmasının, gerçekleştirilen testlerde başarı oranının yüksek çıkmamasında en önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden gelecek çalışmalarda veri seti boyutunun 5000-10000 arasına yükseltilmesi hedeflenmektedir.

Veri seti boyutunun artırılmasını yanı sıra, deneylerde farklı sınıflandırma algoritmalarının ve özellik seçimi yöntemlerinin denenmesi, ayrıca Doc2Vec, Glove, BERT gibi kelime yerleştirme (word embedding) algoritmalarından elde edilen vektör değerleri ile farklı özellik kümeleri üzerinde sınıflandırma testlerinin yapılması planlanmaktadır.

## 5. Teşekkür

Çalışmada kullanılan veri setinin etiketlenmesi sürecinde sunduğu katkılardan ötürü Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (çift anadal) öğrencisi İrem ATILGAN'a teşekkür ediyoruz.

## Kaynakça

- Akın, M. D., & Akın, A. A. (2007, Ağustos). Türk Dilleri İçin Açık Kaynaklı Doğal Dil İşleme Kütüphanesi: Zemberek. *Elektrik Mühendisliği*, (431), 38-44.
- Alp, H. (2016). Çingenelere Yönelik Nefret Söyleminin Ekşi Sözlük'te Yeniden Üretilmesi. *Ankara Üniversitesi İLEF Dergisi*, 3(2), 143-172. <https://doi.org/10.24955/ilef.305520>
- Alp, H. (2018). Suriyeli Sığınmacılara Yönelik Ayrımcı ve Ötekileştirici Söylemin Yerel Medyada Yeniden Üretilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 5(15), 22-37.
- Arcan, H. E., (2013). Interrupted Social Peace: Hate Speech in Turkish Media. *The IAFOR Journal of Media, Communication and Film*, 1(1), 43-56. <https://doi.org/10.22492/ijmcf.1.1.04>
- Çelik, E. (2013). Nefret Söylemi İfade Özgürlüğünün Neresinde?. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 4(2), 205-239. <https://doi.org/10.21492/inuhfd.239845>
- Djuric, N., Zhou, J., Morris, R., Grbovic, M., Radosavljevic, V., & Bhamidipati, N. (2015, Mayıs). *Hate Speech Detection with Comment Embeddings*. Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web (WWW'15) (pp. 29-30). <https://doi.org/10.1145/2740908.2742760>
- Fortuna, P., & Nunes, S. (2018, Temmuz). A Survey on Automatic Detection of Hate Speech in Text. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(4). <https://doi.org/10.1145/3232676>
- Gagliardone, I., Gal, D., Alves, T., & Martinez, G. (2015). *Countering Online Hate Speech*. Paris: UNESCO Publishing.
- Gelber, K., & McNamara, L. (2016). Evidencing the harms of hate speech. *Social Identities*, 22(3), 324-341. <https://doi.org/10.1080/13504630.2015.1128810>
- İnsan Hakları Yüksek Komiserliği Ofisi, Birleşmiş Milletler. (1976, Mart 23). *International Covenant on Civil and Political Rights*. [https://www.ohchr.org/en/professional\\_interest/pages/ccpr.aspx](https://www.ohchr.org/en/professional_interest/pages/ccpr.aspx)
- Kaya, S. (2018). Nefret Söyleminin Üretimi Ve Nefret Suçlarının Dolaşıma Girmesinde Facebook'un Etkisi ve Facebook Kullanım Pratiklerine Bakış. *Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 5(28), 3263-3275. <https://doi.org/10.26450/jshsr.735>
- Kwok, I., & Wang, Y. (2013, Temmuz). *Locate the Hate: Detecting Tweets against Blacks*, Proceedings of the Twenty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence (pp. 1621-1622).
- Malmasi, S., & Zampieri, M. (2017, Eylül). *Detecting Hate Speech in Social Media*. Proceedings of the International Conference Recent Advances in Natural Language Processing (pp. 467-472). [http://dx.doi.org/10.26615/978-954-452-049-6\\_062](http://dx.doi.org/10.26615/978-954-452-049-6_062)
- Nockleby, J. T. (2000). Hate Speech. In *Encyclopedia of the American Constitution* (2nd ed.). Macmillan Reference USA.

- Razavi, A. H., Inkpen, D., Uritsky, S., & Matwin, S. (2010). Offensive Language Detection Using Multi-level Classification, *The 23th Canadian Conference on Artificial Intelligence* (pp. 16-27). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13059-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13059-5_5)
- Research Centre on Security and Crime (RiSSC). (2017). *An Overview on Hate Crime and Hate Speech in 9 EU Countries*.
- Schmidt, A., & Wiegand, M. (2017). *A Survey on Hate Speech Detection using Natural Language Processing*. Proceedings of the Fifth International Workshop on Natural Language Processing for Social Media (pp. 1-10). <http://dx.doi.org/10.18653/v1/W17-1101>
- Şahi, H., Kılıç, Y., & Sağlam, R. B. (2018). *Automated Detection of Hate Speech towards Woman on Twitter*. Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK'18) (pp. 533-536). <https://doi.org/10.1109/UBMK.2018.8566304>
- Vardal, Z. B. (2015). Nefret Söylemi ve Yeni Medya. *Maltepe Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, 2(1), 132-156.
- Waldron, J. (2014). *The Harm in Hate Speech*. Harvard University Press.
- Warner, W., & Hirschberg, J. (2012, Haziran). *Detecting Hate Speech on the World Wide Web*, Proceedings of the 2012 Workshop on Language in Social Media (pp. 19-26).
- Waseem, Z. (2016, Kasım). *Are You a Racist or Am I Seeing Things? Annotator Influence on Hate Speech Detection on Twitter*. Proceedings of EMNLP 2016 Workshop on Natural Language Processing and Computational Social Science (pp. 138-142). <http://dx.doi.org/10.18653/v1/W16-5618>
- Weber, A. (2009). *Manual on hate speech*. Council of Europe Publishing.



# Atıksulardan Zn Gideriminin Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Modellenmesi

Fatma Erdem

Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6014-6664), [fatmaduran82@gmail.com](mailto:fatmaduran82@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903854)

**ATIF/REFERENCE:** Erdem, F. (2021). Atıksulardan Zn Gideriminin Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 335-342.

## Öz

Yapılan bu çalışmada Ankara Sanayi Odası 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisi için Zn giderim tahmini YSA ile gerçekleştirilmiştir. Toksik olup ağır metal kirliliği kapsamında atıksularda oldukça sık karşılaşılan çinkonun arıtım sonrası belirlenen limite indirilmesi oldukça önemlidir. YSA ile modelleme çalışmalarında giriş parametresi olarak giriş pH, Zn ve Fe konsantrasyonu, AKM ( Askıda Katı Madde) ve TKM (Toplam Katı Madde) seçilirken çıkış parametresi olarak Zn çıkış konsantrasyonu seçilmiştir. Verilerin eğitimi Levenberg–Marquardt ileri besleme algoritması ile yapılmış olup deneysel veriler %75 eğitim, %15 validasyon ve %15 test olarak ayrılmıştır. Çalışmada giriş parametreleri için farklı kombinasyonların oluşturduğu senaryolar denenmiş ve sisteme ait maksimum devir (epoch) değeri, eğitim, validasyon ve tüm biyosorpsiyon sistemi için R ve MSE değeri belirlenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aktivasyon fonksiyonunun sonuçlar üzerine etkisini görebilmek için tansig, pürelin ve logsis transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda deneysel ve model tahmini çıkış akımındaki Zn konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında, YSA ile sistemin iyi bir şekilde modellendiği ve modelin iyi bir tahmin yeteneğine sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu, Modelleme, Çinko, Yapay Sinir Ağı.

## Modeling of Zn Removal from Wastewater with Artificial Neural Network (ANN)

### Abstract

In this study, Zn removal estimation for the Ankara Chamber of Industry 2nd and 3rd Organized Industrial Zone wastewater treatment plant was performed by Artificial Neural Network (ANN). It is very important to reduce the zinc, which is toxic and frequently encountered in wastewater within the scope of heavy metal pollution, to the limit determined after treatment. In the modeling studies, pH, Zn and Fe concentration, SS (Suspended Solids) and TSS (Total Suspended Solids) were selected as input parameters, while Zn output concentration was chosen as the output parameter. The training of the data was done with the Levenberg–Marquardt feed forward algorithm and the experimental data were divided into 75% training, 15% validation and 15% test. In the study, scenarios created by different combinations for input parameters were tried and the results obtained by determining the maximum cycle (epoch) value of the system, training, validation and R and MSE values for the whole biosorption system were compared. In order to see the effect of activation function on the results, tansig, purelin and logsis transfer functions were used. As a result of the study, when the Zn concentration values in the experimental and the model estimated output current were compared, it was seen that the system was well modeled with ANN and the model has a good prediction ability.

**Keywords:** Wastewater, Modeling, Zinc, Artificial Neural Network.

## 1. Giriş

Atık sudaki en yaygın kimyasal kirleticiler arasında ağır metal katyonlar, hidrokarbonlar, pestisitler, azotlu bileşikler, farmasötik kalıntılar, deterjanlar ve fosfor ile hayvan ve insan vücut atıklarından kaynaklı mikrobiyolojik kontaminasyon bulunmaktadır (Agoro vd., 2020).

Bu kirleticilerden güçlü bir etkiye sahip ağır metaller nispeten yüksek bir yoğunluğa sahip olup düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirli olan herhangi bir metalik elementi ifade etmektedir. Ağır metal atıklar son yıllarda atık suya deşarjı, akut toksisiteleri, biyolojik olarak parçalanamazlıkları ve yüksek konsantrasyonlarda birikmeleri nedeniyle kaçınılmaz olarak küresel su ortamında metalik maddelerin artmasına neden olmaktadır (Pugazhenthiran ve Anandan, 2015). Bu durum sonucu su alıcı tüm canlılar için çeşitli sorunlar oluşabilmekte insanlarda kanser, sinir sisteminde hasar ve en aşırı örneklerde de ölüme sebep olabilmektedir (P. Prabhu ve P. Prabhu, 2018). İnsan sağlığı için belirli bir düzeyde çinko içeriği gerekli iken yüksek konsantrasyonlarda da verdiği zarar oldukça fazladır (John vd., 2016).

Çinko, parlak mavimsi beyaz, oldukça reaktif bir metaldir. Çeliğin galvanizlenmesinde, bazı alaşımların hazırlanmasında, gübre, böcek ilaçları, elektrik pillerinde negatif plaka imalatına kullanılmaktadır. Pigment olarak çinko plastik, kozmetik, fotokopi kağıdı, duvar kağıdı, baskı mürekkepleri vb. ürünlerde kullanılırken, kauçuk üretiminde üretim sırasında katalizör ve nihai üründe ısı dağıtıcı olarak görev yapmaktadır (Raut vd., 2012; Mishra, 2014).

Çinko sahip olduğu bu geniş kullanım alanı dolayısı ile atık suların uzaklaştırılması, endüstride geniş bir yelpazede çinko varlığı nedeniyle geniş bir araştırma alanıdır ve literatürde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım yöntemleri çalışılmıştır (Kulkarni, 2015). Zn arıtımı giriş suyundaki çinko konsantrasyonu nispeten düşükse, çinkonun (özellikle çözünmüş çinkonun) geleneksel aktif çamur arıtımı ile çıkarılmasının zorluğunu ortaya koymuştur (Yamagata vd., 2009). Bu nedenle atıksulardan Zn giderimi özel stratejilerin gerekli olduğu bir arıtım işlemidir.

Atıksu arıtma süreçleri, içeri giren atık su akış hızı, konsantrasyonu ve bileşimindeki büyük farklılıklar nedeniyle doğal olarak dinamiktir. Kentleşme ve sanayiye bağlı artan atıksu oluşumu daha etkin ve verimli çalışan arıtma tesislerine ihtiyacı artırmaktadır. Ancak birçok atıksu arıtma tesisinin tasarım ve işletme hatalarından dolayı tam verimle çalışmaması söz konusudur. Mevcut tesislerin mevzuatın zorunlu kıldığı deşarj standartlarını sağlayamaması veya işletme maliyetlerinin yüksek olması iyileştirme ve optimizasyon ihtiyacını beraberinde getirmekte ve bu nedenle atıksu arıtım tesislerinde modelleme çalışmaları önem kazanmaktadır (Çınar ve Yılmaz, 2005; Philips vd., 2005).

Modelleme çalışmalarında yer alan akıllı yöntemler ile arıtım tesisleri gibi karmaşık prosesler modellenabilmektedir. Bulanık mantık ve istatistiksel süreç kontrolü, tesisin geçmiş işletim verilerinden yararlanılarak kullanılmaktadır ancak örneklerden öğrenebilen YSA'nın karşılaşılan birçok ek sorun için daha iyi çözüm seçenekleri sunduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür (Boger, 1992; Kırım, 2015).

Literatürde Buaişha ve ark., çinko, nikel ve bakır gibi ağır metallerin atıksudan uzaklaştırılmasında YSA modelini kullanmışlardır. 10 nöronlu gizli katmanda sigmoid transfer fonksiyonu (tansig) ve çıktı katmanında doğrusal transfer fonksiyonu (purelin) kullanarak sırasıyla 0.98, 0.84 ve 0.99 R<sup>2</sup> değeri elde etmişlerdir (Buaişha, 2019). Yıldız çalışmasında fıstık kabuğu ile Ni giderimini gizli katmanda 6 nöronlu üç katmanlı YSA kullanılarak başarıyla tahmin etmiştir (Yıldız, 2018). Nemeçek ve ark., çalışmalarında Rhytidiadelphus squarrosus yosunundan hazırlanan biyosorbent ile Cd, Zn ve Co iyonlarının tekli ve iki bileşenli çözeltilerinden giderimini tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. R<sup>2</sup> = 0.996 ve R<sup>2</sup> = 0.987 değerleri ile YSA'nın sistemi başarılı bir şekilde ifade ettiği görülmüştür (Nemeçek vd., 2014). Alizamir ve ark., Asadabad ovasının yeraltı su kaynaklarındaki As, Pb ve Zn konsantrasyonunu tahmin etmek için ileri beslemeli YSA geliştirmişler ve eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) ile Bayesian düzenleme (BR) algoritmalarını kullanmışlardır. As, Pb ve Zn için R<sup>2</sup> değeri sırasıyla 0.9288, 0.9823 ve 0.8876 olarak bulunmuştur (Alizamir ve Sobhanardakini, 2016). Javan ve ark., çinko giderimi için YSA ve MLP yöntemlerini kullanmış olup YSA'nın R<sup>2</sup> 0.98-1 ve kök ortalama kare hatası RMSE'nin 0.7-0.01 ile sistemi daha iyi modellediği belirlenmiştir (Javan vd., 2019). Fard ve ark., kurşun ve çinkonun yeraltı suyundaki ağır metal dağılımının belirlenmesi için YSA ve MANFIS ile modelleme çalışmaları yapmışlar ve MANFIS modelinin, ağır metallerin yeraltı suyundaki dağılımını yüksek bir doğruluk ve sağlamlıkla tahmin etme potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir (Fard vd., 2017).

Yapılan bu çalışmada Ankara Sanayi Odası 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesi Atık Su arıtma tesisinde gerçekleştirilen Zn giderimi YSA ile incelenmiştir. Tesis giriş ve çıkışında ölçülen pH, TKM, AKM, Fe, Zn gibi parametreler giriş değişkeni olarak sisteme tanımlanırken çıkış akımındaki Zn konsantrasyonu tahmini gerçekleştirilmiştir.

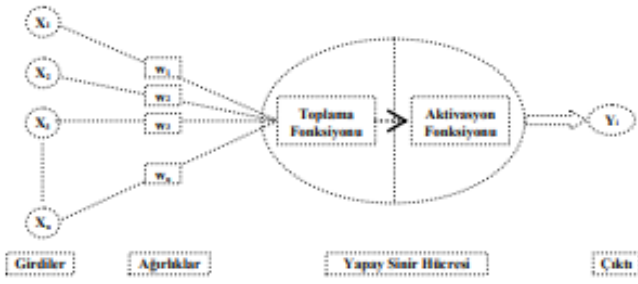
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Bilgisayarlar ve bilgisayar sistemleri yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelirken geçmiş yıllarda sadece hesap yapabilirken ya da veri transferleri gerçekleştirirken kullanılan bilgisayarlar ile artık büyük miktardaki verileri yönetleyen ve bu verileri kullanarak olaylar hakkında yorumlar yapabilen, olaylar arasındaki ilişkiyi çözümlenmiş özellikler kazanmıştır (Ağyer, 2015). YSA çeşitli problemlere çözüm getirmek amacıyla insan beyninin bilgi işleme mekanizmasını taklit ederek geliştirilmiş bilgisayar yazılımlarıdır. İnsan beyni gibi biyolojik bir sinir ağının benzetimiyle oluşturulmuş YSA öğrenme, hafızaya alma ve öğrendiklerini yeni bilgiler üretecek biçimde genelleme, değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koyma yeteneklerine sahiptirler. Milyarlarca birbirine bağlı nörondan oluşan memelilerin beyninin, yüz tanıma, vücut hareket planlaması ve kas aktivitelerinin kontrolü gibi karmaşık ve hesaplama gerektiren görevlerle başa çıkma yeteneğine sahip olduğu iyi bilinmektedir. Şekil 1, bir nöronun hücresel bir yapısını göstermektedir. Nöron yapısından esinlenerek, YSA biyolojik nöron sisteminin öğrenme yeteneğini taklit etmek için geliştirilmiştir. YSA kavramı ilk olarak McCulloch ve Pitts tarafından 1940'larda araştırılmıştır. Temel olarak YSA matematiksel modeli, doğrusal olmayan dinamik kalıpları tahmin etmek için çekici öğrenme yeteneği ve hesaplama gücüne sahip,



giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır (Yazıcı, 2007).



Şekil 1. Yapay sinir hücresi genel yapısı

Gizli katman ve çıktı katmanında bulunan yapay sinir hücrelerinin net girdisi bir önceki katmandaki sinir hücrelerinin çıkışından alınan sayısal verilerin bağlantı ağırlıkları ( $w_i$ ) ile çarpılarak toplama fonksiyonu yardımıyla toplanması ile net çıktı ise hesaplanan net girdi değerinin transfer ya da diğer adıyla aktivasyon fonksiyonu ile işlenmesi ile hesaplanmaktadır (Eren ve Eyüpoğlu, 2011).

## 2.2. Yapay Sinir Ağı Yapılanması

YSA'nın başarılı bir şekilde modelleme işlemini gerçekleştirebilmesi için ağ mimarisi oldukça önem taşımaktadır. Bu yapılanma sırasında öncelikle giriş ve çıkış değerlerinin seçimi önem taşır.

Çıkış değeri modellenmesi amaç edilen ve maksimize edilmeye çalışılan değer olarak seçilirken giriş değişkenleri proses parametrelerinde maksimize edilen değer üzerinde etkisi olduğu belirlenmiş veriler üzerinden seçilir (F. Panchal, M. Panchal, 2014). Gizli katman giriş ve çıkış arasındaki ara katmandır. Aktivasyon fonksiyonu bu gizli katman üzerinde etkilidir ve gizli nöronlardan oluşur. Gizli nöron sayısı belirlenmesinde de genel olarak deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır (Arifin vd., 2019; Gupta ve Raza, 2020). YSA model geliştirme sürecinde diğer bir önemli basamak veri seti bölme işlemidir. Eğitim serisi model parametrelerinin optimizasyonunda kullanılır. Test seti eğitim sırasında çapraz doğrulama yaparak aşırı öğrenme (overfitting) sorununu engeller. Validasyon seti ise eğitilen modelin performansını değerlendirmekte görev alır. 75:15:15, 60:20:20,...gibi farklı oranlar kullanılmakta olup genel olarak veri setinin büyük olduğu sistemlerde 75:15:15 dağılımı tercih edilmektedir (Wu vd., 2012).

## 2.3. Veri normalleştirme

Normalizasyon işlemi YSA analizinde girdi ve çıktı için eğitim ve test basamağından önce yapılması gerekli olup verilere karşılaştırılabilir aralık sağlayarak her bir girdi değişkeninin önemini eşit olarak dağıtılmasını önemli ölçüde etkilemektedir (Akıllı ve Atıl, 2020). Ayarlanmış min. max yöntemi ile Denklem 1'deki gibi ağırların verimliliğini artırmak için 0.1 ile 0.9 aralığında normalize edilerek veri setinin boyutsuz bir form alması sağlanmaktadır (Aksu vd., 2019).

$$X_i = 0.8 \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 0.1 \quad (1)$$

$X_i$  normalize edilecek değer,  $X$  ölçülen değer,  $X_{\min}$   $X$  için en küçük değer,  $X_{\max}$   $X$  için en büyük değer

## 2.4. Zn giderimine Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

Atkısu arıtma tesisine ait giriş ve çıkış akımları için mevcut Zn, Cr, toplam fosfor, COD, SO<sub>4</sub> ve renk gibi çeşitli parametreler temin edilmiş olup Zn giderimi sırasında bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkisini anlamlandırmak için SPSS ile korelasyon analizi yapılmıştır.

YSA yapılanmasında giriş değişkeni olarak pH, giriş Zn ve Fe konsantrasyonu, AKM ve TKM kullanırken çıktı katmanında çıkış akımındaki Zn konsantrasyon değeri tahmin edilmiştir. Sistem parametreleri arasındaki korelasyon değerine göre sisteme girdi olarak farklı senaryolar (Tablo 1) tanımlanmıştır. YSA uygulaması MATLAB R2017a ile Neural Fitting toolbox uygulaması ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. YSA için tanımlanan farklı giriş değişkenleri

Senaryo	Giriş Değişkeni	Çıkış Değişkeni
1	Zn, Fe, pH, AKM, TKM	Zn
2	Zn, Fe, AKM, TKM	Zn
3	Zn, Fe, AKM,	Zn
4	Zn, Fe	Zn
5	Zn	Zn

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Zn giderimi için mevcut verilerin birbirleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacı ile kullanılan SPSS programı sonuçlarını içeren Tablo 2 incelendiğinde Zn ile Cr, toplam fosfor, COD, SO<sub>4</sub> ve renk parametrelerinin negatif ilişkili olduğu görülürken Zn'nin pozitif korelasyon değerine sahip olduğu pH, TKN, TKM, Zn ve Fe konsantrasyonu giriş verisi olarak YSA sistemine tanımlanmıştır. Ayrıca değişkenlere ait standart sapma, minimum, maksimum, ortalama değerlerde SPSS aracılığı ile hesaplanmıştır (Tablo 3).

*Tablo 2. Pearson korelasyon katsayısının parametreler arası sonuçları*

**Correlations**

		Zn	Fe	Cr	TKN	Tfosfor	COD	pH	AKM	SO4	Renk	İletkenlik
Zn	Pearson Correlation	1	<b>,779**</b>	-,235	<b>,168</b>	-,160	-,037	<b>,115</b>	<b>,444**</b>	-,071	-,089	-,051
	Sig. (2-tailed)		,000	,144	,300	,324	,819	,479	,004	,663	,584	,753
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Fe	Pearson Correlation	<b>,779**</b>	1	-,142	,157	-,093	-,210	,077	<b>,375*</b>	-,193	,097	-,077
	Sig. (2-tailed)	,000		,382	,334	,570	,193	,636	,017	,232	,551	,638
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Cr	Pearson Correlation	-,235	-,142	1	,093	,209	-,072	,251	,073	-,059	-,050	,014
	Sig. (2-tailed)	,144	,382		,568	,195	,658	,118	,656	,715	,762	,929
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
TKN	Pearson Correlation	,168	,157	,093	1	-,102	-,006	-,071	<b>,355*</b>	,136	,278	-,115
	Sig. (2-tailed)	,300	,334	,568		,531	,971	,661	,025	,404	,082	,478
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Tfosfor	Pearson Correlation	-,160	-,093	,209	-,102	1	,021	-,092	-,124	-,065	-,254	,179
	Sig. (2-tailed)	,324	,570	,195	,531		,899	,571	,447	,692	,114	,268
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
COD	Pearson Correlation	-,037	-,210	-,072	-,006	,021	1	<b>,394*</b>	,293	,024	<b>,351*</b>	-,282
	Sig. (2-tailed)	,819	,193	,658	,971	,899		,012	,066	,882	,026	,078
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	Pearson Correlation	,115	,077	,251	-,071	-,092	<b>,394*</b>	1	<b>,352*</b>	<b>-,407**</b>	,252	-,109
	Sig. (2-tailed)	,479	,636	,118	,661	,571	,012		,026	,009	,117	,503
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AKM	Pearson Correlation	<b>,444**</b>	<b>,375*</b>	,073	<b>,355*</b>	-,124	,293	<b>,352*</b>	1	-,037	,297	-,184
	Sig. (2-tailed)	,004	,017	,656	,025	,447	,066	,026		,823	,063	,256
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
SO4	Pearson Correlation	-,071	-,193	-,059	,136	-,065	,024	<b>-,407**</b>	-,037	1	,005	,187
	Sig. (2-tailed)	,663	,232	,715	,404	,692	,882	,009	,823		,976	,247
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Renk	Pearson Correlation	-,089	,097	-,050	,278	-,254	<b>,351*</b>	,252	,297	,005	1	-,068

Sig. (2-tailed)	,584	,551	,762	,082	,114	,026	,117	,063	,976		,675
N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
İletkenlik											
Pearson Correlation	-,051	-,077	,014	-,115	,179	-,282	-,109	-,184	,187	-,068	1
Sig. (2-tailed)	,753	,638	,929	,478	,268	,078	,503	,256	,247	,675	
N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

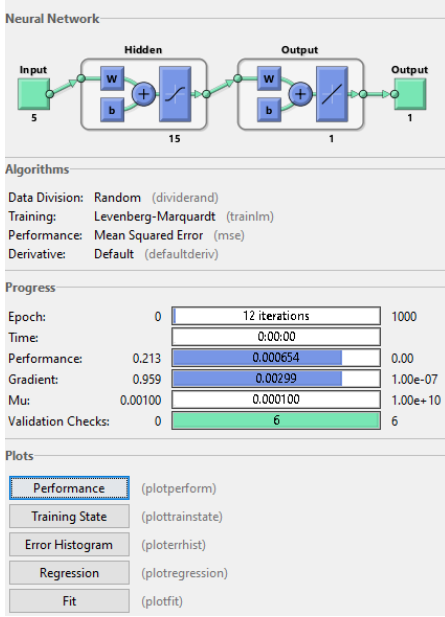
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tablo 3. Giriş parametrelerinin istatistiksel analizi

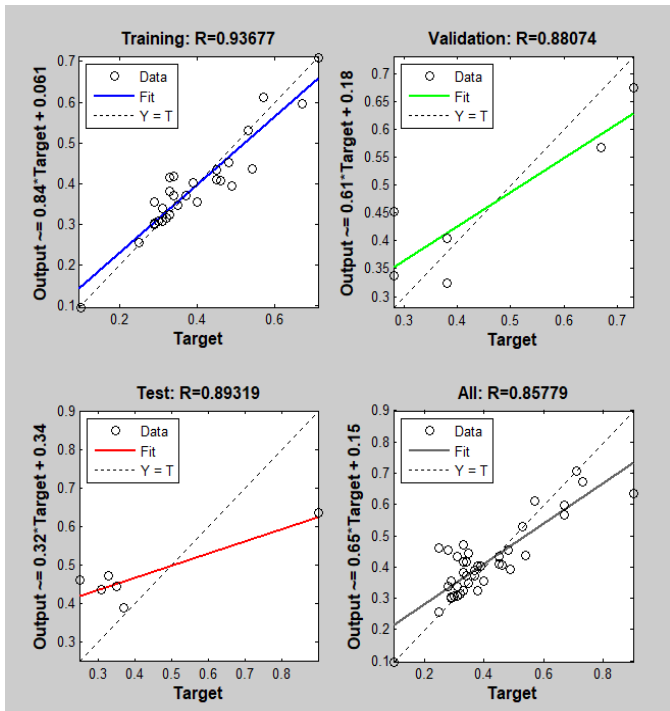
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Zn	40	,25	1,57	,6649	,29102
Fe	40	,83	8,70	3,1550	1,98490
Cr	40	,02	82,00	2,1947	12,94238
TKN	40	14,14	55,41	34,4718	12,28422
Tfosfor	40	1,25	8,79	4,2373	2,49596
COD	40	71,76	869,69	368,4923	176,27026
pH	40	7,20	9,75	8,1660	,41393
AKM	40	15,00	530,00	179,6022	108,88258
SO4	40	106,60	2880,00	344,5256	484,09824
Renk	40	43,91	761,53	147,1548	157,20483
İletkenlik	40	1600,00	3900,00	2996,2750	421,63376
Valid N (listwise)	40				

Sistem için transfer fonksiyonu olarak tansig fonksiyonu seçilmiş olup gizli nöron sayısı deneme yanılma yöntemi ile 15 olarak belirlenmiştir.



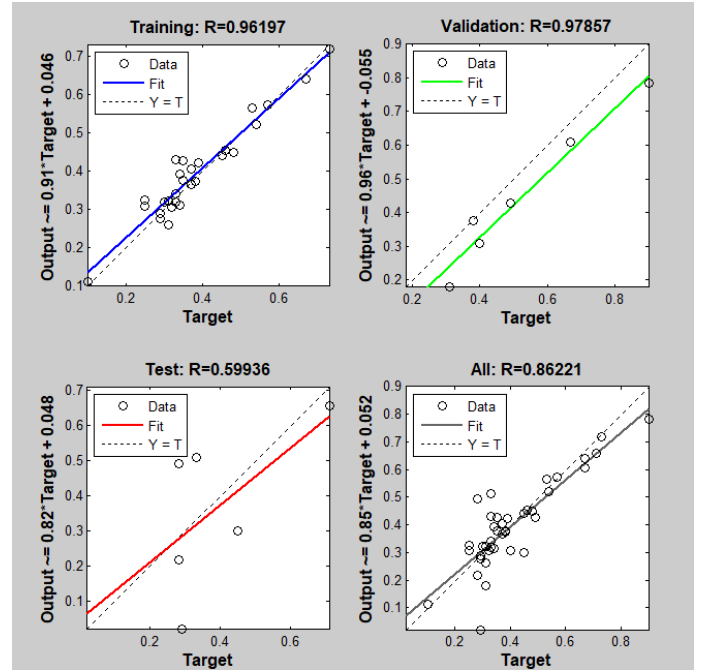
Şekil 2. YSA topolojisi

Senaryo 1: Sisteme Zn, Fe, TKN, pH ve AKM girdi değişken olarak tanımlandığında 12 iterasyon sonucunda R değeri 0.85 olarak bulunurken MSE değeri eğitim, validasyon ve test için  $2.05100e-3$ ,  $8.42047e-3$ ,  $2.65362e-2$  olarak belirlenmiştir.



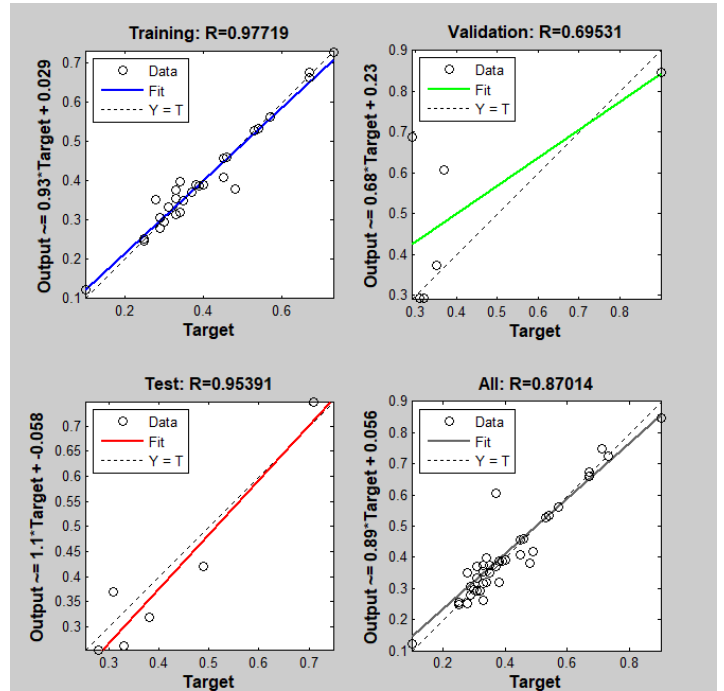
Şekil 3. YSA tahmin model grafiği (Zn, Fe, TKN, pH ve AKM girdi değişkenleri için)

Senaryo 2: Sisteme Zn, Fe, TKN ve AKM girdi değişken olarak tanımlandığında 16 iterasyon sonucunda R değeri 0.86 olarak bulunurken MSE değeri eğitim, validasyon ve test için  $1.38925e-3$ ,  $7.82805e-3$ ,  $2.98836e-2$  olarak belirlenmiştir



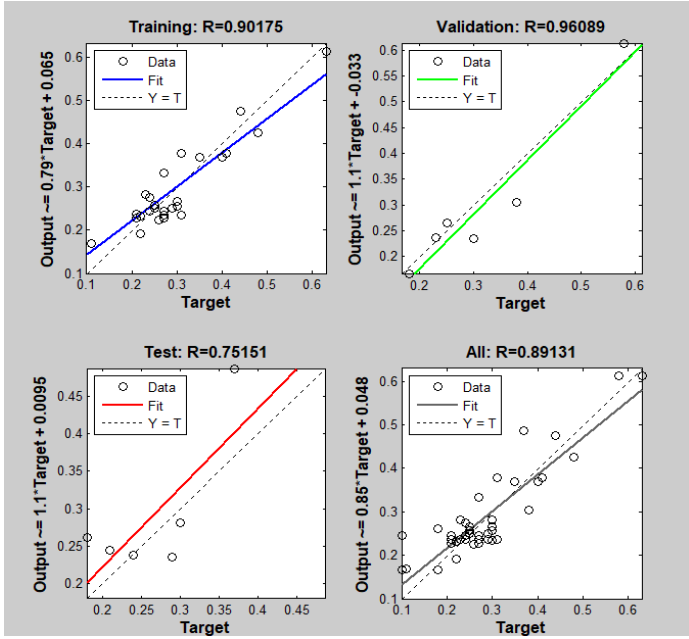
Şekil 4. YSA tahmin model grafiği (Zn, Fe, TKN ve AKM girdi değişkenleri için)

Senaryo 3: Sisteme Zn, Fe ve AKM girdi değişken olarak tanımlandığında 16 iterasyon sonucunda R değeri 0.87 olarak bulunurken MSE değeri eğitim, validasyon ve test için  $9.04752e-4$ ,  $3.62391e-2$ ,  $3.17289e-3$  olarak belirlenmiştir.



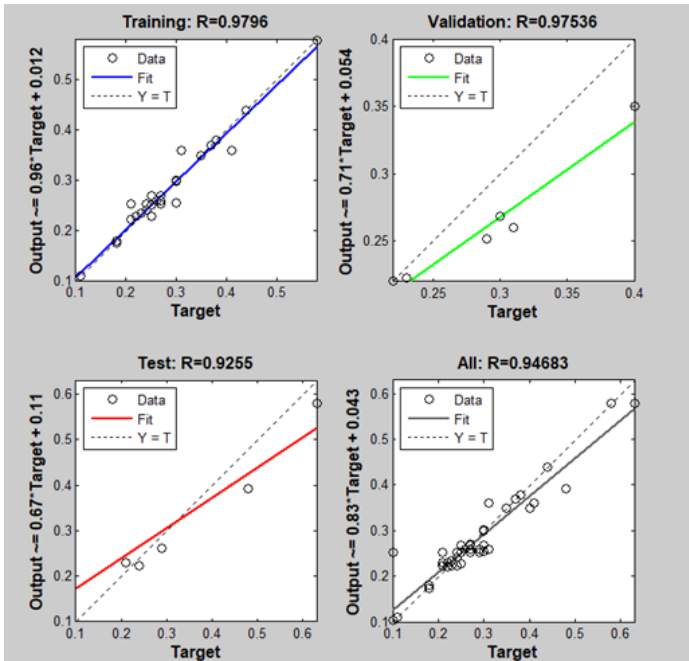
Şekil 5. YSA tahmin model grafiği (Zn, Fe ve AKM girdi değişkenleri için)

Senaryo 4: Sisteme Zn ve Fe girdi değişkeni olarak tanımlandığında 7 iterasyon sonucunda R değeri 0.89 olarak bulunurken MSE değeri eğitim, validasyon ve test için  $2.33515e-3$ ,  $1.92133e-3$ ,  $4.14597e-3$  olarak belirlenmiştir



Şekil 6. YSA tahmin model grafiği (Zn ve Fe girdi değişkenleri için)

Senaryo 5: Sisteme Zn girdi değişkeni olarak tanımlandığında 64 iterasyon sonucunda R değeri 0.94 olarak bulunurken MSE değeri eğitim, validasyon ve test için  $3.76808e-4$ ,  $1.26644e-3$ ,  $5.83412e-3$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. YSA tahmin model grafiği (Zn girdi değişkeni için)

Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4: farklı girdi değişkenleri için elde edilen R değerleri

	Giriş Değişkeni	R
1	Zn, Fe, pH, AKM, TKM	0.85
2	Zn, Fe, AKM, TKM	0.86
3	Zn, Fe, AKM,	0.87
4	Zn, Fe	0.89
5	Zn	0.94

## 4. Sonuç

Farklı giriş değişkenlerinin kombinasyonu ile oluşan çeşitli senaryolar ile modelleme çalışmaları gerçekleştirildiğinde en yüksek R değerine sisteme giriş değişkeni olarak sadece giriş Zn konsantrasyon değerinin verildiği sistem olmuştur. Literatürde giriş değişken sayısı arttıkça tahmin sonuçlarının doğruluğunun azalacağı yönündeki mevcut bilgi ile uyum sağlayan bir sonuç elde edilmiştir (Lake vd., 2009; Amini vd., 2005; Keshavarzia ve Sarmadian, 2020).

Yapılan modelleme çalışmalarında transfer fonksiyonu olarak tansig kullanıldığında 0.85 elde edilmiştir. Transfer fonksiyonunun sisteme olan etkisi incelenmek istenmiş olup logsis ve pürelin aktivasyon fonksiyonları kullanılarak Senaryo 1 için uygulama yapıldığında pürelin ile R değeri 0.55 olarak elde edilirken logsis ile 0.77 elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile herhangi bir atıksu arıtma tesisinde başarılı bir şekilde arıtım sağlanarak mevzuatın zorunlu kıldığı deşarj standartların sağlanabilmesi açısından önem arz etmekte olup söz konusu tesis için YSA'nın başarılı bir şekilde sistemi modelleyebildiği görülmüştür.

## 5. Teşekkür

Ankara Sanayi Odası 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesi Atık Su Arıtma Tesisi, Çevre Yönetim ve Arıtma Müdürü, Çevre Mühendisi Enise Dilek ESEN'e veri paylaşımı için teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynakça

1. Agoro, M.A., Adeniji, A.O., Adefisoye, M.A., Okoh, O.O. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Water*, 12,2746.
2. Pugazhenthiran, N., Anandan, S., Ashokkumar M. (2016) *Removal of Heavy Metal from Wastewater*. Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry, Springer.
3. Prathishksha, P. Balakrishna, P. (2018) A Review on Removal of Heavy Metal Ions from Waste Water using Natural/ Modified Bentonite, J. MATEC Web of Conferences.

4. John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A. (2016) Recovery of Zn from wastewater of zinc plating industry by precipitation of doped ZnO nanoparticles. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13, 2127–2134.
5. Gakwisiri, C., Raut, N., Al-Saadi, A., Al-Aisri, S., Al-Ajmi, A. (2012). A Critical Review of Removal of Zinc from Wastewater. In Proceedings of the World Congress on Engineering, London, UK.
6. Mishra, V. (2014). Biosorption of zinc ion: a deep comprehension. *Appl Water Sci*, 4, 311–332.
7. Kulkarni, S.J. (2015). Removal of Zinc from Effluent: A Review. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2(1), 338-340.
8. Yamagata, H., Yoshizawa, M. & Minamiyama, M. (2010). Assessment of current status of zinc in wastewater treatment plants to set effluent standards for protecting aquatic organisms in Japan. *Environ Monit Assess.*, 169, 67–73.
9. Çınar, Ö., Yılmaz, A.S. (2005). Yapay Sinir Ağlarının Atıksu Arıtma Tesisi İşletimine Uygulanması: Bir Örnek Çalışma. *KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 48-52.
10. Philips, N., Heyvaerts, S., Lammens, K., Van Impe, JF. (2005). Mathematical modelling of small wastewater treatment plants: power and limitations. *Water Sci Technol.*, 51(10):47-54.
11. Boger, Z. (1992). Application of neural networks to water and wastewater treatment plant operation. *ISA Transactions*, 31(1), 25-33.
12. Kırım, G. (2015). Atıksu Arıtma Tesislerinin Model Desteği İle İyileştirilmesi Ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Buaisha, M., Balku, Ş., Yaman Özalp, Ş. (2019). ANN-assisted forecasting of adsorption efficiency to remove heavy metals. *Turkish Journal of Chemistry*, 43(5), 1407-1424.
14. Yildiz, S. (2018) Artificial neural network approach for modeling of Ni(II) adsorption from aqueous solution by peanut shell. *Ecol Chem Eng S.*, 25,581–604.
15. Nemeček, P., Kružlicová, D. Remenárová, L. (2014). Application of Ann for Prediction of Co<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> Ions Uptake by R. Squarrosus Biomass in Single and Binary Mixtures, *Nova Biotechnologica et Chimica.*, 13(1), 73-84.
16. Alizamir, M., Sobhanardakani, S. (2016). Forecasting of heavy metals concentration in groundwater resources of Asadabad plain using artificial neural network approach. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 4(2), 68-77.
17. Javan, S., Gholamalizadeh Ahangar, A., Hassani, A.H, Soltani, J. (2019). Estimation of Zn Bonds Using Multi-Layer Perceptron (MLP) Artificial Neural Network Method in Chahnimeh, Zabol. 7(2), 87-95.
18. Bayatzadeh Fard, Z., Ghadimi, F., Fattahi, H. (2017). Use of artificial intelligence techniques to predict distribution of heavy metals in groundwater of Lakan lead-zinc mine in Iran. *Journal of Mining and Environment*, 8(1), 35-48.
19. Ağyar, Z. (2015).Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları ve Bir Uygulama. *Mühendis ve Makine*, 56(662), 22-23.
20. Yazıcı, A.C., Ögüş, E., Ankaralı, S., Canan, S., Ankaralı, H., Akkuş, Z. (2007) Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 27(1), 65-71.
21. Eren, B., ve Eyüpoğlu, V. (2011). Yapay sinir ağları ile Ni(II)yonu geri kazanım veriminin modellenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
22. Panchal, F.S., & Panchal, M. (2014). Review on Methods of Selecting Number of Hidden Nodes in Artificial Neural Network. *Computer Science, International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(11), 455-464.
23. Arifin, F., Robbani, H., Annisa, T., Ma'arof, N N M I 2. (2019). Variations in the Number of Layers and the Number of Neurons in Artificial Neural Networks: Case Study of Pattern Recognition. *Journal of Physics: Conference Series*, 1413.
24. Gupta, T.K., Raza, K. (2020). Optimizing Deep Feedforward Neural Network Architecture: A Tabu Search Based Approach. *Neural Process Lett.*, 51, 2855–2870.
25. Wu, W., May, R., Dandy, G.C, and Maier, H.R. (2012). A method for comparing data splitting approaches for developing hydrological ANN models. *International Congress on Environmental Modelling and Software*, 394.
26. Akıllı, A., Atıl, H. (2020). Evaluation of Normalization Techniques on Neural Networks for the Prediction of 305-Day Milk Yield. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1, 354-367.
27. Aksu, G., Güzeller, C., Eser, M. (2019). The Effect of the Normalization Method Used in Different Sample Sizes on the Success of Artificial Neural Network Model. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(2), 170-192 .
28. Lake, H.R., Akbarzadeh A., Mehrjardi T. (2009). Development of pedotransfer functions (PTFs) to predict soil physico-chemical and hydrological characteristics in southern coastal zones of the Caspian Sea. *Journal of Ecology and the Natural Environment.*, 1(7): 160-172.
29. Amini, M., Abbaspour K.C., Khademi H., Fathianpour, N., Afyuni, M., Schulin R. (2005). Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *Eur. J. Soil Sci.*, 53: 748-757.
30. Keshavarzi, A., Sarmadian F. (2011).Comparison of Artificial Neural Network and Multivariate Regression Methods in Prediction of Soil Cation Exchange Capacity. *International Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2011(1), 25-30.



# Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi için Açık Deniz Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Bölgesel Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Etkisi

Ozan Akdağ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8163-8898), [ozanakdag@live.com](mailto:ozanakdag@live.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10-12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901251)

**ATIF/REFERENCE:** Akdağ, O., (2021). Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi için Açık Deniz Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Bölgesel Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 343-350.

## Öz

Yenilenebilir enerji, dünya genelinde çevre dostu olması nedeniyle elektrik üretimindeki payını sürekli olarak artırmaktadır. Bu makale, Türkiye'nin yenilenebilir enerjiden daha fazla yararlanmasını sağlayarak, sera ve zehirli gaz emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada ilk olarak Türkiye ve dünyadaki mevcut sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikalar incelenmiştir. Devamında, Türkiye'nin ilgili bölgesinde Açık Deniz Rüzgâr Santrali (ADRS) kurulum kriterlerine göre uygun lokasyonlar belirlenmiş ve bu lokasyonların meteorolojik verileri Rüzgâr Atlası analiz / uygulama programında (WaSP) analiz edilerek en iyi lokasyonun bulunması sağlanmıştır. Daha sonra en iyi lokasyon belirlendikten sonra, ADRS ve bölgesel güç sisteminin sanal modelleri DigSilent yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Ardından, bu modelde yük akış analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilecek sonuçlar ile önerilen ADRS'nin ana şebekeye bağlanması durumunda bölgede 12300 ton zehirli gaz ve 2,47 milyon ton sera gazının bir yıl içinde azaltılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık deniz rüzgâr santrali, sera gazı emisyonu, yeşil enerji

## Evaluation of Offshore Energy Potential for Turkey's Mediterranean Coast and Impact on Reduction of Regional Greenhouse Gas Emissions

### Abstract

Renewable energy sources have continuously increased their share and installed power in electricity generation in recent years, as they are green energy. This study, by increasing renewable energy capacity of Turkey also aims to contribute to reducing emissions of greenhouse gases/toxic gases. This paper first, Turkey and in the world studies available for the reduction of greenhouse gas emissions are discussed. Later, suitable locations were determined according to the Offshore Wind Farm (ADRS) installation criteria (for Turkey). Afterwards, meteorological data of these locations were analyzed with WaSP and the best location was found. After determining the best location, the virtual models of OWF and regional transmission system are modeled using DigSilent program. Load flow analysis was carried out using this model. The load flow results are showed that the proposed OWF could reduce 12300 tons of toxic gas and 2.48 million tons of greenhouse gas in one year in the region.

**Keywords:** Offshore Power Plant, greenhouse emissions, green energy

\* Sorumlu Yazar: [ozanakdag@live.com](mailto:ozanakdag@live.com)

## 1. Giriş

Literatürde sera etkisi üzerine bilinen ilk çalışma 1827'de Joseph Fourier tarafından yapılmıştır (Fleming, 1999). Atmosferdeki CO<sub>2</sub> nedeniyle iklimin değişikliği olasılığı ise ilk olarak 1896'da Nobel Ödüllü Arrhenius tarafından rapor edilmiştir (Arrhenius, 1896). Sera etkisi, günümüzün en büyük küresel sorunlarından biridir. Özellikle günümüzde sanayileşme, kentleşme ve artan nüfusun etkisiyle atmosferdeki sera gazı tehlikeli seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde büyük oranda elektrik üretiminde kullanılan fosil bazlı termik santraller, atmosferdeki sera gazlarının üçte ikisinden sorumludur (Argin ve Yerci 2017). Fosil bazlı termik santraller SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> gibi gazlar yayarak dünyamızı kirletmektedir. Bu termik santrallerin çıkardığı gazlardan olan SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları, insan ve diğer canlılar üzerinde zehirleyici bir etkiye sahiptir. Bu gazlardan biri olan CO<sub>2</sub> ise büyük bir sera gazı etkisine neden olmaktadır (Bal 2019; Mohsenipour vd. 2020; Benavides vd. 2020). Bu nedenle, son yıllarda geleneksel kömür santrallerinin emisyon seviyesini azaltma çabaları artmıştır (Bal 2019). Bu durum uzun vadede çözüm sunamayacağı için yenilenebilir enerjiye dayalı santraller dünya çapında popüler hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji santralleri, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve iklim değişikliğinin üstesinden gelmede önemli bir rol oynamaktadır. 2018 sonunda, yenilenebilir enerji kaynakları dünya genelinde 2017'ye göre % 4 büyümüştür (Uluslararası Enerji Ajansı 2018). Yenilenebilir enerji üretimi, özellikle son 10 yılda dünya çapında önemli ölçüde artmıştır (Uluslararası Enerji Ajansı, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi, çevreci oluşu ve teknolojisindeki olumlu gelişmelerden dolayı son 10 yılda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Dünya Rüzgâr Enerjisi Derneği tarafından 2019 yılında yayınlanan bir rapora göre, kara rüzgâr enerjisi 2018'de 46,8 GW artarak dünya genelinde 568 GW'a ulaşırken, açık deniz rüzgâr enerjisi 2018'de 4,481 GW artarak dünya genelinde 23,2 GW'a ulaşmıştır (WWEA, 2019). Deniz üstü alanların karadan daha verimli olması ve açık deniz rüzgâr teknolojisindeki maliyetlerin azalması nedeniyle açık deniz rüzgâr santrallerinde dünya çapında hızla büyüyor. Ayrıca açık deniz rüzgâr santralleri, kara rüzgâr santrallerine göre daha büyük kurulu güç kapasitesinde kuruldukları için küresel sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Wang vd. 2019). Bu nedenle, açık deniz rüzgâr çiftliklerinin potansiyelini araştırmak ve mevcut ağları entegre etmek, dünyanın geleceği için önemlidir.

Bu çalışma, uygun bir ADRS'nin kurulum, modelleme aşamalarını sunarak küresel sera gazlarının azaltılmasına yönelik araştırmalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada öncelikle ilgili lokasyonlar (ADRS kurulumuna uygun), ADRS kurulum kriterlerine göre değerlendirilerek, belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu lokasyonların, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan meteorolojik verileri, rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için WASP yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ADRS kurulumu için en uygun bölge belirlenerek, devamında bu ADRS ve bölgesel iletim sisteminin bir kesiti DigSilent Power Factory yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu modelde yapılan yük akışı analizi ile modellenen ADRS ile bölgedeki termik santral

faaliyetlerinin azaltılması hedeflenerek, yıllık ne kadar sera gazı ve zehirli gaz emisyonunun azaltılacağı tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Türkiye'de sera gazı emisyonları ve yenilenebilir enerji kullanımı

Türkiye'nin kurulu elektrik kapasitesi her yıl yaklaşık % 4-7 büyüyor. Türkiye'nin kurulu elektrik kapasitesi Aralık 2020'de 95 GW'a ulaşmıştır. Fosil yakıtla dayalı elektrik üretim tesisleri, bu kurulu gücün yaklaşık % 18-25'ine tekabül etmektedir. Türkiye'nin günlük elektriğinin yaklaşık % 35-45'ı fosil yakıtla dayalı elektrik üretimi ile üretilmektedir (Teias 2020). Bu durum, Türkiye'nin küresel sera gazı emisyonlarına önemli katkı sağladığını göstermektedir. 2000'li yılların başında Türkiye, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikalar uygulamaya başlamıştır. Bu konuda en önemli gelişme, Türkiye'nin 2009'da Kyoto Protokolü'ne taraf olmasıdır (Erdoğan 2019). Türkiye, bu protokolle sera gazı emisyonlarını azaltmayı kabul etmiştir. Türkiye, 2010-20 döneminde Ulusal İklim Değişikliği stratejisini açıklayarak iklim değişikliği konusunda önemli adımlar atmıştır (Akyüz ve Atis 2016). Türkiye, özellikle son yıllarda bu politikalarla rüzgâr enerjisinde önemli bir büyüme kaydetmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi 8.5 GW'a ulaşmıştır. Türkiye kara rüzgâr santrali kurulumunda hızla büyümesine rağmen, Türkiye'de halen kurulu açık deniz santrali bulunmamaktadır. Türkiye'nin 3 tarafının denizlerle çevrili olması, elverişli deniz yapısı ve uzun/düzgün sahil şeridi ile önemli açık deniz rüzgâr potansiyeline sahiptir. Türkiye, deniz derinliği 50 metreden az olan bölgelerde 10-12 GW açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyeline sahipken, açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyelinin 50-100 metre deniz derinliğine sahip bölgelerde 20-57 GW olduğu düşünülmektedir (Cali ve diğerleri 2018). Bu nedenle, Türkiye'deki açık deniz rüzgâr potansiyeli ile ilgili çalışmalar, küresel sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayabilir.

### 2.2. ADRS kurulumunda dikkate alınacak hususlar

Rüzgâr fizibilite çalışması ve konum tespiti ADRS kurulumu için çok önemlidir. ADRS kurulumunda şu hususlar dikkate alınır, - Rüzgâr atlas haritasına göre bölge seçimi, - Deniz derinliği ve deniz tabanının genel yapısı, - Askeri ve ulusal sınırlar, - Deniz ulaşım hatları, - Kıta sahanlığı, - Sivil havacılığa ait bölgeler, -Boru hatları ve yer altı kablolarının yakın mesafeleri, -Sosyal ve çevresel faktörler (kentleşme, turizm vb.) (Akdag ve Yeroglu 2020).

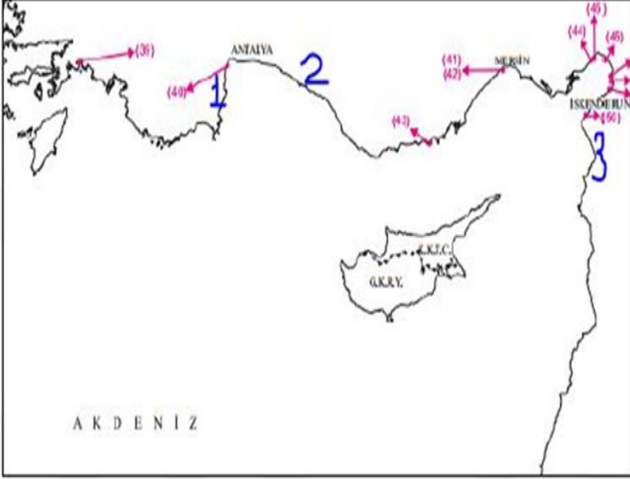
### 2.3. ADRS kurulum aşamaları

Bu yayın, ADRS'yi mevcut bir şebekeye eklemek ve bu ADRS'nin mevcut şebeke ve çevre üzerindeki etkilerini analiz etmek için sanal bir model sunmaktadır. Bu sanal model, mevcut şebekelerde bulunan termik santraller tarafından yayılan sera gazlarının azaltılma miktarını hesaplamak için yük akışının

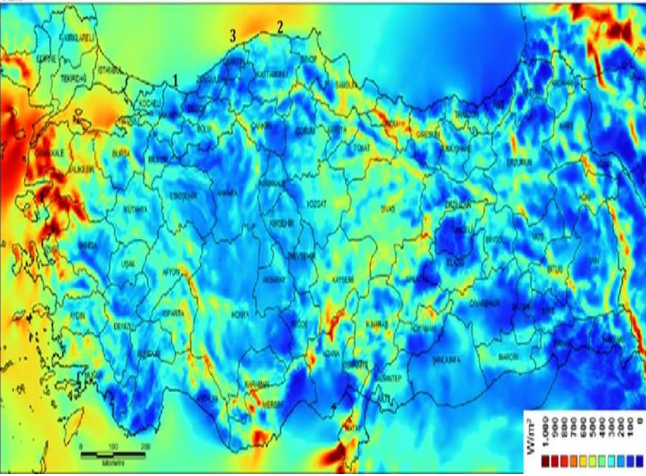


sonuçlarını analiz etmektedir. Bu çalışmada sunulan metot aşağıdaki gibi sunulmuştur;

Adım 1-) ADRS kurulumu için saha seçimi: Rüzgâr potansiyeli ve yer tespiti ADRS kurulumu için çok önemlidir. Bölüm 2.2'de verilen ADRS kurulum kriterlerine göre, ADRS kurulumu için uygun yerler belirlenir. Örneğin ADRS kurulumunda Şekil 1'de gösterilen sınırlı askeri alan ve Şekil 2'de verilen 100 metredeki rüzgâr gücü yoğunluk haritası dikkate alınan bazı verilerdir.



Şekil 1. Akdeniz Bölgesi Askeri Kısıtlı Alanlar (Marina 2019)



Şekil 2. 100 metrede rüzgâr enerjisi yoğunluk haritası (Türkiye) (Rüzgâr Haritası, 2019)

Adım 2-) İstatistiksel Rüzgâr Potansiyeli Analizi: WASP yazılımında, Adım 1 ile belirlenen ilgili lokasyonlarda açık deniz rüzgâr potansiyelini belirlemek için İstatistiksel Rüzgâr Potansiyeli Analizi yapılır. Literatürde genel olarak açık deniz rüzgâr potansiyeli değerlendirilirken 100 metre yükseklikte rüzgâr hızı dikkate alınır (Bilgili vd. 2011). Bu nedenle, 100 metre yükseklikte rüzgâr hızı (WASP yazılımında meteoroloji istasyonunun yüksekliği hesaba katıldığı için) [m / s] literatürde belirtilen Denklem 1 ile hesaplanır (Bilgili vd 2011):

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\mu \quad (1)$$

burada,  $V_{ref}$  [m/s] 100 metrede rüzgâr hızı;  $h$  [m]  $V_h$  [m/s]'e karşılık gelen yükseklik;  $h_{ref}$  [m] 100 metre;  $\mu$  pürüzlülük katsayısı.

Rüzgâr türbini seçimi, rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunluğuna göre belirlenir. Rüzgâr türbininin temel yapısı ise denizin derinliğine, zemin yapısına ve kimyasal yapısına göre belirlenir. Rüzgâr türbini ve temeli seçildikten sonra ilgili lokasyonda uluslararası standartlara göre rüzgâr türbini yerleştirme süreci başlatılır. Bu süreçten sonra ADRS'nin tahmini kurulu güç kapasitesi ilgili bölgede belirlenir.

Adım c-) Modelleme: ADRS'nin çevre ve termik santral dâhil mevcut şebeke üzerindeki etkilerini analiz etmek için, ADRS ile bölgesel enerji iletim sistemi güç sistemleri yazılım programı kullanılarak (Bu çalışmada DigSilent programı kullanılmıştır) modellenir. Daha sonra bu modelde Newton Raphson yöntemi ile yük akış analizi yapılır. Yük akış analizi sonucunda termik santralin aktif güç üretimi ile termik santralin 1 saat içinde atmosfere yayacağı zehirli ve sera gazı miktarı Denklem 2 ile bulunur (Akdag ve Yeroglu, 2020).

$$\text{Toplam emision(ton/h)} = \sum_{i=1}^n ((a_i + \beta_i P_{Gi} + \gamma_i P_{Gi}^2) 10^{-2} + \xi_i \exp(\lambda_i P_{Gi}) + \epsilon_i P_{Gi}) \quad (2)$$

burada,  $a_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ ,  $\lambda_i$ , i.nci termik santralin emision katsayılarıdır, burada  $\gamma_i$  (1 / MW<sup>2</sup>),  $\beta_i$  (1 / MW),  $a_i$  SOx ait iken ve  $\xi_i$ ,  $\lambda_i$  (1 / MW) NOx'e aittir.  $P_{Gi}$ , (MW) termik santralin aktif güç üretimine karşılık gelirken,  $\mu_i$  (1 / MW) CO<sub>2</sub> emision katsayıdır (Akdag ve Yeroglu, 2020).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Akdeniz bölgesinde ADRS kurulumu için uygun konumların açık deniz rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi

Bu çalışmada, kıta sahanlığı, uygun deniz yapısı / rüzgâr potansiyeli ve özellikle bölgenin doğusunda yoğun termik santral faaliyetleri nedeniyle ADRS kurulumu için Akdeniz bölgesi seçilmiştir. Bu bölgede, 1. adımında verilen yer seçim kriterlerine göre ADRS kurulumu için 3 uygun lokasyon belirlenmiştir. Bu lokasyonlar sırasıyla Konyaaltı, Alanya ve Samandağ'dır. Bu lokasyonlara ait meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te gösterilen 3 lokasyona ait deniz meteoroloji istasyonlarının 2013-2015 rüzgâr verileri kullanılmıştır (Türkiye Devlet Meteoroloji Kurumu, 2019). Ardından, bu konumların rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için WASP yazılımı kullanılarak istatistiksel analiz yapılır (Adım 1). İstatistiksel analiz sonuçları Tablo 1'de verildiği gibidir. Daha sonra bu konumların 100 metrede rüzgâr hızları (ADRS kurulumunda 100 metredeki rüzgâr hızı esas alındığından) Denklem 2 kullanılarak hesaplanır. 100 metredeki sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Meteoroloji istasyonlarının konumları (Sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı istasyonlarda Konyaalti, Alanya, ve Samandağ gösterilmektedir)

**Tablo 1:** İstasyonlara ait rüzgar hızı ve yoğunluğu

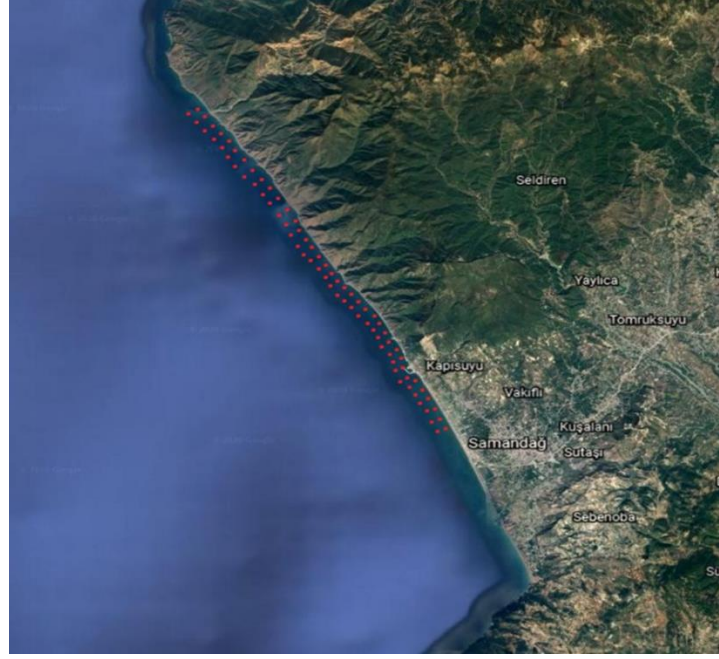
istasyon	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar hızı yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
Konyaalti/1	3.54	111
Alanya/2	6.88	441
Samandag/3	6.61	418

**Tablo 2 :**100 metrede rüzgar hızı ve yoğunluğu

istasyon	Rüzgar hızı (m/s)	Güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	100m rüzgar hızı (m/s)
Konyaaliti/1	3.54	111	4.01
Alanya/2	6.88	441	8.62
Samandag/3	6.61	418	8.48

Tablo 2'de Alanya'nın 8,62 m / s rüzgâr hızı ve 100 metrede 441 W / m<sup>2</sup> güç yoğunluğu ile en iyi lokasyon olduğu görülmektedir. Samandağ lokasyonunun sonuçları (8.48 m / s rüzgâr hızı ve 100 metrede 418 W / m<sup>2</sup> güç yoğunluğu) Alanya lokasyonuna çok yakındır. Bu çalışmanın amacı bölgesel sera gazı emisyonlarını en aza indirmek olduğundan, yoğun termik santral faaliyetlerinin olduğu Samandağ lokasyonu ADRS kurulumu için seçilmiştir. Rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisi yoğunluğu değerlerine göre V117-4,2 MW, MHI Vestas adlı açık deniz rüzgâr türbini, Samandağ konumunda (Adım 2) (MHI, 2020) önerilen ADRS için kullanılabilir. Samandağ sahilinde

deniz derinliği 20-50 metreye ulaştığı için (MHI, 2020) bu verilere göre ADRS için Veritas (2014) 'de verilen referansta belirtilen temel yapılarından tripod temel yapısı seçilmiştir. Ardından rüzgâr türbininin yerleştirilmesine başlanır. Türbin yerleşiminde, türbinler arasındaki mesafe dikey ekseninde 8D-10D, yatay ekseninde 2D-5D olmalıdır (D = Rotor çapı) (Gasch ve Joche 2012). Bu lokasyonda 4,2 MW türbinler arasındaki mesafe yatay ekseninde 4D, dikey ekseninde 8D olarak seçilmiştir. Rüzgâr türbinleri arasında seçilen mesafeye bağlı olarak (4,2 \* 76 = 319,2 MW) ilgili konuma toplam 4,2 MW gücünde 76 rüzgâr türbini yerleştirilebilir. 319,2 MW Kurulu güce sahip ADRS'nin konumu Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

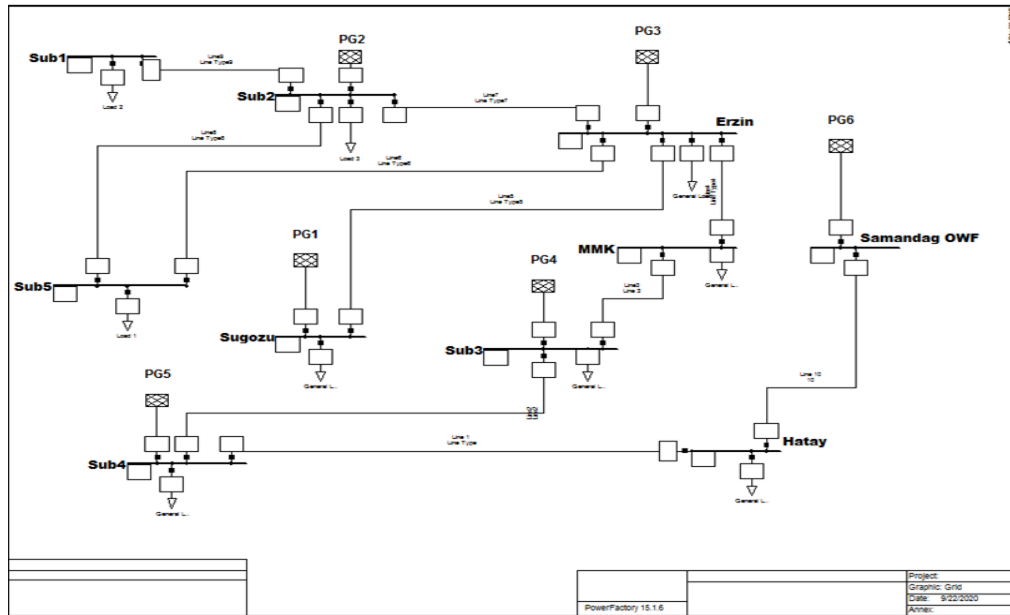


Şekil 4. Açık deniz rüzgâr türbini yerleştirme alanı (Samandağ'a lokasyonu)

### 3.2. ADRS ile bölgesel iletim sisteminin modellenmesi

Bu çalışmada, Akdeniz bölgesi 9 bara 380 kV iletim sisteminin yaklaşık modeli ve bu iletim sistemine entegre edilecek ADRS'nin sanal modeli DigSilent Power Factory yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu iletim sistemi 5 jeneratör ve 10 iletim hattından oluştuğu kurgulanmıştır. Bu iletim sisteminin tek hat şeması Şekil 5'de verildiği gibidir. Toplam yük talebinin aktif güç 2045 MW ve reaktif güç 64,8 MVAR olduğu bu iletim

sistemi modelinde, Erzin (PG3) ve Sub3 (PG4) veriyollarındaki jeneratörler fosil bazlı (kömüre dayalı) termik santrallerdir. Samandağ (PG6) otobüsündeki jeneratör ADRS'dir. Bu iletim sisteminin yük ve jeneratör verileri Tablo 3'te, hat parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Bu modellenmiş iletim sisteminde ADRS'nin bölge iletim sistemine entegrasyonu yaklaşık 20 km'lik bir iletim hattı ile sağlanmıştır.



Şekil 5. 9 bara 380 kV Akdeniz tek hatlı iletim sistemi modeli

Table 3. İletim sistemine ait hat verileri

NI	Nr	R (pu)	X (pu)	B/2 ( pu)
Sub1	Sub2	0.00075282	0.011254	0.385
Sub2	Sub5	0.00018656	0.0017738	0.06079
Sub2	Erzin	0.00032161	0.0038276	0.116694
Sugozu	Erzin	0.00043986	0.005053	0.165431
Erzin	MMK	0.00059276	0.0068098	0.222934
MMK	Sub3	0.00020297	0.0030344	0.10399
Sub3	Sub4	0.00028945	0.0026747	0.059194
Sub4	Hatay	0.000194978	0.00291484	0.09989
Sub5	Erzin	0.0001608	0.0018908	0.0583474
Hatay	Samandag	0.00024163	0.0036124	0.12379

Tablo 4. İletim istemine ait yük ve üretim verileri

Bara no	Bara kod	Yük		Jeneratör		Qmin (MVAR)	Qmax (MVAR)
		P (MW)	Q (MVAR)	Pmin (MW)	Pmax (MW)		
Sub1	0	500	10	-	-	-	-
Sub2(P <sub>G2</sub> )	2	250	5.8	100	290	-50	15
Sub5	0	315	10	-	-	-	-
Erzin (P <sub>G3</sub> )	2	270	8	300	425	-30	15
Sugozu(P <sub>G1</sub> )	2	250	4	120	250	-20	20
MMK	0	85	10	-	-	-	-
Sub3(P <sub>G4</sub> )	1	25	8	395	985	-20	25
Sub4(P <sub>G5</sub> )	2	150	5	350	465	-20	15
Hatay	0	200	4	-	-	-	-
Samandag(P <sub>G6</sub> )	2	0	0	310	319.2	-25	15

Bara kod 1= slak, 2= üretim, 0= tüketim barası

### 3.3. Güç sisteminin analizi

Bu çalışmada gerçek güç sistemine uygun olarak Newton Raphson metodu ile yük akış analizi yapılmıştır. DigSilent programında modellenen bölgesel enerji iletim sisteminde, ADRS'nin ana şebekeye bağlı olup olmadığına göre yük akış analizi yapılmıştır (Adım 3). Newton-Rapson yöntemine göre yapılan yük akış analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'te, ADRS ana şebekeye bağlı olmadığına, PG3 fosil yakıt bazlı santral 335 MW aktif güç / 15 MVAR reaktif güç, PG4 fosil yakıt bazlı santral 995 MW aktif güç / 11,4 MVAR reaktif güç üretmiştir. Bu durumda güç sisteminde 10 MW aktif güç kayıpları / -9,4 MVAR reaktif güç kayıpları hesaplanır. ADRS ana şebekeye bağlandığında PG3 335 MW aktif güç / 15 MVAR reaktif güç- PG4 jeneratör 676,1 MW aktif güç / -2,5 MVAR reaktif güç üretir. PG6 jeneratör 319,2 MW aktif güç / 5 MVAR reaktif güç üretmektedir. ADRS ana şebekeye bağlandığında, aktif güç kaybı 10,32 MW aktif güç / -

18,3 MVAR reaktif güç kaybı olarak hesaplanır. Güç sistemlerinde zehirli gaz ve sera gazı emisyonları fosil bazlı üretimin ürettiği saatlik aktif güce (MWH / ton) göre tahmin edilebilir. Örnek güç sisteminde Erzin (PG3) ve Sub3 (PG4) baralarda bulunan termik santralin saatlik tahmini emisyon katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Bu çalışmada, ADRS ana şebekeye bağlandığında, salınım barasındaki (Sub3-PG4) fosil yakıt bazlı elektrik santralinin aktif güç üretimini azaltmaktadır. Erzin ve Sub3 otobüslerinde fosil bazlı jeneratörün toplam toksik gaz ve yakıt emisyonu Denklem 2 ile hesaplanır. ADRS ana şebekeye bağlandığında yapılan yük akış analizinde Sub3 barası üzerindeki termik santralin atmosfere salınan gazın toplam emisyonu 1,4 ton / saat (SO<sub>x</sub> için) 0,004 ton / saat (NO<sub>x</sub> için) ve 281.415 ton / saat (CO<sub>x</sub> için) azalır. Böylece, bu simülasyon modelinde, bu bölgede atmosfere salınan toplam emisyonlar, bir yıl içerisinde yaklaşık 12264 ton toksik gaz (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) ve 2,46 milyon ton sera gazı (CO<sub>x</sub>) azaltılabilmektedir.

**Table 5:** Yük akış analiz sonuçları (Newton Raphson)

ADRS ana şebekeye bağlı değil iken				ADRS bağlı			
$P_{G1}$	150 MW	Sub1	0.99 pu	$P_{G1}$	150 MW	Sub1	0.99 pu
$P_{G2}$	120 MW	Sub2	0.99 pu	$P_{G2}$	120 MW	Sub2	0.99 pu
$P_{G3}$	335 MW	Sub5	0.99 pu	$P_{G3}$	335 MW	Sub5	0.99 pu
$P_{G4}$	995 MW	Erzin	0.99 pu	$P_{G4}$	676.1 MW	Erzin	0.99 pu
$P_{G5}$	455 MW	Sugozu	0.99 pu	$P_{G5}$	455 MW	Sugozu	0.99 pu
$P_{G6}$	-	MMK	1 pu	$P_{G6}$	319.2 MW	MMK	1 pu
$Q_{G1}$	10 MVAR	Sub3	1 pu	$Q_{G1}$	10 MVAR	Sub3	1 pu
$Q_{G2}$	11 MVAR	Sub4	1 pu	$Q_{G2}$	11 MVAR	Sub4	1 pu
$Q_{G3}$	15 MVAR	Hatay	1 pu	$Q_{G3}$	15 MVAR	Hatay	1.01 pu
$Q_{G4}$	11.4 MVAR	Samandagi OWF	-	$Q_{G4}$	-2.5 MVAR	Samandagi OWF	1.01 pu
$Q_{G5}$	8 MVAR	SO <sub>x(sum)</sub>	2.949(ton/s)	$Q_{G5}$	8 MVAR	SO <sub>x(sum)</sub>	1.549(ton/s)
$Q_{G6}$	-	NO <sub>x(sum)</sub>	0.0438(ton/s)	$Q_{G6}$	5 MVAR	NO <sub>x(sum)</sub>	0.0398(ton/s)
$Q_{loss}$	-9.4 MVAR	CO <sub>2(sum)</sub>	1177.40(ton/s)	$Q_{loss}$	-18.3MVAR	CO <sub>2(sum)</sub>	895.99(ton/s)
$P_{loss}$	10 MW			$P_{loss}$	10.32 MW		

**Table 6 :** Sırasıyla PG3 ve PG4 baralarında kömüre dayalı termik santrallerin tahmini emisyon katsayıları

$\alpha_i$	$\beta_i$	$\gamma_i$	$\xi_i$	$\lambda_i$	$\epsilon_i$
0.004	-0.0074	0.00028	0.015	0.00052	0.892
0.0039	-0.00735	0.000277	0.0154	0.00054	0.883

## 4. Sonuç

Bu makalede, Akdeniz bölgesi için açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyeli değerlendirmesi, bu bölgede yeni bir açık deniz rüzgâr çiftliği kurulma aşaması ve zehirli / sera gazı emisyonlarının azaltımı incelenmektedir. Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde değerlendirilen lokasyonlarda yapılan analize göre, bölgedeki yoğun termik santral aktivitesi nedeniyle (418 W / m<sup>2</sup> rüzgâr gücü yoğunluğu ve 8.48 m / s 100 metre yükseklik rüzgâr hızına sahip) Samandağ lokasyonu uygun alan olarak belirlendi. Bu lokasyonda 319,2 MW kurulu güce sahip ADRS kurulacağı belirlendi. Ardından, önerilen ADRS ve bölgesel iletim sistemi modellenmiştir. Bu güç sistemi modelinde, termik santralin yıllık / saatlik emisyon miktarının bölgesel olarak azaltılması yük akış analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yazıda Newton Raphson yöntemine göre yapılan yük akışında ADRS ana şebekeye bağlandığında bölgedeki fosil bazlı termik santrallerin CO<sub>2</sub> emisyonu 10,31 milyon tondan 7,84 milyon tona düşürebileceği tespit edilmiştir ( bir yıl içinde).

## Kaynakça

- Akdağ, O., & Yeroglu, C. (2020). An evaluation of an offshore energy installation for the Black Sea region of Turkey and the effects on a regional decrease in greenhouse gas emissions. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 10(3), 531-544.
- Akyuz, Y., and Atis, E. 2016. Türkiye’de İklim Değişikliği Tarım Etkileşiminin İki Yönüyle İncelenmesi. *Uluslararası Katılımlı*, 2:08-09.

- Argin, M., and V. Yerci. 2017. Offshore wind power potential of the Black Sea region in Turkey. *International Journal of Green Energy* 14(10):811-818. doi:10.1080/15435075.2017.1331443.
- Argin, M., V. Yerci. 2017. Offshore wind power potential of the Black Sea region in Turkey. *International Journal of Green Energy* 14(10): 811-818. doi: /doi.org/10.1080/15435075.2017.1331443.
- Arrhenius, S. 1896. XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 41(251):237-276.
- Bal, H. 2019. Analysing of agricultural greenhouse gas emissions based on the environmental kuznets curve approach for oecd countries: Master Thesis, Eskişehir Osmangazi University.
- Benavides, P. T., Lee, U., Zarè-Mehrjerdi, O. 2020. Life cycle greenhouse gas emissions and energy use of polylactic acid, bio-derived polyethylene, and fossil-derived polyethylene. *Journal of Cleaner Production* 277, 124010.
- Bilgili, M., A.Yasar, E. Simsek. 2011. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(2):(2011) 905-915.
- Cali U., N. Erdogan, S. Kucuksari and M. Argin. 2018. Techno-economic analysis of high potential offshore wind farm locations in Turkey. *Energy strategy reviews* 22:325-336.
- Erdogdu, E. 2010. Turkish support to Kyoto Protocol: A reality or just an illusion. *Renewable and Sustainable Energy*

- Reviews 14(3):1111-1117. doi: doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.020Get rights and content.
- Fleming, J. R. 1999. Joseph Fourier, the 'greenhouse effect', and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures. *Endeavour* 23(2):72-75.
- Gasch, R., T. Joche. 2012. *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*, Second Edition. Springer Publication.
- International Energy Agency. 2018. *Global Energy & CO2 Status Report 2018*. <https://www.iea.org/geco/emissions/>.
- Marina. 2019. Republic of Turkey Turkish naval forces command office of navigation, hydrography and oceanography 2019. [http://www.shodb.gov.tr/shodb\\_esas/index.php/en/](http://www.shodb.gov.tr/shodb_esas/index.php/en/).
- Melikoglu, M. 2013. Vision 2023: Feasibility analysis of Turkey's renewable energy projection. *Renewable Energy* 50:570-575. doi: 10.1016/j.renene.2012.07.032.
- MHI. 2020. <https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v117>.
- Mohsenipour, M., Ebadollahi, M., Rostamzadeh, H., & Amidpour, M. 2020. Design and evaluation of a solar-based trigeneration system for a nearly zero energy greenhouse in arid region. *Journal of Cleaner Production* 254, 119990.
- Ozes, R., and S. Cagatay. 2019. Sera gazı azaltımı için alternatif karbon vergisi uygulamaları etki analizi: 2018 yılı için bulgular. *METU Studies in Development* 45(3):255-283.
- Teias. 2020. Turkish Government Electricity Transmission Company, Turkish Government Electricity Transmission Company Annual Report 2020. Annual Report. [https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-04/kurulu\\_guc\\_2019.pdf/](https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-04/kurulu_guc_2019.pdf/).
- Turkish State Meteorological Service. 2019. Marine Automatic Observation Stations. <https://www.mgm.gov.tr/deniz/deniz-omgi.aspx/>.
- Veritas. 2014. Stifelsen Det Norske Veritas (DNV). Design of Offshore Wind Turbine Structures.
- Wang, S., Wang, S., & Liu, J. (2019). Life-cycle green-house gas emissions of onshore and offshore wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 210, 804-810.
- Wind Map. 2019. Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources. Turkey wind map. [http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru\\_01.html](http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html).
- WWEA. 2019. World Wind Energy Association 2019. <https://wwindea.org/>



# A Review of Literature on the Quantitative Methods for Olive Yield Forecasting

İnanç Kabasakal<sup>1\*</sup>, Murat Özaltaş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ege University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0098-0144), [inanc.kabasakal@ege.edu.tr](mailto:inanc.kabasakal@ege.edu.tr)

<sup>2</sup> Ministry of Agriculture and Forestry, Olive Research Institute, Bornova, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0021-9443), [murat.ozaltas@tarimorman.gov.tr](mailto:murat.ozaltas@tarimorman.gov.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.900368)

**ATIF/REFERENCE:** Kabasakal, İ. & Özaltaş, M. (2021). A Review of Literature on the Quantitative Methods for Olive Yield Forecasting. *European Journal of Science and Technology*, (24), 351-358.

## Abstract

Yield forecasting is a task that provides critical inputs for producers and other stakeholders in agricultural marketing. Various methods have been applied to forecast olive yield in prior studies that primarily analyze datasets involving meteorological and phenological measurements. Our study reviews the prior literature on olive yield forecasting and explores the prominent methods employed in this context. Accordingly, we categorize prior models into two broad groups: pollen index forecasting and olive yield forecasting models. Moreover, our study highlights the popular methods and attributes involved in previous research, and reports the initial findings of the ongoing olive-yield forecasting project held in İzmir, Turkey. Finally, a discussion is presented regarding the techniques utilized and the attributes analyzed in forecasting models.

**Keywords:** Olive Yield Forecasting, Forecasting Models.

## Zeytin Verim Tahmininde Kullanılan Sayısal Modellere İlişkin Bir Literatür Araştırması

### Öz

Verim tahmini, tarımsal ürünlerin pazarlanmasında üreticiler ve diğer paydaşlar için önemli girdi sağlamaktadır. Zeytin verim tahmini çalışmalarında çeşitli yöntemler ile meteorolojik ve fenolojik ölçümlere dayalı verilerin incelendiği görülmektedir. Bu çalışmada, zeytin verim tahminleme çalışmalarına ilişkin bir derleme sunulmaktadır, bu kapsamda kullanılmış yaygın yöntemler ele alınmaktadır. İncelenen çalışmalar, polen endeksi ve zeytin verimi tahmini odaklı modeller biçiminde iki ana grupta toplanmıştır. Bununla birlikte, sunulan modellerde yaygın olarak kullanılan yöntemler ile incelenen nitelikler ele alınmış, İzmir’de başlayan zeytin verim tahmini projesi kapsamında elde edilen öncü veriler sunulmuştur. Son olarak, zeytin verim tahmini modellerinde incelenen nitelikler ve kullanılan yöntemlere ilişkin değerlendirmelere yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zeytin Verim Tahmini, Tahminleme Modelleri.

\* Corresponding Author: [inanc.kabasakal@ege.edu.tr](mailto:inanc.kabasakal@ege.edu.tr)

# 1. Introduction

Olive is a valuable product for Mediterranean countries, and olive yield forecasts are essential for both optimization of resources allocated for olive production and planning for the distribution of olive oil (Oteros et al., 2014). Forecasting is important for various managerial decisions in the agriculture sector, including financial planning, pricing, inventory management, and crop rotation optimization (Fornaciari et al., 2005). In a broader perspective, yield forecasts might provide insights about the supply in the future and signal emerging market conditions.

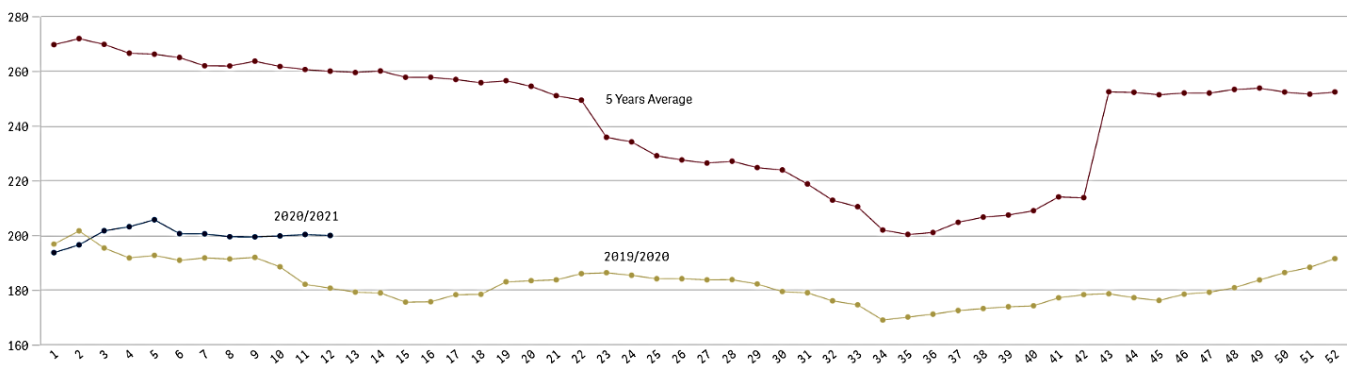
Yield forecasting is a widespread problem in agriculture that relies on data-driven models. Obtaining accurate foresight on yield might signify a shortage or excess of goods in a market. In particular, the forecasting of yield and prices are essential for farmers, agribusiness industries, and governments (Allen, 1994). Crop simulation models are often used for yield forecasting and might provide decision support functions for farmers (Basso et al., 2013). Another prominent forecasting task in agriculture concerns the prices since significant increases or declines might affect multiple stakeholders in supply chains. A recent study by Sabu and Kumar (2020) has developed multiple models to

develop arecanut prices and highlighted the better performance of the Long Short-Term Memory networks than the other methods tested.

In a machine-learning study to decide when to spray kiwifruits in New Zealand against leafroller incidences, Hill et al. (2014) highlighted the importance of using technology to reduce data collection costs. Besides, the study utilized various models, including Support Vector Machine, AdaBoost, Naïve Bayes, Random Forest, and Logistics Regression for automated (spray-or-not) decisions. Wireless sensor networks, such as humidity sensors in smart irrigation, are useful in automated agricultural tasks due to their context-awareness, autonomous operating ability, fault-tolerance, and intelligent decision-making capabilities (Ojha et al., 2015:68). In general, research for yield forecasting, including olive, could benefit from that progress over the next years.

The development of olive yield forecasting models can be described as a demanding task that requires research groups to conduct long-term projects. Olive oil is a valuable commodity, and there have been fluctuations in the market price through the years. The graph below demonstrates the virgin olive-oil prices in Spain, which is one of the primary exporters in the global market for olive oil.

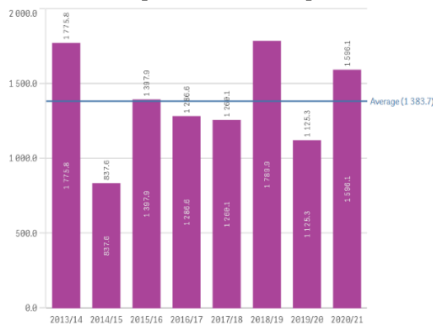
Figure 1 Weekly prices of virgin olive-oil in Spain (€/100kg)



Source: European Commission Agri-Food Data Portal (<https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardOliveOil/OliveOilPrices.html>)

As in the prices, Figure 2 further demonstrates noticeable fluctuations in total olive oil production in Spain. The decrease in production from 2013/2014 to 2014/2015 was noticeably high (52.8%).

Figure 2 Olive oil production in Spain (x1000 tons)



Source: European Commission Agri-Food Data Portal (<https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardOliveOil/OliveOilProduction.html>)

The variations in olive production and the uncertainty in market conditions both necessitate the significance of olive yield forecasting. Besides, accurate forecasts might benefit businesses, producers, and consumers. Forecasts for pollen concentrations are also crucial in medical research, especially for allergy-related studies. Consequently, pollen and olive yield forecasting problems have been receiving intensive attention from various disciplines.

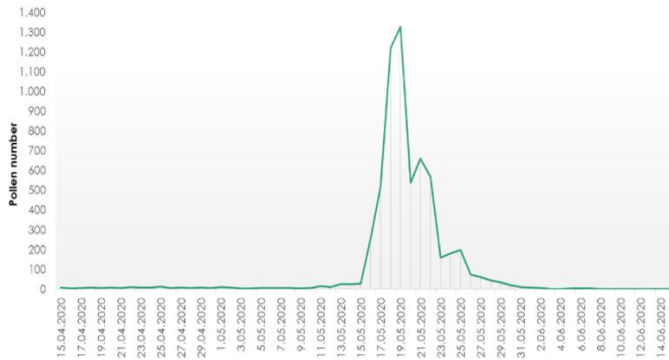
This paper fundamentally aims to investigate the olive yield forecasting methods and extends our prior study (Kabasakal and Özaltaş, 2018) by examining more recent literature. Besides, this study partially presents our preliminary research for our ongoing project to develop an olive yield forecasting model, which is supported by the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry. According to the project schedule, pollen concentration measurement has started in April 2020 and still going on by March 2021.



As a further detail, daily meteorological data, including daily measurements for temperature, rainfall, humidity, wind, atmospheric pressure, sunlight hours, and solar radiation, are recorded continuously for our project. Additionally, phenological states are monitored and recorded. Data collection in our project also involves the use of Hirst-type volumetric traps for measuring pollen concentrations, which provides valuable input in olive yield forecasting (García-Mozo, 2011).

Figure 3 depicts the daily airborne pollen concentrations recorded between 15.04.2020 and 14.06.2020 in the pilot region located in Kemalpaşa, İzmir, Turkey.

Figure 3 Olive Pollen Calendar in İzmir, Turkey



Before presenting our review, we note that most olive yield studies aim to provide forecasts and future projections, that are also among popular tasks in machine learning. As highlighted by Géron (2019), the success of machine learning applications typically relies on the data as well as the method being employed. In this sense, our review focuses on the attributes being analyzed in olive yield forecasting models, as much as the methods in use. Accordingly, we present and compare distinctive machine learning models and identify the differences noticed regarding the variables being utilized.

## 2. Material and Method

A variety of studies have been noted where forecasting models were developed towards significant problems in agriculture. The forecasting of prices and total yield was popular in this context, as well as the prediction of events for early warning systems. Such systems utilize classification and regression models to predict and avoid diseases (Corrales et al., 2015:210) and provide warnings for decision-makers. Yield forecasting techniques are applied for a variety of agricultural products, including olive.

Olive is an anemophilous species and has well adapted to wind pollination. The airborne pollen releasing from olive trees into the atmosphere is among important phenological data (García-Mozo, 2011), often exploited in olive yield forecasting. Osborne et al. (2000) conducted a study that links thermal factors with olive flowering dates in the Mediterranean region. Moreover, the authors highlighted that pollen concentration measurements could be used as a climate-warming indicator.

Another use case for airborne pollen data is the prediction of dates for olive phenophases. A study by Mancuso et al. (2002) developed an artificial neural network to analyze climatic data towards olive phenophase prediction. Pollen-based studies inherently depend on the collection of airborne pollens, even from multiple regions. Moreover, this might be considered a challenge that leads to costs for acquiring and running

specialized equipment, and even limits the number of projects on olive yield forecasting. Before presenting prior studies, our study addresses several challenges regarding olive yield forecasting models.

### 2.1. Challenges in Olive Yield Forecasting

Intuitively, a problem such as olive yield forecasting could be related tightly to environmental variables. Besides, differences might arise from the characteristics of the area for which fruit yield is to be forecasted. Furthermore, even in adjacent locations, data might differ due to specific conditions such as exposure to sunlight, micro-climate effects, elevation, and the type of soil. The variety of data involved in the various models for yield forecasting might show significant differences due to the constraints of the study as well. In addition, model development has its own difficulties to be handled. As highlighted by Oteros et al. (2013:313), developing a method that obtains a proper Pollen Index indicator is another challenge towards yield forecasting.

Another obstacle for yield forecasting involves the tasks and costs required for obtaining and using specialized equipment. Most forecasting models depend on airborne pollen measurements, and pollen data is collected by specific traps. Besides, routine tasks such as maintenance and calibration are occasionally required for continuous operation. Accordingly, olive yield forecasting studies require funds often granted with projects that have time and budget constraints. Moreover, the availability and the number of technical equipment might differ, as well as the staff hired to accomplish the controls, maintenance, and calibration required for seamless operation. Therefore, obtaining extensive volumes of recordings in data collection might be constrained by such factors in olive yield forecasting projects.

### 2.2. Forecasting Models

In our literature inquiry, we covered studies that relate to olive yield forecasting. Specifically, pollen forecasting models are reviewed as well as yield forecasting models. Pollen forecasting models primarily focus on forecasting the number of airborne pollens before the spring. Such studies utilize meteorological variables and provide a pollen index. Forecasting of olive yield also utilizes a similar subset of variables, mostly aggregated from various meteorological data. Additionally, olive yield forecasting models use pollen forecasts obtained before.

In this section, we summarize the prominent studies for olive yield forecasting and pollen forecasting, respectively. Subsequently, the next section will highlight the differences in models regarding the methods and attributes utilized.

#### 2.2.1. Olive Yield Forecasting Models

Olive yield forecasting can be considered as one of the crop yield forecasting problems in prior studies. To generalize, agrometeorological data is an essential input for crop yield forecasting, and there are numerous parameters to be used accordingly.

Statistical regression with agrometeorological inputs is prominently used in crop forecasting (Basso et al., 2013:10). The study by Çolakoğlu and Tunalioglu (2010) presented a multiple regression model to analyze meteorological data for olive yield forecasting. As in the wheat yield forecasting studies by Şimşek et al. (2007) and Yildirak et al. (2015), regression models in crop

yield forecasting often include additional indicators obtained regarding the phenological periods of the crop. The study by Cunha et al. (2016) aimed to forecast the volume of wine production in Alentejo, Portugal, and proposed a pollen-based regression model that achieved 81% accuracy.

The most common olive yield forecasting technique until the 1960s was plot census, which relied on a limited set of observations to predict the total olive production in a large region (García-Mozo, 2011:3; Dhiab et al., 2017:541). However, several drawbacks of this approach, including high costs and observer subjectivity, were highlighted by several scholars. García-Mozo (2011) and Dhiab et al. (2017) noticed this issue and underlined that airborne pollen models come forward due to their focus on quantitative data obtained through actual measurements.

In airborne pollen models, an indicator that signifies the pollen count is generated through a straightforward process that involves collecting and counting the pollens. The most common device for data collection is the Hirst-type spore trap; moreover, there are recent developments that pave the way for online data collection with the utilization of new technology, including image recognition, bio-molecular analysis, chemical identification (Oteros et al., 2015:159). The progress in airborne pollen measurement and pollen index monitoring has importance for other disciplines as well. For instance, the study by Buters et al. (2018) highlights the recent developments in pollen monitoring technology within the context of allergy and public health.

As a frontier in the olive yield and pollen index forecasting studies, Galán et al. (2004) analyzed over 20-years of data that involved metrological measurements, pollen concentrations, and other variables derived considering the olive tree phenology. The findings of the study confirmed that pollen emissions are useful predictors of olive yield, approximately eight months before the harvest. The authors proposed multiple regression models, in which the dependent variable is the olive yield, and the independent variables consist of Pollen Index (PI), and monthly rainfall & temperature data recorded over the flowering period and before the harvest. Moreover, the results reported involved multivariate regression models developed at different times. The independent variables involved in those models consist of pollen index as well as various periodical statistics of various meteorological measurements, which are briefly demonstrated in Table 1.

Table 1. Inputs of olive yield forecasting regression models developed by Galán et al. (2004)

Model	Date	Independent Variables
1	July	- Pollen Index - Rainfall amount in May - The minimum temperature in May - The minimum temperature in June - The maximum temperature in June
2	November	- Pollen Index - Rainfall amount in May - The minimum temperature in October - Rainfall amount in October - Rainfall amount in July - The maximum temperature in October - The minimum temperature in July

3	January	- Pollen Index - Rainfall amount in May - The minimum temperature in October - Rainfall amount in October - Rainfall amount in July - The maximum temperature in October - The maximum temperature in December - Rainfall amount in June - The maximum temperature in June - Rainfall amount in September - Rainfall amount in November - The maximum temperature in November - The minimum temperature in September
---	---------	--

Galán et al. (2004:46) defined the Pollen Index as the peak pollen concentration among the daily samples. As the results in Table 1 suggest, this attribute is an independent variable involved in the fruit yield forecast model, with a positive correlation coefficient as noted by the authors.

More recently, Oteros et al. (2014) developed a model based on the partial least squares regression method to predict the olive yield. The independent variables of the regression model involve temperatures, humidity, wind, rainfall, and daily solar radiation data. The authors reported that increasing water availability in spring and higher pollen index positively affected the total yield in the areas examined. It was noted that regression models included variables derived by periodic averages of meteorological data, as in the study conducted by Galán et al. (2004).

Orlandi et al. (2016) calculated aerobiological indicators regarding pollination and forecasted olive yields for three areas selected from Spain, Italy, and Tunisia; and proposed olive yield forecasts with the use of multiple regression analysis methods.

Another notable study for olive yield forecasting has been reported by Dhiab et al. (2017) in Tunisia. The model proposed depends on the partial least squares regression technique for analyzing independent variables derived from phenoclimatic measurements. The attributes involve cumulatives derived from measurements of temperature, rainfall, and humidity regarding the olive phenology. Besides, the authors calculated the indices listed in Table 2 that are among the inputs for the regression model:

Table 2. Several independent variables included in the regression model proposed by Dhiab et al. (2017)

Independent Variable	Description
Growing Degree Days (GDD)	A variable derived as a degree of accumulated heat requirements. Calculated as: $GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2] - T_b$ where: $T_{max}$ : Maximum daily temperature $T_{min}$ : Minimum daily temperature $T_b$ : Respective threshold for the site

Chilling Units (CHU)	A variable derived as a degree of accumulated cold requirements, calculated using the method presented by Crossa-Raynaud (1955).
Hot Days During Fruit Development	Count of days, when the average daily temperatures were higher than the average of maximum temperatures during the fruit development phase
Days for Optimal Pollen Grain Germination	Total days in the flowering period where average temperature is higher than 25°C.

In an earlier study, Fornaciari et al. (2005) also analyzed independent variables, including biological and meteorological parameters such as GDD, CU, daily pollen grain counts. The data was collected from Perugia, Italy, and the authors proposed a linear regression model to forecast olive yield based on the input variables mentioned.

A major element in crop yield forecasting was the use of pollen emission data, which had been pointed as a reliable indicator in relatively early studies of Galán et al. (2004) and Fornaciari et al. (2005). In this manner, forecasting of airborne pollen is also a problem highly relevant to yield forecasting. Accordingly, the next subsection reviews airborne pollen forecasting models in prior research.

### 2.2.2. Airborne Pollen Forecasting Models

Airborne pollen studies have been widely conducted by researchers of several fields, including aerobiology, agriculture, allergy, and medicine. The pollen measurements are valuable datasets for such domains, where significant trends and seasonal patterns are organized into specific calendars (Camacho et al., 2020) for decision-makers and researchers. Pollen measurements are helpful in building yield forecasting models for fruits.

Various researchers have investigated seasonal pollen levels and published regional pollen calendars. Bishan et al. (2020) published the pollen concentrations in Zhanjiang, South China, and reported the correlation among pollen measurements with several factors, including temperature and relative humidity. Similarly, there have been publications reporting pollen measurements in various regions of Turkey such as Aydın, Muğla, Manisa, (Ulaş and Güvensen, 2019; Güvensen et al., 2020), İstanbul (Celenk et al., 2010) and Antalya (Tosunoglu et al., 2015). *Olea* was among the species that were examined in those publications. It was also noted that the use of volumetric pollen traps was common in those studies.

In addition to pollen measurements, calendars, and regional reports, various publications have presented pollen index forecasts, particularly for olea pollens. A recent study by Tseng et al. (2020) utilized a hidden Markov model for pollen index forecasting that depends on observations of meteorological and biological data that were collected in two decades (1996-2015). An important study based on multivariate regression was publicized by Oteros et al. (2013) to forecast pollen intensity. The authors presented four indices used in their pollen index forecasting model:

- Thermal Index: calculated with the division of minimum temperatures recorded by the temperature range.

- Pre-Flowering Hydric Index: calculated as the total rainfall in February and March.
- Dormancy Hydric Index: calculated as the division of total rainfall by the sunlight hours, both recorded from September to January.
- Summer Index: calculated with a multiplication of the minimum temperature during the period between June and September, and the mean of hours with sunlight from June to August.

As described by the authors (Oteros et al., 2013), the independent variables of the forecasting model were constructed from prior measurements. It should also be noted that selection of attributes in forecasting models involved domain expertise, since the dates in those indices were carefully selected regarding the phenological states of olive. This study was also found noticeable due to the coverage of the dataset analyzed since the measurements for meteorological factors and pollens had been recorded for 29 years in Córdoba, Spain.

García-Mozo et al. (2014) also analyzed an extensive dataset that involved pollen measurements recorded between 1982-2011. The authors proposed ARIMA models to demonstrate long-term trends for pollen-related phenological attributes, including the pollen index. Furthermore, based on a significant rise of airborne pollens in Spain, García-Mozo et al. (2016) analyzed the daily pollen counts, obtained the trend component of airborne pollen data using seasonal-trend decomposition over time-series data, and proposed a linear regression model over the regular pollen trend data along with external variables. The independent variables included in the linear regression model consist of annual, quarterly, and daily temperatures with mean and peak values as well as rainfall data organized similarly.

Another notable study by Galán et al. (2016) stepped forward by identifying airborne pollen trends in 12 locations in Iberia and analyzing the data collected over two decades. Linear regression analysis was used in forecasting, where the results depicted trend lines for the pollen indices regarding each of 12 locations individually.

Based on the projects and publications mentioned so far, we could argue that pollen index forecasting models are usually time-series analyses that analyze actual measurements as well as research-specific indices aggregated from data. As noticed by Tseng et al. (2020), those publications dominantly utilized regression models in pollen forecasting.

The notable studies in our review that focus on either forecasting of olive yield or olive pollen index have been presented in Table 3:

Table 3. A summary of forecasting models regarding airborne pollens and olive fruit yield.

Authors	Forecasted Variable	Methods
Galán et al. (2004)	Olive Yield	Multiple Regression
Fornaciari, Orlandi, and Romano (2005)	Olive Yield	Linear Regression
Basso, Cammarano, and Carfagna (2013)	Olive Yield	Regression Analysis

Oteros et al. (2013)	Olive Pollen Index	Multivariate Regression
García-Mozo et al. (2014)	Pollen Index for multiple species, including olea	ARIMA
Oteros et al. (2014)	Olive Yield	Partial Least Squares Regression
Orlandi et al. (2016)	Olive Yield	Multiple Regression
Galán et al. (2016)	Olive Pollen Index	Linear Trendline Model
Dhiab et al. (2017)	Olive Yield	Partial Least Squares Regression
Merkoci, Hasimi, and Dvorani (2019)	Olive Yield	Multiple Regression

### 3. Results and Discussion

After the literature inquiry, it can be noticed that most studies follow two main approaches: olive yield forecasting and airborne pollen forecasting. Considering the objective of our study, both approaches are aligned with the objective of fruit yield forecasting. Despite the difference of focus with olive yield forecasting models, airborne pollen forecasting models are still linked to the problem since they obtain pollen indices serving as crucial indicators for olive yield forecasting.

A noticeable difference in both groups of methods is the schedule of practice: airborne pollen forecasting is conducted a few months before the pollination, whereas olive yield forecasting is conducted after the pollen samples are evaluated. In this regard, we underline that both groups of models might be described as complementary, rather than alternatives in olive yield forecasting.

The quantitative methods adopted in both approaches often depend on regression models. Among the models investigated, we noted that independent variables derived from temperature, rainfall, wind, humidity, and sunlight measurements were prominently included in the forecasting models. Besides, aggregated data such as monthly averages, minimum or maximum values, or total days between specific occasions are occasionally used involved as datasets. As in the variables demonstrated in Table 1 and Table 2, yield-forecasting models make use of indices calculated from meteorological data organized considering olive phenology. The existence of pollen index forecasts also provides critical input for yield forecasting models and enables obtaining forecasts before actual measurements are available.

A notable remark in our review was the scope of data collection in forecasting studies. Several highly popular publications mentioned in our review (Galán et al., 2004; Oteros et al., 2013; Tseng et al., 2020) have covered large datasets, including measurements for various attributes recorded since 1980s. Mainly, regions from Spain and Portugal were the hotspots for olive yield forecasting studies that benefit from such volumes of data. Obviously, the availability of long-term data is a requirement, and a significant advantage in developing both yield and pollen forecasting models with high accuracy.

### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, prior research on olive yield forecasting has been reviewed with a focus on the models proposed for that purpose. After reviewing the literature on such models, prominent studies have been listed with their methodology and output.

As noted in the discussion section, prior research involves forecasting models focusing on olive yields and airborne pollen concentrations. Our study included and categorized those studies as two groups: olive yield forecasting models and pollen concentration forecasting models. The latter models provide indirect but useful results since the pollen index is usually regarded as a critical indicator for olive yield. Apart from the latter group, the olive yield forecasting models ultimately utilized attributes that represent pollen concentration, such as the pollen index. It was noted that both groups of forecasting studies mostly relied on multiple regression techniques.

The forecasting models reviewed primarily used pollen-based variables as inputs. Accordingly, we should note that the availability of accurate and sufficient pollen measurements is vital in olive yield forecasting. Besides, the prominent publications in olive yield forecasting have been possible after long-term projects that enable conducting pollen measurements for decades. The pollen datasets are also useful for research groups from biology, medicine, environmental studies, and other disciplines.

From a managerial perspective, we underline that accurate crop yield forecasts are valuable inputs for decision-makers, both in businesses and governments. Such insights are obtained by researchers and analysts who develop statistical models with the use of data accumulated over many years. Moreover, the availability of large datasets is a requirement to obtain forecasts through statistical models and machine-learning applications. In this regard, the emergence of prominent studies from Spain was no surprise; because of the existence of numerous recordings accumulated for several decades. Accordingly, the significance of olive yield forecasting is obvious for Turkey, which is also one of the major global olive oil producers.

As a final note, we would like to report the current progress in the olive-yield forecasting project by the Olive Research Institute, İzmir, Turkey. Both authors are involved in the project, and Hirst-type volumetric traps are used for data collection since April 2020. A depiction of pollen concentrations recorded in the spring of 2020 was presented above in Figure 3. Besides, there have been promising developments recently, including the progress in sensors and mobile technologies on the route to develop olive-yield forecasting models. The use of smart sensors provides substantial opportunities in agriculture (De Clercq et al., 2018) by facilitating real-time data collection and processing. Remarkably, the availability of image recognition in automatic pollen monitors and new instruments extend the capability to capture pollen measurements with timely peak recordings (Buters et al., 2018). In this regard, machine learning models might be promising in crop yield forecasting, especially when larger volumes of data are available with a high number of attributes (Paudel et al., 2021). Accordingly, further research might be beneficial to develop forecasting models with the use of sensors and machine learning in coordination with researchers, domain experts, and IT specialists.

## 5. Acknowledge

This study has been conducted as a part of the project (Project-No: TAGEM/TSKA D/B/18/A9/P6/1246) entitled "Exploring the relations between pollen concentration and meteorological factors in olive yield forecasting (Zeytin Verim Tahmininde Polen Konsantrasyonu ve Bazı İklim Verileri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi)" funded by the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry.

## References

- Allen, P.G. (1994). Economic Forecasting in Agriculture. *International Journal of Forecasting*, 10, 81-135.
- Basso, B., Cammarano, D., Carfagna, E. (2013). Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. *Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics*, FAO Headquarters, Rome, Italy, 18-19.
- Bishan, C., Bing, L., Chixin, C., Junxia, S., Shulin, Z., Cailang, L., Siqiao, Y., Chuanxiu, L. (2020). Relationship between airborne pollen assemblages and major meteorological parameters in Zhanjiang, South China. *Plos one*, 15(10), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240160>
- Buters, J., Schmidt-Weber, C., Oteros, J. (2018). Next generation pollen monitoring and dissemination. *Allergy*, 73, 1944-1945. <https://doi.org/10.1111/all.13585>
- Camacho, I., Caeiro, E., Nunes, C., Morais-Almeida, M. (2020). Airborne pollen calendar of Portugal: a 15-year survey (2002–2017). *Allergologia et immunopathologia*, 48(2), 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2019.06.012>
- Celenk, S., Bicakci, A., Tamay, Z., Guler, N., Altunoglu, M. K., Canitez, Y., Malyer, H., Sapan, N., Ones, U. (2010). Airborne pollen in European and Asian parts of Istanbul. *Environmental monitoring and assessment*, 164(1), 391-402. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0901-1>
- Corrales, D. C., Corrales, J. C., Figueroa-Casas, A. (2015). Towards detecting crop diseases and pest by supervised learning. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 207-228. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.tdcd>
- Crossa-Raynaud, P. (1955). Effets des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers à feuilles caduques: Observations faites en Tunisie à la suite de l'hiver 1954-1955. *Impr. La Rapide*, 1-22.
- Cunha, M., Ribeiro, H., Abreu, I. (2016). Pollen-based predictive modelling of wine production: application to an arid region. *European Journal of Agronomy*, 73, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.088>
- Çolakoğlu, C.A., Tunalioglu, R. (2010). Determination of Relationship between Climate Data and Olive Production Data in Aydın Province. *Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty*, 7(1), 71-77.
- De Clercq, M., Vats, A., Biel, A. (2009). Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. 2018 World Government Summit Report. Source: <https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=95df8ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>
- Dhiab, A. B., Mimoun, M. B., Oteros, J., Garcia-Mozo, H., Domínguez-Vilches, E., Galán, C., Abichou, M., Msallem, M. (2017). Modeling olive-crop forecasting in Tunisia. *Theoretical and applied climatology*, 128(3-4), 541-549. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1726-1>
- European Commission (2020). "Agri-Food Data Portal", Available: <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DataPortal/home.html>, Data Accessed: 07.02.2021.
- Fornaciari, M., Orlandi, F., Romano, B. (2005). Yield forecasting for olive trees: a new approach in a historical series (Umbria, Central Italy). *Agronomy Journal*, 97(6), 1537-1542. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0067>
- Galán, C., Vázquez, L., Garcia-Mozo, H., Dominguez, E. (2004). Forecasting Olive (*Olea Europaea*) Crop Yield Based on Pollen Emission. *Field Crops Research*, 86(1), 43-51.
- Galán, C., Alcázar, P., Oteros, J., García-Mozo, H., Aira, M. J., Belmonte, J., de la Guardia, C.D., Fernández-González, D., Gutierrez-Bustillo, M., Moreno-Grau, S., Pérez-Badia, R., Rodríguez-Rajo, J., Ruiz-Valenzuela, L., Tormo, R., Trigo, M.M., Domínguez-Vilches, E. (2016). Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 550, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.069>
- García-Mozo, H. (2011). The use of aerobiological data on agronomical studies. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(1), 1-6.
- García-Mozo, H., Yaezel, L., Oteros, J., Galán, C. (2014). Statistical approach to the analysis of olive long-term pollen season trends in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 473, 103-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.142>
- García-Mozo, H., Oteros, J. A., Galán, C. (2016). Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. *Science of the Total Environment*, 548, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.005>
- Géron, A. (2019). *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems* (2nd ed.), O'Reilly, Canada.
- Güvensen, A., Uğuz, U., Altun, T., Eşiz-Dereboylu, A., Şengonca-Tort, N. (2020). Aeropalynological survey in the city center of Aydın (Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 44(5), 539-551. <https://doi.org/10.3906/bot-1909-38>
- Hill, M. G., Connolly, P. G., Reutemann, P., Fletcher, D. (2014). The use of data mining to assist crop protection decisions on kiwifruit in New Zealand. *Computers and electronics in agriculture*, 108, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.011>
- Kabasakal, İ., Özaltaş, M. (2018). Quantitative Methods for Olive Harvest Prediction: A Classification Based on Prior Research. *Proceedings of the 29th International Scientific - Expert Conference of Agriculture and Food Industry*. September 26-28, Çeşme, İzmir, Turkey, 164-171.
- Mancuso, S., Pasquali, G., & Fiorino, P. (2002). Phenology modelling and forecasting in olive (*Olea europaea* L.) using artificial neural networks. *Advances in Horticultural Science*, 16(3/4), 155-164.
- Merkoci, A. L., Hasimi, A., Dvorani, M. (2019). Yield forecasting for olive tree by meteorological factors and pollen emission. *Micro Macro & Mezzo Geo Information*, 12, 7-16.
- Ojha, T., Misra, S., Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- Orlandi, F., Aguilera, F., Galán, C., Msallem, M., Fornaciari, M. (2016). Olive Yields Forecasts and Oil Price Trends in

- Mediterranean Areas: A Comprehensive Analysis of the last two Decades. *Experimental Agriculture*, 53(1), 71-83. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000077>
- Osborne, C. P., Chuine, I., Viner, D., & Woodward, F. I. (2000). Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell & Environment*, 23(7), 701-710. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00584.x>
- Oteros, J., García-Mozo, H., Hervás, C., Galán, C. (2013). Biometeorological and autoregressive indices for predicting olive pollen intensity. *International Journal of Biometeorology*, 57(2), 307-316. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0555-5>
- Oteros, J., Orlandi, F., García-Mozo, H., Aguilera, F., Dhiab, A. B., Bonofiglio, T., Abichou, M., Ruiz-Valenzuela, L., Mar del Trigo, M., Díaz de la Guardia, C., Domínguez-Vilches, E., Msallem, M., Fornaciari, M. (2014). Better Prediction of Mediterranean Olive Production Using Pollen-Based Models. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(3), 685-694. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0198-x>
- Oteros, J., Pusch, G., Weichenmeier, I., Heimann, U., Möller, R., Röseler, S., Traidl-Hoffmann, C., Schmidt-Weber, C., Buters, J.T.M. (2015). Automatic and online pollen monitoring. *International Archives of Allergy and Immunology*, 167(3), 158-166. <https://doi.org/10.1159/000436968>
- Paudel, D., Boogaard, H., de Wit, A., Janssen, S., Osinga, S., Pylaniadis, C., Athanasiadis, I. N. (2021). Machine learning for large-scale crop yield forecasting. *Agricultural Systems*, 187, 103016. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103016>
- Sabu, K. M., Kumar, T. M. (2020). Predictive analytics in Agriculture: Forecasting prices of Arecanuts in Kerala. *Procedia Computer Science*, 171, 699-708. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.076>
- Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özaydın, K. A., Çakmak, B. (2007). AgroMetShell modeli kullanılarak Türkiye’de buğdayın verim tahmini. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(03), 299-308.
- Tosunoglu, A., Altunoglu, M. K., Bicakci, A., Kilic, O., Gonca, T., Yilmazer, I., Saatcioglu, G., Akkaya, A., Celenk, S., Canitez, Y., Malyer, H., Sapan, N. (2015). Atmospheric pollen concentrations in Antalya, South Turkey. *Aerobiologia*, 31(1), 99-109. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9350-6>
- Tseng, Y. T., Kawashima, S., Kobayashi, S., Takeuchi, S., & Nakamura, K. (2020). Forecasting the seasonal pollen index by using a hidden Markov model combining meteorological and biological factors. *Science of the Total Environment*, 698, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134246>
- Ulaş, U., Güvensen, A. (2019). Olea europaea L. polenlerinin Aydın, Manisa ve Muğla atmosferindeki dağılımları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 936-942. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.565330>
- Yildirak, K., Kalaylıoğlu, Z., & Mermer, A. (2015). Bayesian estimation of crop yield function: drought based wheat prediction model for tigem farms. *Environmental and ecological statistics*, 22(4), 693-704. <https://doi.org/10.1007/s10651-015-0327-6>



# A Finite Element Implementation of A Phenomenological Constitutive Model for Rubber-like Materials

İsmail Doğan Külcü<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Materials Science and Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5431-7802), [ismaildogan.kulcu@ikc.edu.tr](mailto:ismaildogan.kulcu@ikc.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901867)

**ATIF/REFERENCE:** Külcü, İ.D. (2021). A Finite Element Implementation of A Phenomenological Constitutive Model for Rubber-like Materials. *European Journal of Science and Technology*, (24), 359-363.

## Abstract

In this paper, a finite element implementation of a recently proposed phenomenological constitutive model for rubber-like materials is represented based on the fundamentals of continuum mechanics and rubber elasticity. The phenomenological model is first fitted to the hyperelastic behavior of an unfilled silicon rubber subjected to five different uniform deformations. Then, a subroutine is written to import the model into the finite element software and an unfilled silicon rubber sheet is numerically modeled in the commercial finite element software. As performed in the experiments by Meunier et al (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008), the rubber sheet is deformed 57.2 mm along the vertical axes in the simulations. Good agreement between the numerical model and experimental data is obtained.

**Keywords:** Rubber-like materials, Constitutive modeling, Hyperelasticity, FEM implementation.

## Bir Fenomenolojik Yapısal Modelin Kauçuk Tipi Malzemeler İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulaması

### Öz

Bu makalede, kauçuk tipi malzemelerin yapısal olarak modellenmesi için yakın zamanda önerilmiş olan bir fenomenolojik model sürekli ortamlar mekaniği ve kauçuk elastisitesi temellerine dayanarak sonlu elemanlar yöntemi içerisinde adapte edilmiştir. Model, ilk önce saf silikon kauçuğun beş farklı yükleme altında gösterdiği hiperelastik davranışlara göre kalibre edilmiştir. Sonrasında modeli sonlu elemanlar yöntemi yazılımına adapte etmek için altprogram yazılmış ve üzerinde delikler olan saf silikon kauçuk levha yazılım içerisinde nümerik olarak modellenmiştir. Meunier ve diğerlerinin (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008) deneylerde yaptığı gibi kauçuk levha simülasyon içerisinde 57.2 mm dikey deplasmana maruz bırakılmıştır. Yapılan ölçümlerde nümerik modelin ve deneysel verilerin örtüştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kauçuk tipi malzemeler, Yapısal modelleme, Hiperelastisite, SEY uygulamaları.

\* Corresponding Author: [ismaildogan.kulcu@ikc.edu.tr](mailto:ismaildogan.kulcu@ikc.edu.tr)

## 1. Introduction

Rubber-like materials are a class of polymers having a wide range of industrial applications ranging from tires to electronics, textile to isolation systems. Due to their application capability, their physical and mechanical characterization is crucial. However, rubber-like materials, such as carbon-black rubber, soft tissues, hydrogels, exhibit nonlinear inelastic features under large deformation. As such materials can sustain strain up to 20 times of initial length (Sun, et al., 2012), their mechanical characterization is complicated. Although, in literature, there have been many constitutive models in different scales proposed to describe the non-linearity and inelasticity of rubber-like materials (Boyce & Arruda, 2000), (Diani, Fayolle, & Gilormini, 2009), (Steinmann, Hossain, & Possart, 2012), the background of their complicated mechanical behavior is still indefinable. Therefore, since the beginning of the 1900s, there have been many studies carried out to identify structural properties of such materials during the course of deformation.

Constitutive modeling based on the fundamentals of continuum mechanics and rubber elasticity is a powerful tool to characterize behaviors of the materials, which can sustain large deformation. In general, constitutive modeling of rubber-like materials can be split into two parts: micro-mechanical and phenomenological. Despite higher computational costs and some idealization approaches, micro-mechanical models get more attention since they have interpreted the macroscopic material behavior with the change of the physical properties during deformation. This property is an important benefit compared to phenomenological models. Some of the micro-mechanical constitutive models for rubber-like materials are the 3-chain, 4-chain, 8-chain, and unit sphere models (Steinmann, Hossain, & Possart, 2012). However, in commercial applications, phenomenological models are broadly chosen due to computational cost. The commercial software, i.e., ANSYS®, ABAQUS®, also contains some of the very important phenomenological constitutive models ready to use.

The phenomenological models describe the macro-mechanical behavior based on the fundamentals of continuum mechanics and can be classified into two approaches: principal stretch- and invariant-based models. Ogden (Ogden, 1972) proposed a principal stretch-based model. The model is very flexible and can describe the mechanical behavior of various materials. Early strain invariant-based models are Mooney-Rivlin type (Mooney, 1940). The simplest expression is known as the neo-Hookean model that describes the material behavior for moderate deformations. Among the strain invariant-based models, Yeoh (Yeoh O. H., 1990), Gent (Gent, 1996), Yeoh and Fleming (Yeoh & Fleming, 1997), Carroll (Carroll, 2011) models are widely used in the literature. Recently, Blaise et al. (Blaise, Bien-aimé, Betchewe, Marckman, & Beda, 2020), Mansouri & Darijani (Mansouri & Darijani, 2014), and Darijani & Naghdabadi (Darijani & Naghdabadi, 2010) proposed successful phenomenological constitutive models.

In the present paper, the predictive capability of the model proposed by Külcü (Külcü, 2020) for complicated finite element simulations is examined. Firstly, the experimental data of five different loading modes are reproduced by the model having a constant value of material parameters for each deformation type.

Then, the model is implemented into finite element simulation via subroutines. Lastly, the results of the numerical model have competed against the experimental data.

## 2. Modeling

### 2.1. The Fundamentals of Continuum Mechanics

The continuum mechanics approach is an effective tool, which does not consider discontinuities of microscopic systems. It is frequently used to develop mathematical models of material behavior to estimate the material deformation and motion. In the following, basic terms of the continuum mechanics used in this study are shown.

Let  $\mathbf{F}$  be the deformation gradients that maps a material point  $\mathbf{X}$  in the reference configuration to a point  $\mathbf{x}$  in current configuration and shown as

$$\mathbf{x} = \mathbf{F}\mathbf{X} \quad (1)$$

Also, let  $\Psi = \Psi(\mathbf{C}, \xi)$  be the strain energy function per unit volume of a rubber-like material, with  $\xi$  being some internal variables. Now, considering that the rubber-like material is nearly incompressible, the strain energy function can be additively decomposed into volumetric and isochoric parts (Flory, 1961) such as

$$\Psi(\mathbf{C}, \xi) = U(J) + \Psi_{iso}(\mathbf{C}', \xi) \quad (2)$$

where the first term on the right-hand side is taken into account for the volumetric response of the material, whereas the second term is for the distortional deformation. In Eq. (2),  $\mathbf{C}$  is the right Cauchy Green tensor,  $J$  is the volume change and  $\mathbf{C}'$  is the unimodular tensor describing the distortional deformation.

$\mathbf{C}$  and  $\mathbf{C}'$  can be written as follows

$$\mathbf{C} = \mathbf{F}^T \mathbf{F}, \quad (3)$$

$$\mathbf{C}' = J^{-2/3} \mathbf{C}. \quad (4)$$

### 2.2. The Constitutive Model

In practice, to appraise the accuracy and applicability of a particular constitutive model, a simple experiment is performed and the results are compared with the data reproduced by the model. To the best of our knowledge, an ideal phenomenological constitutive model should contain the following requirements:

1. Include few material parameters as possible,
2. Describe different relatively complicated deformation behavior,
3. Reproduce the behavior of different materials.

However, the macro-mechanical models found in literature often suffer one or two of the above-mentioned requirements. Some of them contain more material parameters, some of them are not able to characterize the material behavior under different loading modes (see (Steinmann, Hossain, & Possart, 2012)). Such drawbacks result in difficulties in the structural analysis, which is carried out in the finite element simulations.

Recently, Külcü (Külcü, 2020) proposed a phenomenological constitutive model that represents material



behavior with a constant material parameter for the classical Treloar experimental data (Treloar, 1944). Also, experimental data of rubber by Sasso et al. (Sasso, Palmieri, Chiappini, & Amodio, 2008) is successfully reproduced by the model. Lastly, experimental data of different materials, such as collagen and fibrin (Storm, Pastore, MacKintosh, Lubensky, & Janmey, 2005), is utilized to check the model accuracy.

This model is represented as

$$\Psi = \mu \left[ f(I_1, \alpha) + f\left(I_2, -\frac{\alpha}{16}\right) + \ln\left(\frac{1}{\alpha} f(I_1, 1) + 1\right) \right], \quad (5)$$

where  $I_1$  and  $I_2$  are the first and second strain invariants of right Cauchy-Green tensor, respectively,  $\mu$  is the shear modulus,  $\alpha$  is the scalar material parameter and

$$f(x, y) = \frac{\alpha}{y} [e^{y|x-3|} - 1]. \quad (6)$$

The strain invariants can be calculated as

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, \quad (7)$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_1^2 \lambda_3^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2, \quad (8)$$

where  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) is the principal stretch. The principal stretches can be written for different uniform deformation modes as shown in Table 1.

Table 1. Principle stretches

	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
Uniaxial	$\lambda$	$\lambda^{0.5}$	$\lambda^{0.5}$
Equibiaxial	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda^{0.5}$
Pure shear	$\lambda$	$\lambda^{-1}$	1

Finally, by considering the incompressibility condition for rubber-like materials, the first Piola-Kirchhoff stress is written as

$$P_i = \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda_i} - \frac{1}{\lambda_i} p \quad (i = 1, 2, 3), \quad (9)$$

where  $p$  is the Lagrange multiplier. The first Piola-Kirchhoff stress for the uniaxial, equibiaxial, and pure shear deformations are represented as

$$P_{uniaxial} = 2\mu \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) \left( \alpha e^{(\alpha|I_1-3|)} + \alpha \frac{1}{\lambda} e^{\left(\frac{-\alpha|I_2-3|}{16}\right)} + 1 \right), \quad (10)$$

$$P_{equibiaxial} = 2\mu \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^5} \right) \left( \alpha e^{(\alpha|I_1-3|)} + \alpha \lambda^2 e^{\left(\frac{-\alpha|I_2-3|}{16}\right)} + 1 \right), \quad (11)$$

$$P_{pureshear} = 2\mu \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^3} \right) \left( \alpha e^{(\alpha|I_1-3|)} + \alpha e^{\left(\frac{-\alpha|I_2-3|}{16}\right)} + 1 \right). \quad (12)$$

To implement the model into finite element application, Abaqus® is utilized. The model is coded for user subroutine UHYPER.

### 3. Results and Discussion

The aim to constitute a material model is to predict material behavior under complicated deformations. Implementing a material model into the finite element simulations is significant to perform such analysis. In this contribution, the Külcü model is implemented by writing a code and importing the code into a commercial finite element software. Experimental data of unfilled silicon rubber by Meunier et al. (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008) is utilized to check the accuracy of the model in finite element simulations. Therefore, the model is first fitted to the five different uniform deformations. In Figure 1, the fitting of the model against uniaxial tension/compression, equibiaxial tension, and tensile/compressive pure shear tests are represented. The model is able to reproduce all of the deformations with constant values of material parameters.

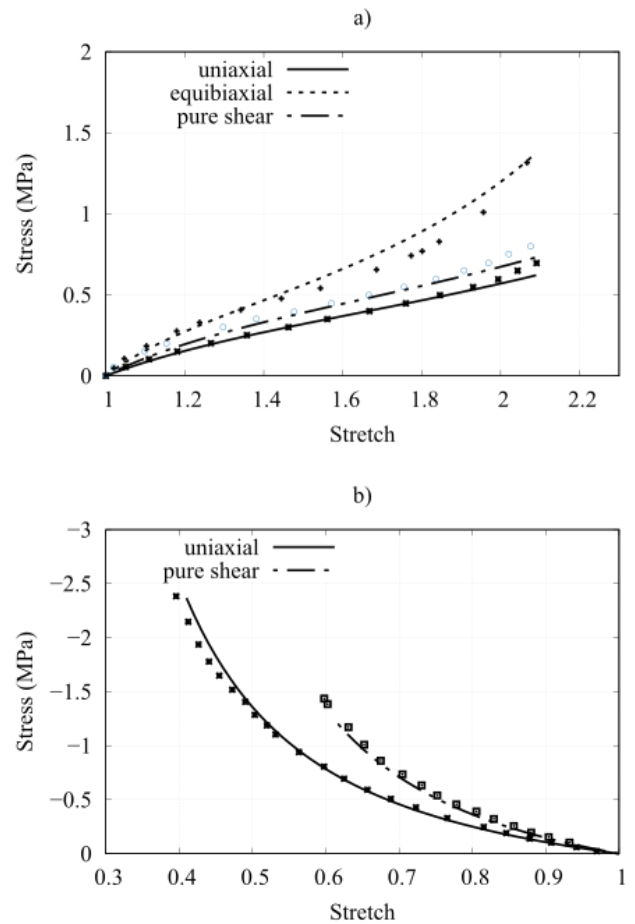


Figure 1. Comparison of the Külcü model against the experimental data of unfilled silicon rubbers by Meunier et al. (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008) ( $\mu = 0.1, \alpha = 0.28$ ) a. tensile tests, b. compressive test

The error margin of the model for this particular comparison is calculated as

$$\text{Error}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [P_{model}(\lambda_i) - P_{exp}(\lambda_i)]^2, \quad (13)$$

where  $N$  is the number of experimental data. In Table 2, the mean error margin of the model in comparison to the experimental data shown in Figure 1 is represented. A relatively small error margin is achieved for the model comparison.

Table 2. The mean error margin of the model compared to experimental data by Meunier et al. (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008)

Deformation	Error (MPa)
Uniaxial	0.027
Equibiaxial	0.051
Pure shear	0.040
Compressive uniaxial	0.097
Compressive pure shear	0.022

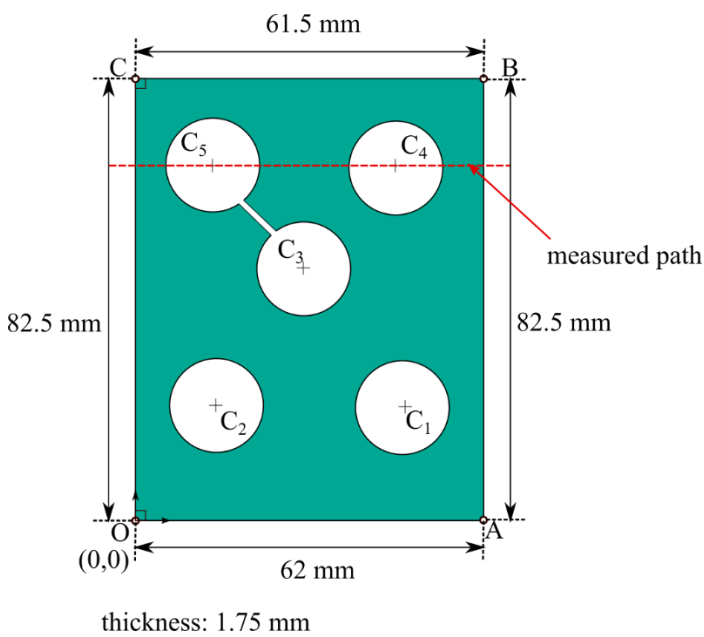


Figure 2. A rubber specimen simulated using the finite element method

Further, an unfilled silicon rubber specimen is accounted for in the finite element simulations. Figure 2 represents the dimensions of the rubber sheet tested in the experiments, whereas Table 3 shows the locations of the holes placed on the rubber sheet (Khiêm & Itskov, 2016). There is a cut between C<sub>3</sub> and C<sub>5</sub>.

Table 3. Location of the holes on the rubber sheet

	X(mm)	Y(mm)
C1	47.5	21.2
C2	14.0	23.0
C3	31.5	40.5
C4	47.5	59.0
C5	14.5	58.0

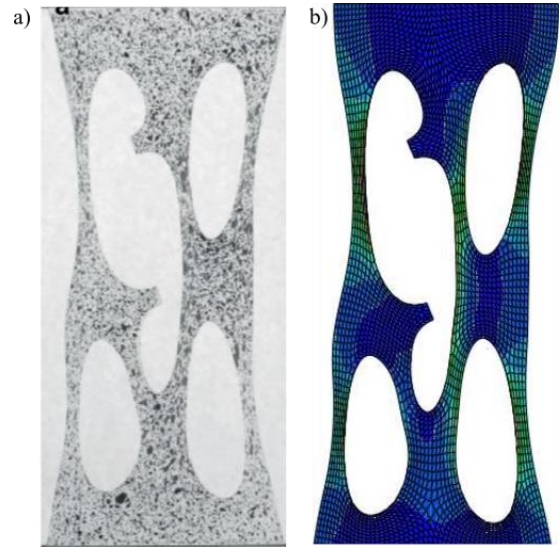


Figure 3. A rubber specimen simulated using the finite element method: a) experiment, b) simulation

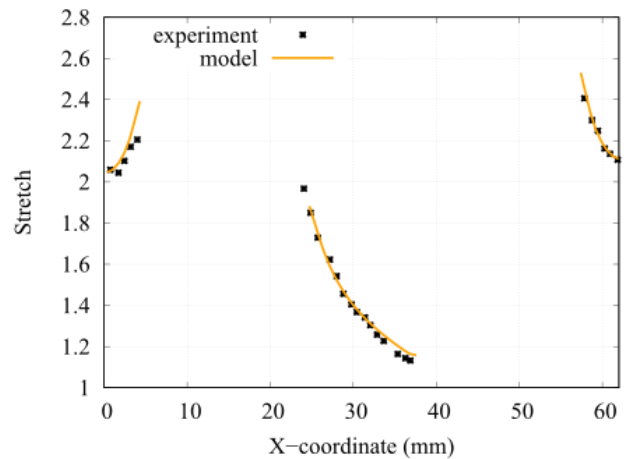


Figure 4. Comparison of the numerical model with the experimental data taken from the measured path

The rubber specimen discretized by 6566 linear hexahedral elements of type C3D8H is fixed at the bottom and subjected to the vertical deformation of 57.2 mm as performed in the experiment (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008). Figure 3 shows the deformed configuration of the rubber specimen in the experiment and simulation. In the simulation, a deformed configuration that is similar to one obtained in the experiment is captured. This fact indicates that the model qualitatively describes the experimental data.

In Figure 4, a comparison of the numerical model and the experimental data taken from the measured path shown in Figure 2 is illustrated. In the numerical model, the values of the material parameters are considered to be  $\mu = 0.1$ ,  $\alpha = 0.28$  as in Figure 1. The deformation along the measured path in the numerical model and the experimental data shows a good match. Therefore, the results of the finite element simulation show

quantitatively good agreement with the experimental data as well.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Rubber-like materials are commercially widely-used, and the characterization of their properties is therefore significant. In this contribution, the numerical implementation of a phenomenological model proposed by Külçü (Külçü, 2020) is studied. The model is first fitted to the experimental data of five different uniform deformations by Meunier et al. (Meunier, Chagnon, Favier, Orgéas, & Vacher, 2008). Then, the model is utilized in the finite element simulation by writing a user-defined subroutine. A silicon rubber specimen having five holes, in which two of them have a cut in between, is accounted for in the numerical analysis. The model is discretized by the approximately 6500 elements and loads are applied as done in the experiments. Qualitatively and quantitatively good agreement between the numerical model and experimental data is obtained. Further, the predictive capability of the model may be checked on the fiber-reinforced rubber-like materials.

#### References

- Blaise, B. B., Bien-aimé, L. K., Betchewe, G., Marckman, G., & Beda, T. (2020). A phenomenological expression of strain energy in large elastic deformations of isotropic materials. *Iranian Polymer Journal*, 29(6), 525-533.
- Boyce, M. C., & Arruda, E. M. (2000). Constitutive models of rubber elasticity: a review. *Rubber chemistry and technology*, 73, 504-523.
- Carroll, M. M. (2011). A strain energy function for vulcanized rubbers. *Journal of Elasticity*, 103, 173-187.
- Darijani, H., & Naghdabadi, R. .. (2010). Hyperelastic materials behavior modeling using consistent strain energy density functions. *Acta mechanica*, 213(3), 235-254.
- Diani, J., Fayolle, B., & Gilormini, P. (2009). A review on the Mullins effect. *European Polymer Journal*, 45, 601. doi:10.1016/j.eurpolymj.2008.11.017
- Flory, P. J. (1961). Thermodynamic relations for high elastic materials. *Transactions of the Faraday Society* 57, 829-838.
- Gent, A. N. (1996). A new constitutive relation for rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 69, 59.
- Khiêm, V. N., & Itskov, M. (2016). Analytical network-averaging of the tube model: Rubber elasticity. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 95, 254-269.
- Külçü, İ. D. (2020). A hyperelastic constitutive model for rubber-like materials. *Archive of Applied Mechanics*, 90, 615-622.
- Mansouri, M., & Darijani, H. (2014). Constitutive modeling of isotropic hyperelastic materials in an exponential framework using a self-contained approach. *International Journal of Solids and Structures* 51(25–26), 4316–4326.
- Meunier, L., Chagnon, G., Favier, D., Orgéas, L., & Vacher, P. (2008). Mechanical experimental characterisation and numerical modelling of an unfilled silicone rubber. *Polymer testing*, 27, 765-777.
- Mooney, M. (1940). A theory of large elastic deformation. *Journal of applied physics*, 11, 582-592.
- Ogden, R. W. (1972). Large deformation isotropic elasticity--on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 326, 565-584.
- Sasso, M., Palmieri, G., Chiappini, G., & Amodio, D. (2008). Characterization of hyperelastic rubber-like materials by biaxial and uniaxial stretching tests based on optical methods. *Polymer Testing* 27(8), 995–1004.
- Steinmann, P., Hossain, M., & Possart, G. (2012). Hyperelastic models for rubber-like materials: consistent tangent operators and suitability for Treloar's data. *Archive of Applied Mechanics*, 82, 1183-1217.
- Storm, C., Pastore, J., MacKintosh, F., Lubensky, T., & Janmey, P. (2005). Nonlinear elasticity in biological gels. *Nature* 435(7039), 191.
- Sun, J.-Y., Zhao, X., Illeperuma, W. R., Chaudhuri, O., Oh, K. H., Mooney, D. J., . . . Suo, Z. (2012). Highly stretchable and tough hydrogels. *Nature*, 489, 133-136.
- Treloar, L. R. (1944). Stress-strain data for vulcanized rubber under various types of deformation. . *Rubber Chemistry and Technology*, 17(4), 813-825.
- Yeoh, O. H. (1990). Characterization of elastic properties of carbon-black-filled rubber vulcanizates. *Rubber chemistry and technology*, 63, 792-805.
- Yeoh, O. H., & Fleming, P. D. (1997). A new attempt to reconcile the statistical and phenomenological theories of rubber elasticity. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 35(12), 1919-1931.



# An Efficient Observer Design for Multi Leak Detection and Isolation in Water Supply Networks

Bedri Bahtiyar<sup>1\*</sup>, Meriç Çetin<sup>2</sup>, Selami Beyhan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8679-095X), [bedribahtiyar@pau.edu.tr](mailto:bedribahtiyar@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7871-4850), [mcetin@pau.edu.tr](mailto:mcetin@pau.edu.tr)

<sup>3</sup> Izmir Democracy University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9581-2794), [selami.beyhan@idu.edu.tr](mailto:selami.beyhan@idu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903122)

**ATIF/REFERENCE:** Bahtiyar, B., Çetin, M. & Beyhan, S. (2021). An Efficient Observer Design for Multi Leak Detection and Isolation in Water Supply Network. *European Journal of Science and Technology*, (24), 364-369.

## Abstract

This paper introduces an efficient observer design for leak detection and isolation of pipeline networks. The designed observer can be applied to the multistage pipeline networks with distributed leaks. The position and flow rate of the several leaks can be estimated efficiently. The designed observer is based on the discretized model of the system so called "Discretization Based Observer". For computer applications, two leaks with different positions and flow rates have been considered in a 150 meter pipe. After 5 seconds measurements and estimations, accurate leak estimations have been obtained. Comparing to the literature observers, simultaneous state and parameter estimations are obtained with fast convergence by the designed observer.

**Keywords:** Observer design, Pipeline networks, Leak detection.

## Su Şebekelerinde Çoklu Sızıntı Tespiti ve İzolasyonu için Etkin Bir Gözetleyici Tasarımı

### Öz

Bu çalışma, boru hattı ağlarının sızıntı tespiti ve izolasyonu için verimli bir gözetleyici tasarımı sunmaktadır. Tasarlanan gözetleyici, dağıtık şekilde bulunan sızıntılara sahip çok katmanlı boru hattı ağlarına uygulanabilir. Birbirinden farklı sızıntıların konumu ve akış hızı verimli bir şekilde tahmin edilebilir. "Ayrıklaştırma Temelli Gözetleyici" olarak adlandırılan tasarlanan gözetleyici sistemin ayrıklaştırılmış modeline dayanmaktadır. Bilgisayar uygulamaları için, 150 metrelik bir boruda farklı konumlara ve akış hızlarına sahip iki sızıntı dikkate alınmıştır. Ölçüm ve kestirimlerden 5 saniye sonra doğru sızıntı tahminleri elde edilmiştir. Literatür gözetleyicileri ile karşılaştırıldığında, tasarlanan gözetleyici tarafından hızlı yakınsama ile eşzamanlı durum ve parametre tahminleri elde edilir.

**Anahtar Kelimeler:** Gözetleyici tasarımı, Boru hattı ağları, Sızıntı tespiti.

\* Corresponding Author: [bedribahtiyar@pau.edu.tr](mailto:bedribahtiyar@pau.edu.tr)

## 1. Introduction

With the development of large pipelines, the leaks that may occur in the networks. The detection and isolation of leaks have become problems that need to be investigated since they can not only lead to losses, but can also lead to serious environmental problems. For this reason, the leak detection and isolation is an important for multistage pipeline networks. In pipelines, leaks can be detected by calculating physical effects from the mathematical model of pipelines and monitoring their measurements directly. There are many studies in the literature that investigate fault detection and analysis or isolation processes using model-based approaches [Isermann, 1984, Gertler, 1988, Chen and Patton, 2012].

During the past 30 years, effective methods have been developed to detect and isolate leaks using model-based methods. A leakage detection mechanism based on a non-linear model with very high sensitivity to the uncertainty of the leak location was proposed in [Billmann and Isermann, 1987]. Nonlinear observers were used to generate residuals in [Shields et al., 2001], although it is disadvantageous from a practical point of view. A model-based approach has been proposed to locate leaks in a pipeline using flow and pressure sensors in [Verde, 2005]. Aamo has designed a leak detection system in which flow dynamics are managed with an adaptive observer [Aamo, 2016]. In [Navarro et al., 2017], real-time leak isolation with fitting loss coefficient calibration in a pipeline was designed.

The detection and isolation problem of leaks may be solved with a nonlinear observer that is robust and sensitive to the leaks. The results obtained in [Ashton et al., 1998] show that the problem of detecting a leak can also be solved by a nonlinear observer. Most of the results obtained through the model-based approach are based on observer design. In many studies, observer design is usually performed either based on the linearized model of the pipeline or based on the nonlinear model of the networks [Verde, 2004]. In [Aamo et al., 2006], an adaptive observer using heuristic methods for updating laws was proposed. This Luenberger-type observer is capable of determining the flow rate and location of a single-point leak. These method was refined further in [Hauge et al., 2009].

In control applications, besides state and parameter estimation, many issues such as fault detection, fault isolation, disturbance and unknown input estimation are performed on the basis of observers. The requirement of an observer design is often needed in the lack of sensors or physical constraints. In the literature, there are many linear/nonlinear observers developed for such problems and based on the mathematical model of the system. First, observers used for state estimation in linear systems have been introduced in [Luenberger, 1966]. Then, these observers were detailed and extended for nonlinear systems [Thau, 1973]. Research on the state estimation problems in nonlinear systems continued with extended Luenberger observer [Birk and Zeitz, 1988], Kalman-type filters [Cox, 1964, Simon, 2006], sliding-mode observers [Drakunov, 1983, Slotine et al., 1987], high-gain observer [Gauthier et al., 1992], Takagi-Sugeno fuzzy observers [Tanaka and Wang, 1997], discretization-based gradient observer [Iplikci, 2013, Beyhan, 2013] and etc.

In this paper, an efficient nonlinear observer namely "discretization based nonlinear gradient observer" (DBGO) [Beyhan, 2013, Cetin, 2017] is designed for the estimation of leak

position and flow-rate. Designed with the discretized nonlinear model of the system, DBGO provides fast convergence of error dynamics. Therefore, DBGO achieves better state and parameter estimation results [Beyhan, 2013, Cetin et al., 2017]. In numerical applications, two cascaded leaks are investigated where the positions and flow-rates of cascaded leaks are estimated very efficiently. In nonlinear dynamics of the pipeline, the leak position is a parameter and the flow-rate is a state. Therefore, DBGO provides state/parameter estimation very efficiently. The rest of the paper is organized as follows. The mathematical modeling of the pipeline networks are given in Section 2. Section 3 presents the proposed observer dynamics. The application results of the observer is given in Section 4. Section 5 concludes the paper.

## 2. Distributed and Lumped Parameter Models of Pipeline

Considering that for a pipeline of length  $L$ , convective changes in velocity, compressibility, variations in cross-sectional area or fluid density are neglected, the dynamics of the fluid in this pipeline can be defined as [Chaudhry, 1979]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} &= -\frac{c^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial z} \\ \frac{\partial Q}{\partial t} &= -gA \frac{\partial H}{\partial z} - \frac{fQ|Q|}{2DA}, \end{aligned} \quad (1)$$

where  $H$  is the piezometric pressure head,  $Q$  is the flow rate,  $t$  is the time coordinate,  $z$  is the length coordinate,  $A$  is the sectional flow area,  $D$  is the diameter of pipe,  $c$  is the pressure wave velocity,  $g$  is the gravity acceleration,  $f$  is the Darcy-Weisbach friction factor, respectively. A leakage flow ( $Q_{zi}$ ) that may occur at any coordinate of the pipeline ( $z_i$ ) can be associated with the square root of the piezometric pressure head at the related coordinate as,

$$Q_{zi}(t) = \lambda \sqrt{H_i(t)} \quad (2)$$

where  $\lambda$  is the leak coefficient and the model of the leakage flow at point  $i$  in the pipeline can be defined as

$$Q_{zi} = Q_{zi}^2 - Q_{zi}^1, \quad (3)$$

where  $Q_{zi}$  is the leakage flow at point  $i$ ,  $Q_{zi}^2$  and  $Q_{zi}^1$  are the flow before and after the point  $i$  respectively. To figure out the location of the leakage, the pipeline can be divided into sub partitions in space. The discretized form of the pipeline is seen in Figure 1. In this form, time is kept as a continuous variable and there are 7 variables,  $H_1, \dots, H_4, Q_1, \dots, Q_3$  have to taken into account. Here, one can be consider that  $Q_1, Q_3$  are measured directly and  $H_1, H_4$  are the control variables.

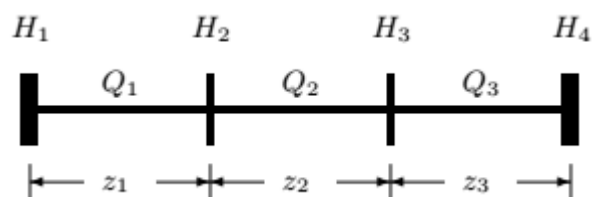


Figure 1: Discretized model of the pipeline.

The state space system can be defined  $x = [Q_1 \ H_2 \ Q_2 \ H_3 \ Q_3]$ ,  $u = [H_1 \ H_4]$ ,  $y = [Q_1 \ Q_3]$  and the model [Besançon, 2007]:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_1 &= -\mu Q_1^2 + \frac{a_1}{z_1}(u_1 - H_2) \\ \dot{H}_2 &= \frac{a_2}{z_2}(Q_1 - Q_2) \\ \dot{Q}_2 &= -\mu Q_2^3 + \frac{a_1}{z_2}(H_2 - H_3) \\ \dot{H}_3 &= \frac{a_2}{z_2}(Q_2 - Q_3) \\ \dot{Q}_3 &= -\mu Q_3^2 + \frac{a_1}{z_3}(H_3 - u_2) \\ y &= \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

where  $z_1, z_2, z_3$  are lengths of each sections in Figure 1,  $a_1=gA$ ,  $a_2=b^2/gA$  and  $\mu=f/(2DA)$ . In this paper, a pipeline network was considered with the following physical parameters: length:  $L = 100m$ , diameter:  $D = 0.1m$ , friction factor:  $f = 0.005$ , speed of sound:  $b = 1250m/s$ , sectional area:  $A = 0.08659m^2$ , gravity:  $g = 9.81m/s^2$ , respectively. Assume that a pipeline having two leaks with unknown location and magnitude. These leaks divide the pipeline into three subsections as same as the pipeline in the Figure 1. So it can be considered that the first leak occurred at a distance  $Z_1$  and the second  $Z_1+Z_2$  while the total length of the pipeline is  $L=Z_1+Z_2+Z_3$ . Thus (4) becomes:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_1 &= -\mu Q_1^2 + \frac{a_1}{Z_1}(u_1 - H_2) \\ \dot{H}_2 &= \frac{a_2}{Z_2}(Q_1 - Q_2 - Q_{z1}\sqrt{H_2}) \\ \dot{Q}_2 &= -\mu Q_2^3 + \frac{a_1}{Z_2}(H_2 - H_3) \\ \dot{H}_3 &= \frac{a_2}{Z_2}(Q_2 - Q_3 - Q_{z2}\sqrt{H_3}) \\ \dot{Q}_3 &= -\mu Q_3^2 + \frac{a_1}{L - Z_1 - Z_2}(H_3 - u_2) \\ y &= \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

where  $Z_1, Z_2$  correspond to unknown locations and  $Q_{z1}, Q_{z2}$  unknown flow-rates. Now these four parameters can be estimated by using an observer to detect the leaks and then isolate them.

### 3. Discretization Based Gradient Observer

In this paper, it is considered to design an observer for the pipeline network whose mathematical model is known. Generally, a multi-input multi-output (MIMO) nonlinear system can be expressed in state space representation as:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= f(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\theta}), \\ \mathbf{y} &= g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\theta}) \\ u &\in U, \quad x \in X, \quad \forall t \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

where  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^N$ ,  $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^R$ ,  $\boldsymbol{\theta}$  and  $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^Q$  denote the state vector, input vector, parameters and output measurement vector of the MIMO system, respectively. In this study, the nonlinear system is *e-ISSN: 2148-2683*

controllable and it is assumed that  $f(\cdot)$  and  $g(\cdot)$  functions are known. In addition, the dynamics of the system can be derived according to states, control signals and parameters.

In the process of designing the nonlinear observer, the Runge-Kutta integration method was used to obtain the discrete values of the system states and parameters. If the nonlinear system in (6) is sampled in  $T_s$  sampling intervals, the discretized model at the  $(n + 1)th$  discrete-time index can be rewritten as follows

$$\begin{aligned} \mathbf{x}[n + 1] &= f(\mathbf{x}[n], \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}) \\ &= \mathbf{x}[n] + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \\ \mathbf{y}[n + 1] &= g(\mathbf{x}[n], \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}) \end{aligned} \quad (7)$$

where

$$\begin{aligned} k_1 &= T_s \hat{f}(\mathbf{x}[n], \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}) \\ k_2 &= T_s \hat{f}(\mathbf{x}[n] + 0.5k_1, \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}) \\ k_3 &= T_s \hat{f}(\mathbf{x}[n] + 0.5k_2, \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}) \\ k_4 &= T_s \hat{f}(\mathbf{x}[n] + k_3, \mathbf{u}[n], \boldsymbol{\theta}). \end{aligned}$$

$\hat{f}$  is the discretized model of the continuous-time system in (6). Several studies using the same discretization-based model in real-time applications as observer or controller have been proposed in the literature [Beyhan, 2013, Cetin et al., 2017, Cetin and Iplikci, 2015, Iplikci and Bahtiyar, 2016]. In this paper, discretized model of the continuous-time system in (7) is used to derive estimations of the unmeasurable pipeline network states and unknown system parameters in the NMPC framework. The equation (7) is available for observer (simultaneously state/parameter estimation) in discretization based model of a dynamic process. The states of the nonlinear system are estimated as follows depending on the estimation errors

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} \hat{e}_1 \\ \hat{e}_2 \\ \vdots \\ \hat{e}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1[n + 1] - \hat{x}_1[n + 1] \\ x_2[n + 1] - \hat{x}_2[n + 1] \\ \vdots \\ x_N[n + 1] - \hat{x}_N[n + 1] \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (8)$$

When the performance index ( $F$ ) to be minimized is defined as

$$\begin{aligned} F(\mathbf{x}[n], \mathbf{u}[n]) &= \mathbf{e}^T [n + 1] \mathbf{e}[n + 1], \\ &= e_1^2 [n + 1] + \dots + e_N^2 [n + 1]. \end{aligned} \quad (9)$$

Levenberg-Marquardt rule is used to minimize the performance index ( $F$ ) in Eq. (9). Then, the update rule for the state estimation can be written as

$$\mathbf{x}[n + 1] \Leftarrow \mathbf{x}[n] - (\mathbf{J}_x^T \mathbf{J}_x + \mu_x \mathbf{I})^{-1} \mathbf{J}_x^T \mathbf{e} \quad (10)$$

where  $\mu_x > 0$  is a constant switching parameter,  $\mathbf{I}$  is an identity matrix and  $\mathbf{J}_x$  is the Jacobian matrix for the state estimation given by

$$[\mathbf{J}_x]_{ij} = \frac{\partial e_i}{\partial \hat{x}_j} = -\frac{\partial \hat{y}_i [n + 1]}{\partial \hat{x}_j [n]}, \quad (i, j = 1, \dots, N) \quad (11)$$

In Eq. (11),  $\mathbf{J}_x$  is consisted of the partial derivatives related to the unmeasurable dynamics of the nonlinear system.  $\frac{\partial \hat{y}_i[n+1]}{\partial \hat{x}_j[n]}$  term can be obtained by Eq. (7) with vector form as

$$\frac{\partial \mathbf{y}[n+1]}{\partial \mathbf{x}[n]} = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{\partial^T \mathbf{y}[n+1]}{\partial x_i[n+1]} \frac{\partial x_i[n+1]}{\partial x_j[n]} \right] \Big|_{x=x[n]} \quad (12)$$

where

$$\frac{\partial x_i[n+1]}{\partial x_j[n]} = \frac{\partial x_i[n]}{\partial x_j[n]} + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial K_1}{\partial x_j[n]} + 2 \frac{\partial K_2}{\partial x_j[n]} + 2 \frac{\partial K_3}{\partial x_j[n]} + \frac{\partial K_4}{\partial x_j[n]} \right). \quad (13)$$

For the discretization-based model of the system, the terms in (13) are determined through the chain rule:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K_1[n]}{\partial x_j[n]} &= T_s \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_2[n]}{\partial x_j[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \left( I + \frac{1}{2} \frac{\partial K_1[n]}{\partial x_j[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+0.5K_1[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_3[n]}{\partial x_j[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \left( I + \frac{1}{2} \frac{\partial K_2[n]}{\partial x_j[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+0.5K_2[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_4[n]}{\partial x_j[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \left( I + \frac{\partial K_3[n]}{\partial x_j[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+K_3[n], \\ u[n]=u[n]}}. \end{aligned} \quad (14)$$

The designed observer used for unmeasurable state estimations may also be preferred for estimation of unknown system parameters. Therefore, the equations to be used in parameter estimation process are rewritten for minimize the performance index. To predict the unknown parameters of the  $\theta$  in (7), it is assumed that the input and output signals are known. After the system dynamics ( $\mathbf{x}[n+1]$ ) are estimated with the discretized model, the estimation error vector of the parameters is updated as in (8). The estimation error vector is used this time in  $\mathbf{J}_\theta$  vector for the parameter estimation.  $\mathbf{J}_\theta$  is consisted of the partial derivatives with respect to the unknown parameters of the nonlinear system given by

$$[\mathbf{J}_\theta] = \frac{\partial e_i}{\partial \theta[n]} = - \frac{\partial \hat{y}_i[n+1]}{\partial \theta[n]}, \quad (i = 1, \dots, N) \quad (15)$$

Then, the update rule to be used in parameter estimation can be written below

$$\theta[n+1] \Leftarrow \theta[n] - (\mathbf{J}_\theta^T \mathbf{J}_\theta + \mu_\theta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{J}_\theta^T \mathbf{e}. \quad (16)$$

where  $\mathbf{I}$  is an identity matrix and  $\mu_\theta > 0$  is a constant.  $\frac{\partial \hat{y}_i[n+1]}{\partial \theta[n]}$  term can be obtained by Eq. (7) with vector form as

$$\frac{\partial \mathbf{y}[n+1]}{\partial \theta[n]} = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{\partial^T \mathbf{y}[n+1]}{\partial x_i[n+1]} \frac{\partial x_i[n+1]}{\partial \theta_j[n]} \right] \Big|_{x=x[n]}. \quad (17)$$

In order to calculate partial derivatives (18) in the definition of  $\mathbf{J}_\theta$ , the chain rule is used as in Eq. (19).

$$\frac{\partial x_i[n+1]}{\partial \theta[n]} = \frac{1}{6} \left( \frac{\partial K_1}{\partial \theta[n]} + 2 \frac{\partial K_2}{\partial \theta[n]} + 2 \frac{\partial K_3}{\partial \theta[n]} + \frac{\partial K_4}{\partial \theta[n]} \right). \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial K_1}{\partial \theta[n]} &= T_s \left[ \frac{\partial f_i}{\partial \theta[n]} \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_2}{\partial \theta[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial f_i}{\partial \theta[n]} + \frac{1}{2} \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \frac{\partial K_1}{\partial \theta[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+0.5K_1[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_3}{\partial \theta[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial f_i}{\partial \theta[n]} + \frac{1}{2} \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \frac{\partial K_2}{\partial \theta[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+0.5K_2[n], \\ u[n]=u[n]}}, \\ \frac{\partial K_4}{\partial \theta[n]} &= T_s \left[ \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial f_i}{\partial \theta[n]} + \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \frac{\partial K_3}{\partial \theta[n]} \right) \right] \Big|_{\substack{x[n]=x[n]+K_3[n], \\ u[n]=u[n]}}. \end{aligned} \quad (19)$$

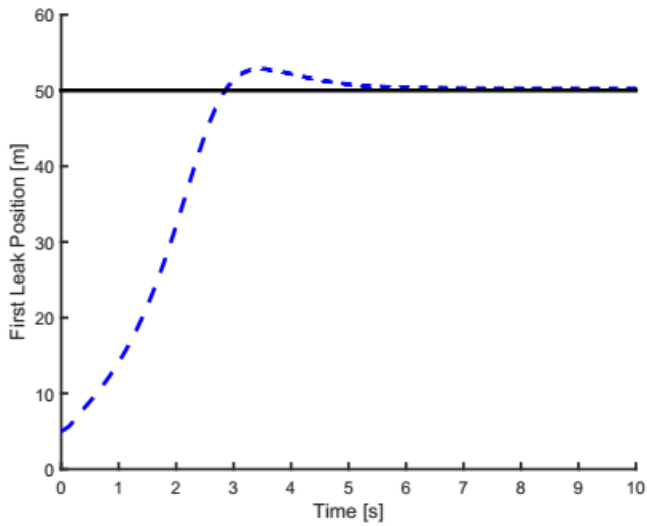
The designed observer is capable of detecting and isolating unknown leaks by directly estimating the size and location of possible leaks.

### 4. Numerical Applications

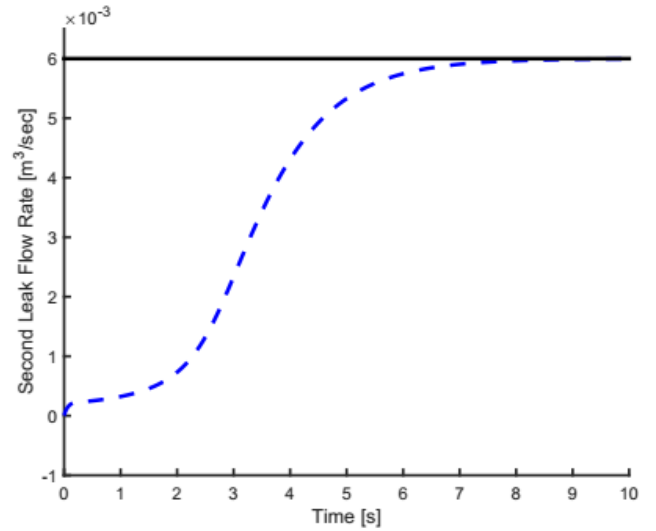
In this section, the estimation results of multistage pipeline network with distributed leaks have been presented. In order to obtain acceptable estimation values of unknown parameters in simulation, all states of the dynamic system are assumed to be measurable and all unknown parameters to be estimated are set to zero initially in model. In case of a leak in the pipeline, the results obtained from the observer will be different from the measurement values. The unknown part of the system dynamics are modelled with the discretization-based observer to adapt the changes in the pipeline networks.

Performance results of leakages that may occur in a 150 meter long pipeline network while the sampling time is 1ms is given in Figure 2. The accurate values of the location estimation of leaks and their magnitudes are obtained in 5 seconds at position 50m for the first leak and 80m for the second leak, respectively. The all states are initialized at zero however they reach true values in a short-time period. The designed observer is applied to a simple pipeline with two leaks. The position and flow rate of the leaks are randomly determined before the algorithm runs. The leaks has positions which are the estimated parameters, and also flow rates which are the states for the observer. Figure 2 and Figure 3 illustrate the application results of the designed observers. Figure 2(a) shows the estimation of first leak position and Figure 2(c) gives the estimation of the first leak flow rate. In the same way, Figure 2(b) and Figure 2(d) present the estimation of second leak position and flow rate.

According to the simulation results, it is presented that the true estimations are simultaneously obtained between 5 – 8 seconds which are better than results in [Guillen et-al., 2014]. The estimation errors related to the pipeline state estimations and unknown parameter estimations are given in Figure 3(a) and Figure 3(b), respectively. The fast convergence of the errors can be seen in the Figures.

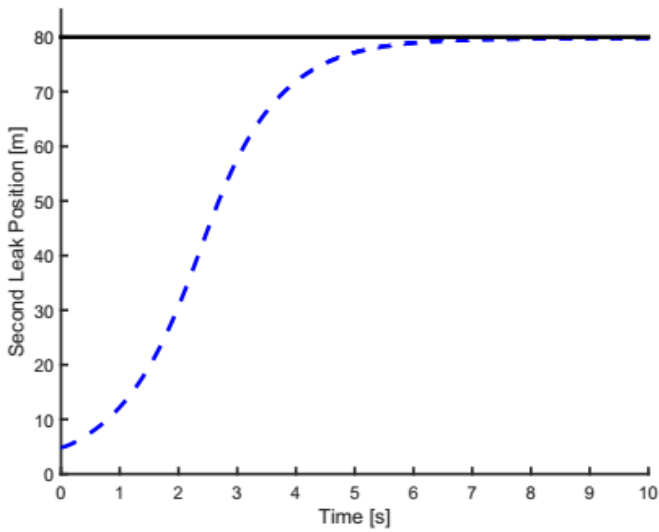


a)  $Z_1$  leak position estimate.

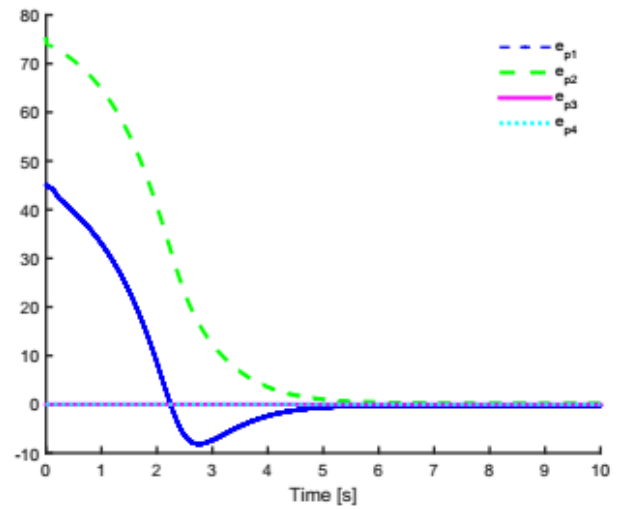


d)  $Q_{z2}$  flow rate estimate.

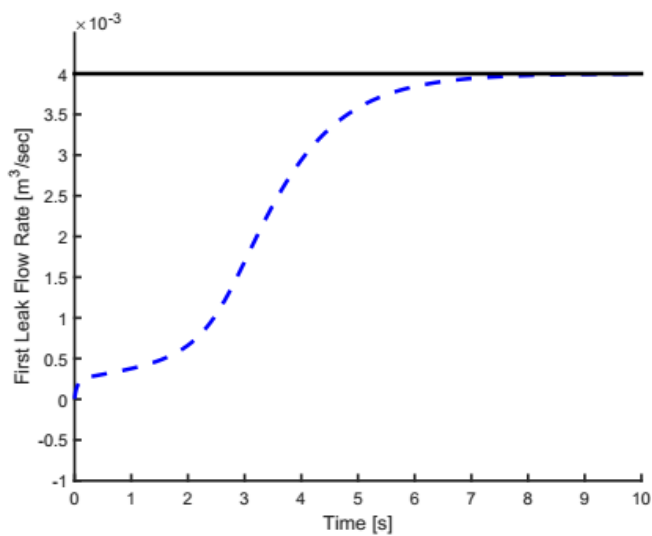
Figure 2: Parameter estimation results.



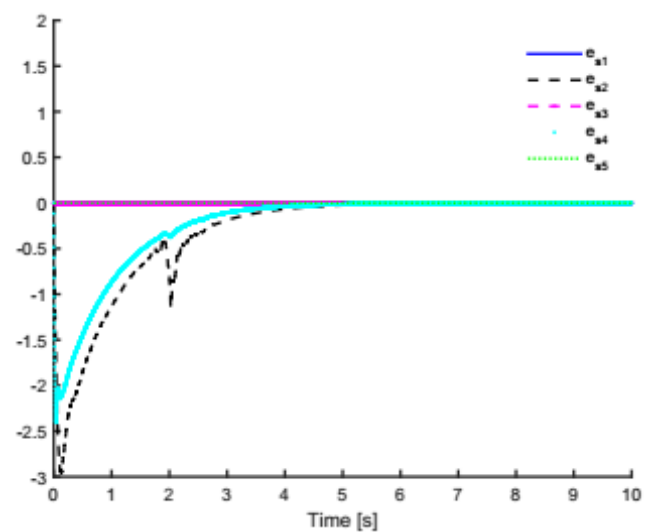
b)  $Z_2$  leak position estimate.



a) Parameter estimation errors.



c)  $Q_{z1}$  flow rate estimate.



b) State estimation errors.

Figure 3: Estimation errors.



## 5. Conclusions and Recommendations

Fault detection and isolation algorithms based on flow dynamics theory can be used to detect the leaks of pipeline networks to prevent safety and environmental problems. Here, discretization based gradient observer is proposed and applied for the simultaneous estimation of states and parameters in pipeline networks. The application results present the efficiency and applicability of the observer. With the designed DBGGO observer, it is seen that the observer can predict where the leakage is and whatever the leakage flow-rate is. It is known that the state and parameter observers can be applied in a software such that the algorithms can be run on cheap microprocessors. Provides that there is no need to buy expensive leak detectors. In a future work, the designed observer is planned to be applied in water supply networks of a city.

## References

- Aamo, O. M., Salvesen, J., and Foss, B. A. (2006). Observer design using boundary injections for pipeline monitoring and leak detection. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(2):53–58.
- Aamo, O. M. (2016). Leak detection, size estimation and localization in pipe flows. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 61(1):246–251.
- Ashton, S., Shields, D., and Daley, S. (1998). Fault detection in pipelines using nonlinear observers.
- Besançon, G., Georges, D., Begovich, O., Verde, C., & Aldana, C. (2007). Direct observer design for leak detection and estimation in pipelines. *European Control Conference*, pp. 5666-5670, IEEE.
- Beyhan, S. (2013). Runge-kutta model-based nonlinear observer for synchronization and control of chaotic systems. *ISA Transactions*, 52(4):501 – 509.
- Billmann, L. and Isermann, R. (1987). Leak detection methods for pipelines. *Automatica*, 23(3):381–385.
- Birk, J. and Zeitz, M. (1988). Extended-Luenberger observer for non-linear multivariable systems. *International Journal of Control*, 47(6):1823–1836.
- Cetin, M., Beyhan, S., and Iplikci, S. (2017). Soft sensor applications of rk-based nonlinear observers and experimental comparisons. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 23(1):109–116.
- Cetin, M. and Iplikci, S. (2015). A novel auto-tuning pid control mechanism for nonlinear systems. *ISA transactions*, 58:292–308.
- Chaudhry, M. H. (1979). *Applied hydraulic transients*. 2nd Ed. New York, USA, Von Nostrand Reinhold Co.
- Chen, J. and Patton, R. J. (2012). *Robust model-based fault diagnosis for dynamic systems*, volume 3. Springer Science & Business Media.
- Cox, H. (1964). On the estimation of state variables and parameters for noisy dynamic systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 9(1):5 – 12.
- Drakunov, S. V. (1983). An adaptive quasioptimal filter with discontinuous parameters. *Automatic Remote Control*, 44(9):1167–1175.
- Gauthier, J., Hammouri, H., and Othman, S. (1992). A simple observer for nonlinear systems applications to bioreactors. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 37(6):875 –880.
- Gertler, J. J. (1988). Survey of model-based failure detection and isolation in complex plants. *IEEE Control systems magazine*, 8(6):3–11.
- Guillen, M., Dulhoste, J. F., Besançon, G., S., I. R., Santos, R., and Georges, D. (2014). Leak detection and location based on improved pipe model and nonlinear observer. In *2014 European Control Conference (ECC)*, pages 958–963.
- Hauge, E., Aamo, O. M., Godhavn, J.-M., et al. (2009). Model-based monitoring and leak detection in oil and gas pipelines. *SPE Projects, Facilities & Construction*, 4(03):53–60.
- Iplikci, S. and Bahtiyar, B. (2016). A field-programmable gate array implementation of a real-time nonlinear runge–kutta model predictive control. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 38(5):555–564.
- Iplikci, S. (2013). Runge-Kutta model-based adaptive predictive control mechanism for non-linear processes. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 35(2):166–180.
- Isermann, R. (1984). Process fault detection based on modeling and estimation methods-a survey. *automatica*, 20(4):387–404.
- Luenberger, D. (1966). Observers for multivariable systems. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 11(2):190 – 197.
- Navarro, A., Begovich, O., Sánchez, J., and Besançon, G. (2017). Real-time leak isolation based on state estimation with fitting loss coefficient calibration in a plastic pipeline. *Asian Journal of Control*, 19(1):255–265.
- Shields, D., Ashton, S., and Daley, S. (2001). Design of nonlinear observers for detecting faults in hydraulic sub-sea pipelines. *Control Engineering Practice*, 9(3):297–311.
- Simon, D. (2006). *Optimal State Estimation: Kalman, H-Infinity, and Nonlinear Approaches*. Wiley-Interscience.
- Slotine, J., Hedrick, J., and Misawa, E. (1987). On sliding observers for nonlinear systems. *ASME Journal of Dynamic Systems and Control*, 109:245–252.
- Tanaka, K. and Wang, H. (1997). Fuzzy regulators and fuzzy observers: a linear matrix inequality approach. In *Proceedings of the 36th IEEE Conference on Decision and Control*, volume 2, pages 1315 –1320, San Diego, California USA.
- Thau, E. E. (1973). Observing the state of nonlinear systems. *International Journal of Control*, 17:471–479.
- Verde, C. (2004). Minimal order nonlinear observer for leak detection. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control(Transactions of the ASME)*, 126(3):467–472.
- Verde, C. (2005). Accommodation of multi-leak location in a pipeline. *Control Engineering Practice*, 13(8):1071–1078.



# Tuning of Linear Active Disturbance Rejection Controller Parameters Using SOS Algorithm

Bedri Bahtiyar<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Denizli, Turkey,  
(ORCID: 0000-0002-8679-095X), [bedribahtiyar@pau.edu.tr](mailto:bedribahtiyar@pau.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902410)

**ATIF/REFERENCE:** Bahtiyar, B. (2021). Tuning of Linear Active Disturbance Rejection Controller Parameters Using SOS Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, (24), 370-374.

## Abstract

In this study, it has proposed to adjust the parameters of the Linear Effective Distortion Prevention Controller (LADRC) with the Symbiotic Organism Search (SOS) algorithm. The parameters of LADRC were determined by both traditional methods and Symbiotic Organism Search (SOS) algorithm, and comparative analyzes were performed on the speed control performances of permanent magnet direct current motor (PMDCM). Two different reference signals have applied to both systems and monitoring performances were presented graphically and also in the form of a table containing the mean of the squared errors. Simulation-based results have shown that LADRC, which already has a powerfull control performance, can create a faster system response, especially in steep transitions and deterioration points in the reference mark, by adjusting its parameters offline with the SOS algorithm. This situation has caused a decrease in total tracking error and revealed that SOS optimized LADRC has a better tracking performance.

**Keywords:** Active Disturbance Rejection Control, Symbiotic Organism Search Algorithm, optimization.

## Doğrusal Etkin Bozucu Engellemeli Denetleyici Parametrelerinin SOS Algoritması ile Ayarlanması

### Özet

Bu çalışmada, Doğrusal Etkin Bozulma Engellemeli Kontrolörün (LADRC) parametrelerinin Simbiyotik Organizma Araması (SOS) algoritması ile ayarlanması önerilmiştir. LADRC'nin parametreleri hem geleneksel yöntemler hem de Simbiyotik Organizma Araması (SOS) algoritması ile belirlenerek sabit mıknatıslı doğru akım motorunun (PMDCM) hız kontrol performansları üzerinde karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. İki farklı referans işareti her iki sisteme de uygulanmış ve izleme performansları grafiksel olarak ve ayrıca karesel hatalarının ortalamasını içeren tablo biçiminde sunulmuştur. Benzetim temelli sonuçlar zaten oldukça güçlü bir kontrol performansına sahip olan LADRC'nin parametrelerinin SOS algoritması ile çevrim-dışı olarak ayarlanması sonucunda özellikle referans işaretindeki dik geçişler ve bozulma noktalarında daha hızlı bir sistem cevabı oluşturabildiğini göstermiştir. Bu durum toplam izleme hatasının azalmasına neden olmuş ve SOS ile optimize edilmiş LADRC'nin daha iyi bir izleme performansına sahip olduğunu ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** ADRC, SOS, optimizasyon.

\* Corresponding Author: [bedribahtiyar@pau.edu.tr](mailto:bedribahtiyar@pau.edu.tr)

## 1. 1. Introduction

Active disturbance rejection control (ADRC) was first proposed in Chinese by [Han, 1998], but became more popular after the English version [Gao et al., 2001] was introduced. Even with little knowledge of the system to be controlled, ADRC can be implemented easily and provides great transient response and control performance. For this reason, it has been used frequently by researchers especially in applied studies and has been applied to almost all control engineering fields. Some of these are: DC brushless servo motor speed control [Gao et al., 2001], Web Tension Regulation, alternative MEMS Gyroscope design, temperature control [Zheng and Gao, 2010], PMSM speed control [Su, 2011, Li et al., 2016, Yi 2018, Qu et al., 2020], DC-DC power converter [Sun and Gao, 2005], aerodynamical system control [Madonski and Herman, 2011], gun control system [Gao et al., 2013], industrial pressure control [Li, 2016], power plant furnace regulation [Sun et al., 2019], active suspension system [Wang et al., 2019], magnetic bearing control [Wang et al., 2020], ship steering control [Cao et al., 2019].

The original ADRC was presented in a non-linear form. The linear state of ADRC (LADRC) is equivalent to a custom model-based classical state-space control that includes a state observer based on disturbance estimation. While a traditional model predictive control requires a precise model of the system to be controlled, it is sufficient to have a rough knowledge of the model to design the LADRC. From this point of view, LADRC has a structure that combines the easy applicability of PID type methods with the powerful features of model-based approaches [Herbst, 2013]. Also, LADRC contains fewer control parameters than the original non-linear ADRC (NADRC). In addition, easy-to-apply methods for tuning these parameters are presented, depending on the controller's bandwidth or settling time [Gao, 2003, Chen et al., 2011]. Thus, the parameters of both the disturbance estimation based state observer and the controller can be easily tuned.

Although bandwidth-based controllers can easily find the controller parameters, they should be optimized for better control performance and transient response while tracking a reference signal containing steep changes or encountering a peak disturbance. Also researchers have studied on optimization to determine NADRC parameters, where parameter selection is more difficult and complex. A Chaotic Cloud Cloning Selection Algorithm (CCCSA) is proposed to overcome the difficulty on the parameter choosing of NADRC [Zang et al., 2014]. Beside in [Chao et al. 2019] Adaptive Particle Swarm Optimization (APSO), is proposed to tune the parameters of the LADRC for ship steering. In this paper, Symbiotic Organism Search Algorithm (SOS) is proposed to tune the parameters of LADRC to control a permanent magnet DC motor. The tracking performance results have compared in each other and with conventional LADRC.

The remainder of this article is organized as follows. In Section 2, the LADRC structure and parameter adjustment depending on the controller bandwidth are explained. Then, SOS algorithm and BB-BC optimization algorithms are given respectively. Then, in the third Section, simulation-based control of a permanent magnet DC motor with LADRC whose parameters were adjusted in 3 different ways was performed. Also its performance is presented graphically and as an MSE and compared. Finally, in Section 4, the paper has been concluded.

## 2. LADRC and Parameter Tuning

### 2.1. LADRC

The linear ADRC is a special type of the original ADRC introduced in [Han, 1998, Gao et al., 2001] and includes an extended state observer leading Proportional-Derivative (PD) controller [Gao, 2003], as shown in Figure 1.

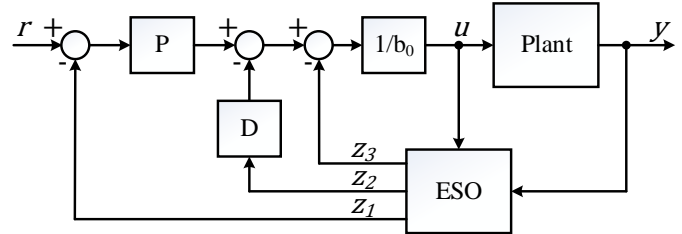


Figure 1: The block diagram of LADRC.

Consider the plant dynamics as

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= f(x_1, x_2, t) + bu(t) + d(t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$y(t) = x_1(t).$$

where  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  are states,  $u(t)$  is the input,  $y(t)$  is the output of the system and  $d(t)$  is the external disturbance. It is assumed that the internal dynamics of the system  $f(x_1, x_2, t)$  and a system parameter  $b$  are unknown.

Considering the uncertainties in the mathematical model, we can express the parameter  $b$  in Equation (1) as  $b = b_0 + \Delta b_0$ .  $b_0$  represents the known part of  $b$  and  $\Delta b_0$  represents an (unknown) modeling error. If Equation (1) is rearranged accordingly, we get Equation (2).

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= f(x_1, x_2, t) + b_0u(t) + \Delta b_0u(t) + d(t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$y(t) = x_1(t).$$

Assuming only approximate value of  $b_0$  is known about the system to be controlled, Equation (1) can be shown as

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= D(x_1, x_2, u, d, t) + b_0u(t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$y(t) = x_1(t).$$

where

$$D(x_1, x_2, u, d, t) = f(x_1, x_2, t) + \Delta b_0u(t) + d(t) \quad (4)$$

Here  $D(x_1, x_2, u, d, t)$  is called the total disturbance. Finally, taking  $D$  as an augmented state, Equation (1) is represented as

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= \dot{x}_3(t) + b_0u(t) \\ \dot{x}_3(t) &= \dot{D}(x_1, x_2, u, d, t) \end{aligned} \quad (5)$$

$$y(t) = x_1(t).$$

Since it is assumed that only approximate value of  $b_0$  is known, an Extended State Observer (ESO) has been proposed as follows to estimate the values of states of augmented state space model of a plant in Figure 1.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{z}_1(t) \\ \dot{z}_2(t) \\ \dot{z}_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ z_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \\ &+ \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{bmatrix} (r(t) - z_1(t)) \end{aligned} \quad (6)$$

where  $z_1, z_2, z_3$  are estimations of  $x_1, x_2, x_3$  in Equation (5) and  $l_1, l_2, l_3$  are gains of the observer. Then the control signal can be expressed as

$$u(t) = \frac{K_p(r(t) - z_1(t)) - K_d z_2 - z_3}{b_0} \quad (7)$$

where  $K_p$  is the proportional gain and  $K_d$  is the derivative gain of the PD controller. Thus the plant, the dynamics of which are assumed unknown except approximate value of  $b_0$ , can be controlled by LADRC, by choosing appropriate observer gains in Equation (6) and controller gains in Equation (7).

The difficulty in selecting these gain values can be easily overcome with the method suggested in [Gao, 2003] and improved in [Herbst, 2013]. According to this design process, bandwidth of the controller  $w_c$  is determined first and then the parameters of the controller can be obtain as

$$\begin{aligned} K_p &= w_c^2 \\ K_d &= 2w_c \end{aligned} \quad (8)$$

Then, the bandwidth of the observer ( $w_o$ ) is chosen 3-10 times of  $w_c$ , and finally observers gains can be obtain as

$$\begin{aligned} l_1 &= 3w_o \\ l_2 &= 3w_o^2 \\ l_3 &= w_o^3 \end{aligned} \quad (9)$$

## 2.2 Symbiotic Organism Search Algorithm

The aim of SOS is to find the most suitable organism by simulating symbiotic interactions within a paired organism relationship to solve continuous time numerical optimization [Cheng and Prayogo, 2014].

SOS starts with the first population of randomly produced organisms called ecosystems. Each of these organisms is a candidate solution for the problem being addressed, and they are handled according to the amount of error they produce when used in the problem. In each iteration while reaching the optimum solution, the biological interaction between two organisms in the ecosystem is imitated. Each iteration consists of 3 phases:

- i. the mutualism phase,
- ii. the commensalism phase and
- iii. the parasitism phase.

The mutualism phase mimics the effects of two interacting organisms in nature on each other. Both organisms interact to

increase their mutual survival advantage in the ecosystem. The new candidate solutions  $X_{inew}$  and  $X_{jnew}$  they produce are calculated as

$$\begin{aligned} X_{inew} &= X_i + rand(0,1) * (X_{best} - MV * BF_1) \\ X_{jnew} &= X_j + rand(0,1) * (X_{best} - MV * BF_2) \\ MV &= (X_{inew} + X_{jnew})/2 \end{aligned} \quad (10)$$

where  $X_i$  is the  $i^{th}$  member of the ecosystem while  $X_j$  is the member of the ecosystem that is chosen randomly and interacts with  $X_i$ .  $MV$  is the mutual vector presents relationship between  $X_i$  and  $X_j$ . The mutual symbiosis between these two organisms is modeled  $rand(0,1)$  that is a vector of random numbers.  $BF_1$  and  $BF_2$  are the beneficial advantage of the  $X_i$  and  $X_j$ , respectively. Finally,  $X_{best}$  is the highest degree of survival adaptation. If the fitness value calculated with  $X_{inew}$  and  $X_{jnew}$  is better than the previous ones, the candidate solutions are updated and this phase is completed.

In phase commensalism, while  $X_i$  tries to exploit the interaction of  $X_i$  and  $X_j$  organisms, the organism  $X_j$  does not try to benefit from the association but does not suffer from it. At this stage, according to the symbiosis between  $X_i$  and  $X_j$  organisms,  $X_i$ 's new candidate solution is calculated as follows. If the fitness produced by this new candidate solution is better than the previous fitness, the  $X_i$  organism is updated.

$$X_{inew} = X_i + rand(-1,1) * (X_{best} - X_j) \quad (11)$$

In the last stage of SOS, Parasitism phase, a noise vector is created using  $X_i$ . If the fitness produced by this vector is better than the previous fitness, it replaces  $X_j$ .

## 3. Case Study

In this study, the angular velocity of the PMDCM, given in Equation (12) [Stankovich et al.,2014], has controlled by LADRC to track two different reference signals.

$$\ddot{y} + 204.21\dot{y} + 8.93 \times 10^3 y = 7.89 \times 10^4 u + w \quad (12)$$

The first signal is a staircase-type reference signal without external disturbance, and it was used to obtain optimized LADRC parameters and then for comparison. The second signal is a constant reference signal containing an external disturbance has used for only comparison between both optimized and non-optimized LADRC performances when there exists a disturbance.

The controller bandwidth has chosen as  $w_c = 120rad/sec$  in the conventional LADRC design, therefore the controller parameters in Equation (7) have obtained as  $K_p = 14400$  and  $K_d = 240$ . The ESO bandwidth has formed as  $w_o = 10 \times w_c$ , so the ESO gains in Equation (6) have obtained as  $l_1 = 3600$ ,  $l_2 = 4320000$ ,  $l_3 = 1.728 \times 10^9$ .

In order to find the optimized parameters of LADRC, the optimized bandwidth of the controller is obtained first by using the SOS algorithm. For this purpose, the SOS algorithm was run for an ecosize with 20 members whose limit values have determined as  $[0,200]$ . Each member in the ecosize can be considered to be a candidate solution that expresses the best

controller bandwidth and thus determines the optimized LADRC parameters. For this reason, in each iteration, LADRC has used in order to ensure that the first reference signal is followed by the angular velocity of the PMDCM given by Equation (12). Then a fitness calculation has performed on the obtained off-line tracking errors to determine the best solution.

Optimized LADRC versus conventional LADRC have first compared their performance in tracking the first reference signal. The tracking performances of two systems have given in MSE in Table 1 and illustrated graphically in Figure 1. Although the steady state performances are same, the optimized LADRC by SOS is faster than conventional one in all transition periods in Figure 2. This situation is clearly seen from the small graph showing the focused part in the time period between 1.25-1.35 seconds in Figure 2. On the other hand, the control signal of the conventional LADRC is smoother than the optimize one especially for 2.5 seconds from the start.

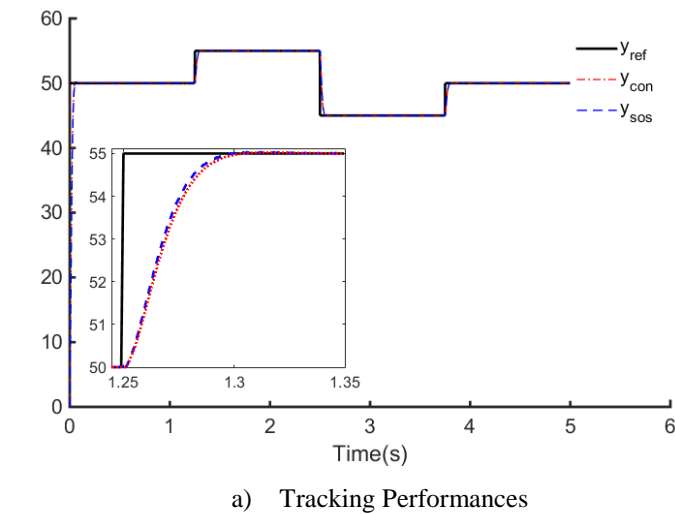


Figure 2: Tracking Results for First Reference Signal.

After the SOS Optimized LADRC was successfully tested on the first reference signal, it has used for the second reference signal containing a disturbance. At  $t = 2s$ , a disturbance has manually added to the reference signal with an amplitude of  $10rad/s$  for  $10ms$ . The responses of the two systems to this effect on the reference signal are shown in Figure 3. Although both systems are quite successful in eliminating the disturbance effect, the optimized system has better tracking performance with a faster response. This situation can also be seen on the MSE values given in Table 1.

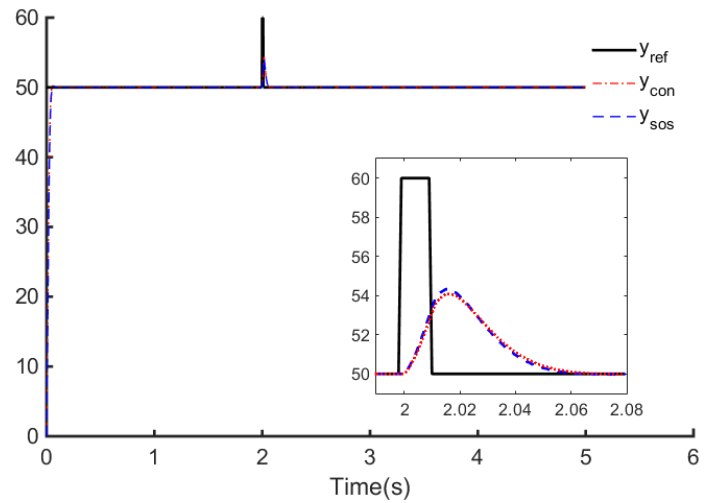


Figure 3: Tracking Results for Second Reference Signal.

These results indicated that LADRC, whose parameters have determined by conventional method in [Gao, 2003, Herbst, 2013, Stankovich et al., 2014] has a powerful tracking performance for steady state period. However, optimized LADRC is faster especially for transient period. This shows that the successful performance of the LADRC can be increased by optimization of its parameters off-line by SOS algorithm.

Table 1: Tracking Errors in MSE.

Methods	Reference 1	Reference 2
Conventional LADRC	6.5	6.4
SOS Optimized LADRC	6.2	6.1

## 5. Conclusions and Recommendations

In this study, the SOS algorithm has been proposed to adjust the parameters of LADRC used for the control of a permanent magnet DC motor. The parameters of LADRC used to enable the angular velocity of the DC motor to track a stair-case reference signal have optimized off-line with the SOS algorithm. This optimized LADRC has compared with conventional LADRC in their performance in tracking both the stair-case reference that not contains a disturbance and a step reference containing a disturbance. The comparative results, which have shown graphically and in the table of MSE values of the tracking errors, revealed that the LADRC optimized with the SOS algorithm shows a better control performance by providing a faster system response, especially in transition periods.

## References

Han, J., (1998). Auto disturbances rejection controller and its applications. Control Decision (in Chinese), 13(1), 19–23, 1998.  
 Gao, Z., Huang, Y., & Han, J. (2001, December). An alternative paradigm for control system design. In Proceedings of the 40th IEEE conference on decision and control (Cat. No. 01CH37228) (Vol. 5, pp. 4578-4585). IEEE.

- Gao, Z. (2006, June). Scaling and bandwidth-parameterization based controller tuning. In Proceedings of the American control conference (Vol. 6, pp. 4989-4996).
- Chen, X., Li, D., Gao, Z., & Wang, C. (2011, July). Tuning method for second-order active disturbance rejection control. In Proceedings of the 30th Chinese control conference (pp. 6322-6327). IEEE.
- Herbst, G. (2013). A simulative study on active disturbance rejection control (ADRC) as a control tool for practitioners. *Electronics*, 2(3), 246-279.
- Zheng, Q., & Gao, Z. (2010, July). On practical applications of active disturbance rejection control. In Proceedings of the 29th Chinese control conference (pp. 6095-6100). IEEE.
- Su, G. (2011). Fuzzy ADRC controller design for PMSM speed regulation system. In *Advanced Materials Research* (Vol. 201, pp. 2405-2408). Trans Tech Publications Ltd.
- Li, X., Wang, S., Wang, X., & Shi, T. (2016). Permanent magnet brushless motor control based on ADRC. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 40, p. 08003). EDP Sciences.
- Yi, L., Zhang, C., Jia, Y., & Ou, Y. (2018). A Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicles Based on ADRC Optimized by CKMTOA-KELM. *DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*, (appeec).
- Qu, L., Qiao, W., & Qu, L. (2020). Active-disturbance-rejection-based sliding-mode current control for permanent-magnet synchronous motors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(1), 751-760..
- Sun, B., & Gao, Z. (2005). A DSP-based active disturbance rejection control design for a 1-kW H-bridge DC-DC power converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(5), 1271-1277.
- Madoński, R., & Herman, P. (2011, June). An experimental verification of adrc robustness on a cross-coupled aerodynamical system. In 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (pp. 859-863). IEEE.
- Gao, Q., Sun, Z., Yang, G., Hou, R., Wang, L., & Hou, Y. (2012). A novel active disturbance rejection-based control strategy for a gun control system. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(12), 4141-4148.
- Li, X. (2016). A Simulation and Experimental Study of Active Disturbance Rejection for Industrial Pressure Control (Doctoral dissertation, Cleveland State University).
- Sun, L., Zhang, Y., Li, D., & Lee, K. Y. (2019). Tuning of Active Disturbance Rejection Control with application to power plant furnace regulation. *Control Engineering Practice*, 92, 104122.
- Wang, H., Lu, Y., Tian, Y., & Christov, N. (2020). Fuzzy sliding mode based active disturbance rejection control for active suspension system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234(2-3), 449-457.
- Wang, S., Zhu, H., Wu, M., & Zhang, W. (2020). Active disturbance rejection decoupling control for three-degree-of-freedom six-pole active magnetic bearing based on bp neural network. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 30(4), 1-5.
- Cao, J., Zhou, Y., Li, R., & Zhu, J. (2019, June). Design of Optimal Ship Steering Active Disturbance Rejection Controller Based on Adaptive Particle Swarm Optimization. In 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (pp. 1345-1350). IEEE.
- Chen, X., Li, D., Gao, Z., & Wang, C. (2011, July). Tuning method for second-order active disturbance rejection control. In Proceedings of the 30th Chinese control conference (pp. 6322-6327). IEEE.
- Zhang, Y., Fan, C., Zhao, F., Ai, Z., & Gong, Z. (2014). Parameter tuning of ADRC and its application based on CCCSA. *Nonlinear dynamics*, 76(2), 1185-1194.
- Cao, J., Zhou, Y., Li, R., & Zhu, J. (2019, June). Design of Optimal Ship Steering Active Disturbance Rejection Controller Based on Adaptive Particle Swarm Optimization. In 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (pp. 1345-1350). IEEE.
- Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Stankovic, M., Manojlovic, S., Simic, S., & Jovanovic, Z. (2014). Implementation of active disturbance rejection control on FPGAs. In *International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*.



# An Analysis of Deep Neural Network for Recommending Developers to Fix Reported Bugs

Zariab Fatima Abro<sup>1\*</sup>, Shafqat ur Rehman<sup>2</sup>, Khushal Das<sup>3</sup>, Awinash Goswami<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Ankara Yildirim Beyazit University, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8279-470X), zariyabfatima@gmail.com

<sup>2</sup>Ankara Yildirim Beyazit University, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1044-5682), shafqat.rehman@gmail.com

<sup>3</sup>Khushal Das, University of Management and Technology Lahore, School of Business and Economics, Department of Data Science, Lahore, Pakistan, (ORCID: 0000-0001-8833-0888), khushaldasparmar@gmail.com

<sup>4</sup>Awinash Goswami, IET khairpur of Sukkur IBA University, Institute of Emerging Technologies, Department of Computer Science, Sukkur, Pakistan, (ORCID: 0000-0002-2403-7778), awinashgoswami3@gmail.com

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI:10.31590/ejosat. 899698)

**ATIF/REFERENCE:** Abro, Z. F., Rehman, S., Das, K. & Goswami, A. (2021). An Analysis of Deep Neural Network for Recommending Developers to Fix Reported Bugs. *European Journal of Science and Technology*, (24), 375-379.

## Abstract

Occurrence of bugs during the production cycle of software projects is a serious concern of the present time. According to an estimate, a very large number of bugs are recorded while dealing with complex and popular software releases. To locate these bugs and to solve them in efficient manner software industries incorporate the process of bug triage in software testing. Bug triage is intended to recommend the bug reports to an appropriate developer effectively to fix them successfully. However, it becomes labor-intensive and expensive to manually allocate these bug reports to the developer. Deep learning methods have been extensively used and experimented to various domains such as medical diagnosis, earthquake prediction and many more. To handle the above said bugs concerns, many studies have been carried out in order to automate the bug triaging process. Several researchers have directed their efforts by applying deep learning methods in different settings for autonomous recommendation for developers to remove or fix their bugs. In this paper we have proposed a Convolutional Neural Network model for recommending Top 10 developers to fix the reported bugs. For better performance of the model Word2Vec and Glove embeddings are combined with the neural network. The performance of CNN+Word2vec and CNN+Glove models is calculated by averaging the accuracy for 10 developers at five distinct learning rates. The reported results demonstrate that the combination of Convolution with word2vec embedding gives better average accuracy in the testing phase.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Deep learning, Convolution Neural Network, Word2vec, Glove.

\*Corresponding Author: shafqat.rehman@gmail.com

## 1. Introduction

Managing and resolving bugs is a crucial part of software development cycle (Guo, et al., 2020; D.-G. Lee & Seo, 2020; Zhang & Lee, 2013). Large open source projects often incorporate bug tracking systems to effectively record and manage bugs. A common example of bug tracking system is Bugzilla (S.-R. Lee, Heo, Lee, Kim, & Jeong, 2017), which is proposed by Mozilla and also adapted by other open source projects such as Eclipse. In bug tracking system the information of the occurrence of bugs is documented in the form of bug reports (D.-G. Lee & Seo, 2020; Peng, Zhou, Liu, & Chen, 2017). These bug reports are of specific format and also include details such as reporter information, priority and severity of the bug, and environment etc (D.-G. Lee & Seo, 2020). During bug triaging a developer carefully checks a bug report gathered in the bug tracking system and then assigns the bug report to the developer who has experience with fixing such bugs. The software developers highly rely on these reports for resolving the bugs (Peng, et al., 2017).

The standard practise of bug triage is manual. Which often becomes labor-intensive and subject to error (Guo, et al., 2020; Mani, Sankaran, & Aralikkatte, 2019). It is mainly due to two reasons. 1) Large-scale software projects receive a large number of bug reports every day which increases the work load of the assigned developer/ fixer (Zhang & Lee, 2013). For instance, for Eclipse project, more than 333,000 bugs with an average of 99 bugs per day were recorded from 2001 to 2010 (Hu, Zhang, Xuan, & Sun, 2014). 2) The bug report assignment gets harder when the project involves a large number of developers (S.-R. Lee, Heo, et al., 2017). An incorrect assignment can occur due to lack of knowledge about the developers' expertise (Sahu, Lillhore, & Agarwal, 2018). According to an empirical analysis on Mozilla and Eclipse, about 37% - 44% of bugs are reassigned at least once to another developer (Hu, et al., 2014). Thus, inefficient bug triaging can be a contributing factor in the cost affairs of the software maintenance (Zhang & Lee, 2013). Also, a delay in the resolving time of bugs can lead to rescheduling of the release date of the product (S.-R. Lee, Heo, et al., 2017; Xie, Wen, Zhu, Gao, & Zheng, 2018).

In the recent years, Machine learning and Deep learning algorithms have gained immense popularity due to their breakthrough performance in technology (S.-R. Lee, Kim, Lee, & Lee, 2017; Saad, Saad, Emaduddin, & Ullah, 2019; Zheng & Yang, 2018). Several researchers have used open source repositories which are available for the users and developers to report bugs (Zheng & Yang, 2018) as datasets for semi or fully automating the process of bug triaging. However, triaging bugs is a challenging textual data problem that needs better modeling for accurate results.

Following a detailed analysis of the literature, we concluded that deep learning algorithms are well suited to textual data and outweigh human experts and conventional algorithms for multiclass classification problems. It is because deep learning algorithms consider semantic information and function better with large number of classes. They are also great at automatic feature extraction and learning (Chen, et al., 2019; S.-R. Lee, Heo, et al., 2017).

Provided with these factors, we decided to use a Deep Neural Network in combination with various embedding techniques for our research.

## 2. Related Work

Over the years, researches have proposed different models based on techniques such as Information retrieval, Natural language processing, Data reduction, Machine learning, and relevant research for semi and fully automating the process of bug triaging. (Anvik, Hiew, & Murphy, 2006; Chauhan, Katre, & Jawalkar, 2020; Russo, et al.; Zhou, Zhang, & Lo, 2012). (Chauhan, et al., 2020) presented an automated system for bug triaging. The study combines feature selection with instance selection for reducing the scale of bug report datasets along with maintaining its quality. The supervised machine learning algorithm generates a list of N developers which are relevant for resolving the bug. (Zhou, et al., 2012) introduced a semi-automated method by using a supervised machine learning classifier for the assignment of bug reports to relevant developers. The Machine learning classifier is applied to open bug repository to learn the kind of reports resolved by each developer. The triager then manually selects a developer for from the generated developer recommendation list for resolving the particular bug. Thus making the approach semi-automated. (Peng, et al., 2017) Their study proposes a relevant search method to recommend developers for resolving the newly reported bug. An index of previously recorded bugs is generated. For the newly reported bug, the index is utilized to search for the bugs related to it. Finally, the bugs related to the newly reported bugs are analyzed and recommendation of the fixer or triager is based on that analysis. This study was evaluated using open source repositories of Mozilla and Eclipse. (Zhang & Lee, 2013) introduced a hybrid bug triaging method which is a combination of a probability and experience model for suggesting assignees or fixer to resolve a new bug. In their study, they implement smoothed Unigram model (UM) to search bug reports which are similar to the newly reported bug. They have used Social Network technique and re-opened bugs factor to design the probability model. Re-opened bugs factor is explained as, for an assignee or fixer the possibility of fixing the next bug is lower if a lot of fixed bugs are reopened. The probability model analyzes the likeliness of a developer for fixing the recently reported bug by analyzing the number of comments and related commenters. The experience model is designed with respect to activity factor. Activity factor is defined as the times of assignments for resolving historical bugs. In the experience model developer's history in fixing bugs is analyzed. A developer is considered experienced if he or she has successfully fixed a greater number of assigned bugs with a shorter fixing time.

In comparison to the traditional Machine learning techniques Deep learning algorithms have given better results (Kumari & Singh, 2018; S.-R. Lee, Kim, et al., 2017; Mani, et al., 2019; Russo, et al.; Zheng & Yang, 2018). (Russo, et al.) presented a comparative study of word2vec with Naive Bayes and LSTM models for bug triaging. Both the models showed better results for the problem of bug triage and have a potential to contribute in earlier bug fixes. Word2vec with LSTM, however, performed slightly better than the machine learning model. (Zheng & Yang, 2018) proposed an LSTM model with Topic word embedding for assignment of reports to fixers. Topic word embedding (TWE) for each word creates a distinct embedding under different topic. For experiments the data was collected from Bugzilla



repositories and Eclipse platform project. According to the reported results LSTM-TWE perform better than SVM, Naive Bayes and LSTM models. (S.-R. Lee, Heo, et al., 2017) present Convolutional neural network model with word2vec embedding to triage industrial projects. Word2vec addresses two main linguistic challenges while working on industrial project data. First, dealing with multi lingual bug reports. Second, presence of jargons in the text data. The experiments were performed on four industrial projects and three open source projects. The performance of human triager, CNN with all developers and CNN with active developers were compared. Active developers are explained as the ones who fixed more than 10 bug reports. The obtained results of this study are as follows. 1) CNN with active developers attained better accuracy in industrial projects than the open source projects. 2) Performance of human triager is good at selecting the correct developer from a comparatively small group of developers. However, CNN triager can give better results with larger groups of developers. 3) It was observed that combination of CNN and human triager give best results with respect to triage expenses. (Guo, et al., 2020) proposed an empirical study for bug triaging using Convolutional neural network and monitoring Developer activity abbreviated as (CNN-DA). Word2vec technique is used for word embedding. In the training phase the CNN model obtains the characterize of fixer from the text data and transform it to a high-level feature and then the fixer is used as a class label for the particular feature. For better prediction of fixer developer activity is observed. Developer activity is checked by recording the product information of the recent bug reports and see if each developer has dealt with similar product information in the past. If not then the developer is discarded. Experiments were performed on Eclipse, Netbeans and Mozilla projects. CNN-DA with word2vec embedding gave better results than CNN-One hot encoding, supervised benchmark algorithms i.e. (NB, NBM, SVM, KNN, RT, J48, DeepTriage) and unsupervised methods i.e. (DREX, LDA-SVM, LDA-KL, DERTOM). (Chen, et al., 2019) conducts the first study of evaluating bug triaging methods for incident triage on real-world, large-scale online service system. Six bug triaging techniques were short-listed from Topic model, Tossing-Graph, fuzzy-set, Machine learning and deep learning based techniques. The reported results indicate that Deep learning based techniques perform best among all the techniques for incident triage with or without reassignment in

testing data. The results demonstrate that bug training techniques are practical for incident triaging with respect to time efficiency. Besides Topic model (TM), these techniques perform well for assigning incident reports to the relevant teams of fixers to a certain extent. But the performance of these techniques drops for incident reports involving reassignments.

### 3. Material and Method

Artificial intelligence is not a modern day concept. Explored in the mid 1950s Artificial Intelligence was aimed to build machines which imitate human intelligence and have understanding of human behavior (Ertel, 2018; Garnham, 2017). Over the time, Artificial Neural Networks have gained a considerable popularity for solving Natural language processing problems (Alshemali & Kalita, 2020; Kalchbrenner, Grefenstette, & Blunsom, 2014; Y. Li, Hao, & Lei, 2016). A Convolutional Neural Network which is a type of neural network but with multiple layers has many advantages over the simple neural network. For instance they are powerful in learning features and classification, they can overcome the complexity of computation and train well with less parameters and reduce the probability of overfitting (Y. Li, et al., 2016; O'Shea & Nash, 2015).

In recent years the use of convolution models has been increased for solving different software engineering problems such as severity and priority prediction (Ramay, Umer, Yin, Zhu, & Illahi, 2019; Umer, Liu, & Illahi, 2019), duplicate bug retrieval and bug report summarization (Deshmukh, Annervaz, Podder, Sengupta, & Dubash, 2017; Kalchbrenner, et al., 2014; X. Li, Jiang, Liu, Ren, & Li, 2018). In this paper we have proposed Convolutional neural network combined with Word2vec and Glove embedding for recommending Top 10 developers for fixing the reported bugs.

In the following section the framework of our proposed bug triage system is explained. Figure 1 presents the general structure of our model. At the primary level text data is preprocessed. After Text preprocessing, data is transformed to word vectors via word embedding techniques. Following vectorization data is inputted to CNN model. The CNN model is then trained and predicts a list of developers which are most suitable for bug fixing.

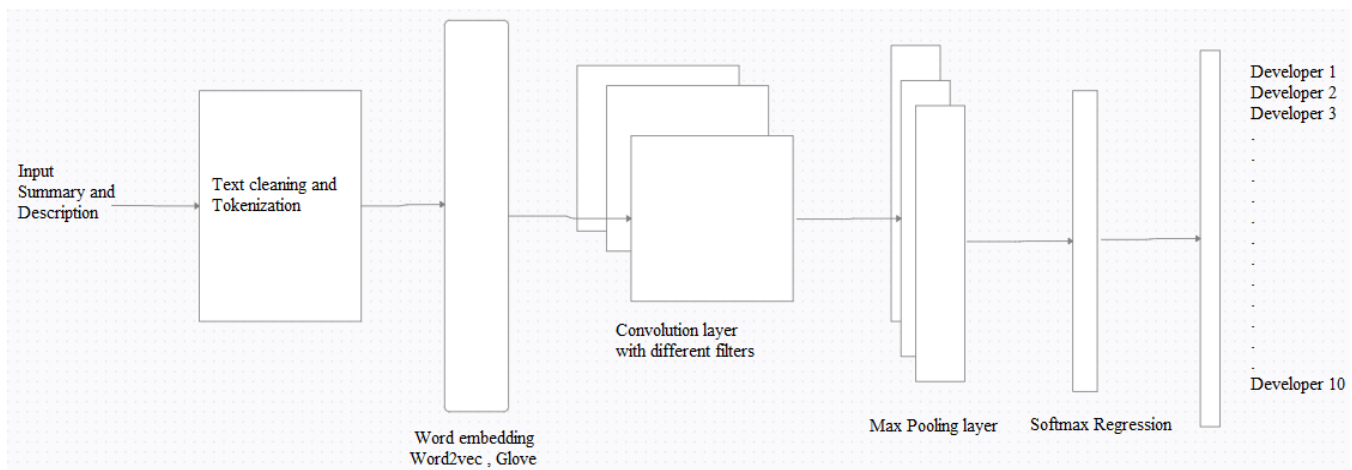


Figure 1: Convolutional Neural Network with Word2vec, Glove embedding for recommending Top 10 developers

### 3.1 Text Preprocessing

For better training of our model input data is preprocessed. We have used columns namely Summary Description and Title for input data and classification labels respectively. Rest of the data columns are eliminated. For better cleaning of textual data Regular expression is used for removing special characters, additional spaces, line breaks, URLs links, and path of directories, code and snippets.

### 3.2 Word Embedding Layer

Word embedding layer is the first layer of our network which converts the preprocessed fields i.e. (Summary and description) to vectors. Our model is trained separately with each embedding layer. Word2vec and glove embedding are used for conversion. The converted vectors are then fed to convolution layer for feature learning.

### 3.3 Model

The convolution layer performs operation of convolution with n number of filters of three different kernel sizes(n=3,4,5) for extracting features of different lengths from the input data. In convolution operation different sized kernels are applied to the vectors for generating a feature map. To calculate the weights for nodes of the network which are important during training of the model back-propagation is used. Rectified Linear Unit commonly known as Relu is used for computing the feature map from convolution layer of the model. The reason for using ReLU a non linear function is that most linear or sigmoid functions have a vanishing gradient problem. For subsampling the features obtained from the feature map Max pooling layer is added to the model. To concatenate the subsampled features Softmax regression is used.

Softmax regression acts as an activation function. It measures the possibility of developers being assigned to a bug report. The output classes are determined by the number of developers/fixers from the Title column of JDT dataset. The output of the neural network classifier is the probability count of each class/label. The developer with the highest probability count is ranked first in the list

Overfitting is one of the major challenges in training the neural network. It greatly impacts the weights of training model (Tetko, Livingstone, & Luik, 1995). The results of an overfitted model are highly effected by unseen data. To prevent the problem of overfitting dropout function, L2\_regularization, Xavier Initializer were used.

### 3.4 Dataset

For training and testing purpose we have used Eclipse JDT dataset. The data for JDT was recorded from 20th of october 2013 to 20th october 2016. The jdt dataset has a total of 76 classes which is the total number of developers for JDT project and 1465 bug reports.

### 3.5 Performance Measure

The experiments are performed on Elipse JDT dataset. Convolutional Neural is combined with Word2vec and Glove embedding for recommending developers. The two CNN models are trained on Five distinct learning rates. The model

returns Top 10 developer accuracy. An average accuracy is calculated to evaluate the overall performance of both the models at each learning rate in testing phase. Equation 1 presents the formula used for calculating the overall accuracy.

$$x = \frac{\text{Accuracy dev1} + \text{Accuracy dev2} + \dots + \text{Accuracy dev 10}}{\text{Total number of developers}} \quad \text{eq (1)}$$

## 4. Results and Discussion

For experiments we trained our Convolutional model with two distinct embedding layers. The two Convolution models with Word2vec and Glove embedding layer were trained at five different learning rates. It is because learning rate can significantly effect the generalization accuracy of the model. A careful choice of learning rate leads to faster convergence and lowers the word errors (Senior, Heigold, Ranzato, & Yang, 2013; Wilson & Martinez, 2001). Table 1 presents the average accuracy across ten developers at five different learning rates. The evaluated results are listed in the table 1.

The best Average Accuracy across ten developers of CNN+Word2vec and CNN+Glove models were observed at Max learning rate 0.07, Minimum learning rate 0.0003 and Max learning rate 0.0011, Minimum learning rate 0.0007 respectively. CNN+Word2vec obtains average accuracy of 0.52649 in testing. Also, CNN+glove attain average accuracy of 0.4816 in testing. From the comparasion of both the models it can be understood that CNN model with Word2vec embedding layer give better results during testing phase. Moreover, from the varied results of Average accuracy of both the models it can be understood that selection of a good learning rate is very important for the better optimization of the model.

**Table 1: Average Accuray across Top-10 developers during Testing**

S.No	Maximum Learning Rate	Minimum Learning Rate	Average Accuracy across 10 developers (CNN+Word2vec)	Average Accuracy across 10 developers (CNN+Glove)
1	0.005	0.0001	0.480241	0.453
2	<b>0.007</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.52649</b>	0.4542
3	0.009	0.0005	0.472092	0.42169
4	<b>0.0011</b>	<b>0.0007</b>	0.427159	<b>0.4816</b>
5	0.0013	0.0013	0.51074	0.46427

## 5. Conclusion and Future work

In the domain of Software engineering bug triaging is a challenging problem. The process of bug triage is very crucial in software testing. Accurate assignment of bug reports can prevent production cost and delay in releases of a software product. In our study we have tried to automate the process of bug triaging using a Convolutional Neural Network. For better performance of the model we have used two distinct embedding layers and trained the model at five different learning rate. The performance measure of each model at five distinct learning rates is calculated by taking an average accuracy of the Top 10 developers. Our evaluated results demonstrate that CNN+Word2vec gives better average accuracy than the CNN+Glove embedding model in testig phase.

In the future, we plan to conduct empirical research on various neural network architectures along with using different word embedding techniques to see what effect this has on optimization and accuracy of the system.

## References

- Alshemali, B., & Kalita, J. (2020). Improving the reliability of deep neural networks in NLP: A review. *Knowledge-Based Systems, 191*, 105210.
- Anvik, J., Hiew, L., & Murphy, G. C. (2006). *Who should fix this bug?* Paper presented at the Proceedings of the 28th international conference on Software engineering.
- Chauhan, S., Katre, M., & Jawalkar, T. (2020). Data Reduction in Bug Triage using Supervised Machine Learning.
- Chen, J., He, X., Lin, Q., Xu, Y., Zhang, H., Hao, D., et al. (2019). *An empirical investigation of incident triage for online service systems.* Paper presented at the 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP).
- Deshmukh, J., Annervaz, K., Podder, S., Sengupta, S., & Dubash, N. (2017). *Towards accurate duplicate bug retrieval using deep learning techniques.* Paper presented at the 2017 IEEE International conference on software maintenance and evolution (ICSME).
- Ertel, W. (2018). *Introduction to artificial intelligence:* Springer.
- Garnham, A. (2017). *Artificial intelligence: An introduction:* Routledge.
- Guo, S., Zhang, X., Yang, X., Chen, R., Guo, C., Li, H., et al. (2020). Developer activity motivated bug triaging: via convolutional neural network. *Neural Processing Letters, 51*(3), 2589-2606.
- Hu, H., Zhang, H., Xuan, J., & Sun, W. (2014). *Effective bug triage based on historical bug-fix information.* Paper presented at the 2014 IEEE 25th International Symposium on Software Reliability Engineering.
- Kalchbrenner, N., Grefenstette, E., & Blunsom, P. (2014). A convolutional neural network for modelling sentences. *arXiv preprint arXiv:1404.2188.*
- Kumari, M., & Singh, V. (2018). *An improved classifier based on entropy and deep learning for bug priority prediction.* Paper presented at the International Conference on Intelligent Systems Design and Applications.
- Lee, D.-G., & Seo, Y.-S. (2020). Improving bug report triage performance using artificial intelligence based document generation model. *Human-centric Computing and Information Sciences, 10*(1), 1-22.
- Lee, S.-R., Heo, M.-J., Lee, C.-G., Kim, M., & Jeong, G. (2017). *Applying deep learning based automatic bug triager to industrial projects.* Paper presented at the Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on foundations of software engineering.
- Lee, S.-R., Kim, H.-M., Lee, C.-G., & Lee, K.-S. (2017). Study on Automatic Bug Triage using Deep Learning. *Journal of KIISE, 44*(11), 1156-1164.
- Li, X., Jiang, H., Liu, D., Ren, Z., & Li, G. (2018). *Unsupervised deep bug report summarization.* Paper presented at the 2018 IEEE/ACM 26th International Conference on Program Comprehension (ICPC).
- Li, Y., Hao, Z., & Lei, H. (2016). Survey of convolutional neural network. *Journal of Computer Applications, 36*(9), 2508-2515.
- Mani, S., Sankaran, A., & Aralikatte, R. (2019). *Deeptriage: Exploring the effectiveness of deep learning for bug triaging.* Paper presented at the Proceedings of the ACM India Joint International Conference on Data Science and Management of Data.
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1511.08458.*
- Peng, X., Zhou, P., Liu, J., & Chen, X. (2017). *Improving Bug Triage with Relevant Search.* Paper presented at the SEKE.
- Ramay, W. Y., Umer, Q., Yin, X. C., Zhu, C., & Illahi, I. (2019). Deep neural network-based severity prediction of bug reports. *IEEE Access, 7*, 46846-46857.
- Russo, F., Raju, R., Clarke, C., Yang, N., Escalona, A., Tappert, C. C., et al. Software Bug Triage using Machine Learning and Natural Language Processing.
- Saad, A., Saad, M., Emaduddin, S. M., & Ullah, R. (2019). *Optimization of bug reporting system (BRS): artificial intelligence based method to handle duplicate bug report.* Paper presented at the International Conference on Intelligent Technologies and Applications.
- Sahu, K., Lilhore, U., & Agarwal, N. (2018). Survey of various data reduction methods for effective bug report analysis. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology.*
- Senior, A., Heigold, G., Ranzato, M. a., & Yang, K. (2013). *An empirical study of learning rates in deep neural networks for speech recognition.* Paper presented at the 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing.
- Tetko, I. V., Livingstone, D. J., & Luik, A. I. (1995). Neural network studies. 1. Comparison of overfitting and overtraining. *Journal of chemical information and computer sciences, 35*(5), 826-833.
- Umer, Q., Liu, H., & Illahi, I. (2019). CNN-based automatic prioritization of bug reports. *IEEE Transactions on Reliability, 69*(4), 1341-1354.
- Wilson, D. R., & Martinez, T. R. (2001). *The need for small learning rates on large problems.* Paper presented at the IJCNN'01. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No. 01CH37222).
- Xie, Q., Wen, Z., Zhu, J., Gao, C., & Zheng, Z. (2018). *Detecting duplicate bug reports with convolutional neural networks.* Paper presented at the 2018 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC).
- Zhang, T., & Lee, B. (2013). *A hybrid bug triage algorithm for developer recommendation.* Paper presented at the Proceedings of the 28th annual ACM symposium on applied computing.
- Zheng, S., & Yang, H. (2018). A deep learning approach to software evolution. *International Journal of Computer Applications in Technology, 58*(3), 175-183.
- Zhou, J., Zhang, H., & Lo, D. (2012). *Where should the bugs be fixed? more accurate information retrieval-based bug localization based on bug reports.* Paper presented at the 2012 34th International Conference on Software Engineering (ICSE).



# Romatoid Artrit Hastalarının Ulnar ve Radyal Arter Doppler İndekslerinin Karşılaştırılması

Ali Osman Özkan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2226-9786)  
[alozkan@erbakan.edu.tr](mailto:alozkan@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10-12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902224)

**ATIF/REFERENCE:** Özkan, A. O. (2021). Romatoid Artrit Hastalarının Ulnar ve Radyal Arter Doppler İndekslerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), Xx-xx.

## Öz

Bu çalışmada 40 Romatoid artritli hasta ile 40 sağlıklı gönüllü kişilerin sağ ve sol el ulnar ve radyal arter Doppler sinyalleri kaydedilerek kan akışı incelenmiştir. Geleneksel Doppler indekslerinden olan rezistif indeks (RI) ve pulsatilite indeks (PI) ile sistolik/diyastolik (S/D) oranı karşılaştırılmıştır. Ulnar arter için ortalama RI ve PI değerleri RA'lı hastalarda sağlıklı gönüllülere göre daha yüksek olduğu, ortalama S/D oranında sağ el için RA'lı hastalarda sağlıklı gönüllülere göre daha düşük ve sol el için ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Radyal arter için ortalama RI değerleri RA'lı hastalarda sağlıklı gönüllülere göre daha yüksek olduğu, ortalama PI ve S/D oranında ise RA'lı hastalarda sağlıklı gönüllülere göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Romatoid artrit, Ulnar ve Radyal arter, Doppler ultrason, Doppler indeksleri.

## Comparison of Ulnar and Radial Artery Doppler Indexes of Rheumatoid Arthritis Patients

### Abstract

In this study, the blood flow was examined by recording the right and left hand Ulnar and Radial artery Doppler signals of 40 rheumatoid arthritis patients and 40 healthy volunteers. The resistive index (RI) and pulsatility index (PI), which are traditional Doppler indices, the systolic / diastolic (S / D) ratio were compared for patients and healthy volunteers. It was observed that the mean RI and PI values for the ulnar artery were higher in RA patients than in healthy volunteers, while the mean S / D ratio was lower for the right hand in RA patients compared to healthy volunteers and higher for the left hand. It was observed that the mean RI values for the radial artery were higher in RA patients compared to healthy volunteers, and the mean PI and S / D ratio was lower in RA patients compared to healthy volunteers.

**Keywords:** Rheumatoid arthritis, Ulnar and Radial artery, Doppler ultrasound, Doppler indexes.

\* Sorumlu Yazar: [alozkan@erbakan.edu.tr](mailto:alozkan@erbakan.edu.tr)

## 1. Giriş

Romatoid artrit (RA), etyolojisi tam olarak bilinmeyen, temelde büyük ve küçük eklemleri etkilemekle beraber sistemik etkilere de yol açan, kronik inflamatuvar bir hastalıktır. Toplumda görülme sıklığı % 1 oranındadır (Gümüşi,1999). RA kadınlarda erkeklere göre daha sık görülmektedir (3/1). Bu da RA hastalığının sebepleri arasında hormonların etkisinin olduğunu göstermektedir (Fresko, 2006). Otoimmün hastalıklar grubunda ele alınan RA çevresel, kalıtsal, hormonal faktörlerin etkileşimi ile geliştiği düşünülen bir hastalıktır. Ayrıca genetik bir etki olduğu da kabul edilmektedir (Maini ve Feldmann,1998).

RA hastalığı tanısı için, laboratuvar bulgularında en çok kullanılan parametreler sedimantasyon ve C-reaktif protein (CRP) değerleridir. Hastalık aktivitesini değerlendirmede kullanılan bir diğer parametre ise HAS-28 (Hastalık Aktivite Skoru-28, Disease Activity Score-28 (DAS-28)) değeridir. HAS-28 değeri, hassas ve şiş eklem tutulumları, eritrosit sedimantasyon hızı (ESH) ve CRP değerleri kullanılarak hesaplanır. Hesaplanan HAS-28 değerinin, 5.1'den fazla olması yüksek hastalık aktivitesini, 5.1 ile 3.2 arasında olması orta hastalık seviyesini, 3.2 ile 2.6 arasında olması düşük hastalık aktivitesini, 2.6'dan daha düşük değerler ise remisyona olarak kabul edilmektedir (Van Riel, 2014; Greenmyer, Stacy, Sahnoun, Real ve Diri,2020).

Avusturyalı fizikçi ve matematikçi olan Johann Christian Andreas Doppler 1842 yılında Doppler etkisi olarak bilinen, radyo dalgası yayan herhangi bir kaynağın gözlemciye yaklaşım uzaklaştıkça frekansının değiştiği gibi gözlemlenmesi hipotezini ortaya atarak ün kazanmıştır. Doppler etkisi tıp alanında ultrasonda kan akış hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Kırmızı kan hücrelerinden yansıyan ultrason dalgalarında, kan akış hızına bağlı olarak frekansta değişimler olur. Eğer kan akışının yönü Doppler ultrason dönüştürücüsüne doğruysa, bu durumda kırmızı kan hücrelerinden yansıyan dalgaların frekansı gönderilen ultrasonik dalganın frekansından daha yüksek, kan akışının yönü Doppler ultrason dönüştürücüsünden uzaklaşıyorsa, bu durumda kırmızı kan hücrelerinden yansıyan dalgaların frekansı gönderilen frekanstan daha düşük olacaktır. Gönderilen ve yansıyan dalgalar arasındaki frekans farkına "Doppler kayma frekansı" veya kısaca "Doppler frekansı" denir ve frekanstaki bu kayma kan akış hızıyla orantılıdır (Özkan, 2010; Williams,2021).

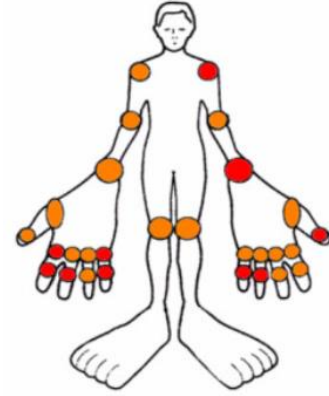
RA tanı kriterlerinden biri olan radyolojik erozyonun belirlenmesi RA tanısında önemli bir rol oynamaktadır. RA hastalarının yaklaşık % 8 – 40'ında erozyon bulunmaktadır. Dolayısıyla manyetik rezonans ve Doppler ultrasonografi, erken RA hastalarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (İnanç ve İnanç, 2006). Doppler ultrasonografinin RA tanısında radyografiye göre en büyük avantajı büyük erozyonlar yanında küçük erozyonları da tespit edebilmesidir (Keen, Brown, Wakefield ve Conaghan, 2005).

Çalışmada 40 RA'lı hasta ve 40 sağlıklı gönüllülerin sağ ve sol el ulnar ve radyal arter Doppler ultrasonografi sonogram görüntülerinden kan akışı incelenmiş ve Doppler indekslerinden olan rezistif indeks (RI), pulsatilite indeks (PI) ile sistolik/diyastolik (S/D) oranları sağlıklı gönüllü ve RA hastaları için karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Grubu

Çalışmada, Amerikan Romatoloji Derneği tanı kriterlerine göre RA tanısı konulmuş 40 hasta (8 erkek, 32 kadın, 38 - 70 yaş aralığı, ortalama yaş ve standart sapması  $51 \pm 9.6$  yaş ) ve 40 sağlıklı gönüllü (10 erkek, 30 kadın, 44 - 73 yaş aralığı, ortalama yaş ve standart sapması  $57 \pm 9.1$  yaş) değerlendirilmeye alınmıştır. Hastaların demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, boy, kilo) ve hastalık sürelerinin yanı sıra sabah tutukluğunun süresi, şiş ve hassas eklem sayıları, ESH ve CRP düzeyleri değerlendirildi (Özkan,2010). RA hastalığı özellikle sinovyal eklemleri çok etkilemektedir. Vücudumuzda 28 adet sinovyal eklem bulunmakta ve bunların 24 tanesi sağ ve sol elimizdedir. Şekil 1.'de vücudumuzda bulunan sinovyal eklemlerin bulunduğu yerler gösterilmiştir (www.researchgate.net)



Şekil 1. Vücudumuzda bulunan sinovyal eklemler (www.researchgate.net sayfasından alınmıştır)

RA gibi kronik hastalıkların takibinde ve hekim tarafından uygulanan tedavilerin etkinliğinin değerlendirilmesinde bazı ölçekler kullanılır. Bu ölçekler değişik laboratuvar parametreleri veya bazen sadece hasta temelli skorlamalardan oluşabilir. RA hastalığı için en sık kullanılan ve dünyada kabul görmüş olanlardan bir tanesinde HAS-28 skorudur ve hekim tarafından hesaplanır. RA hastası olan kişi, hekim tarafından muayene edilir. Muayenede el, dirsek, omuz ve diz eklemlerinin kaçında şişlik ve kaçında hassasiyet olduğu belirlenerek not edilir. Daha sonra hastaya genel sağlığı konusunda 0-100 mm arasında görsel analog skalada kendine puan vermesi istenir. Bunlara ek olarak ESH ve CRP laboratuvar değerleri formüle yerleştirilir. Bu formülün hesaplanmasıyla nümerik bir değer elde edilir. Elde edilen bu değer hekime hastalığın aktivite değeri (hafif-orta-yüksek) hakkında bilgi verir. 40 RA hastasının hastalık aktivitesini değerlendirmek için HAS-28 skoru kullanıldı ve HAS-28 skoru aşağıda verilen eşitlikle bulunur (Fransen ve Van Riel, 2005).

$$HAS - 28 = 0,56 \cdot \sqrt{HES28} + 0,28 \cdot \sqrt{\$ES28} + 0,7 \cdot \ln(ESH) + 0,014 \cdot (GAS)$$

Eşitlikte HES28, hassas eklem sayısını; ŞES28, şiş eklem sayısını; ESH, eritrosit sedimantasyon hızını (1 saat sonra mm cinsinden) ve GAS ise, mm cinsinden hasta tarafından belirlenen görsel analog skorudur. Çalışmaya dâhil edilen 40 RA hastasının HAS-28 skoruna göre 16 kişi yüksek, 21 kişi orta, 1 kişi düşük ve 2 kişide remisyona aktivitesine sahiptir.

40 RA hastasına ait HAS-28 skoru, HES28 sayısı, ŞES sayısı, GAS, ESH ve CRP değerlerinin istatistiksel değerleri

(Maksimum(Max.), Minimum(Min.), Ortalama(Ort.) ve Standart Sapma(Std.)) Tablo 1.'de gösterilmiştir.

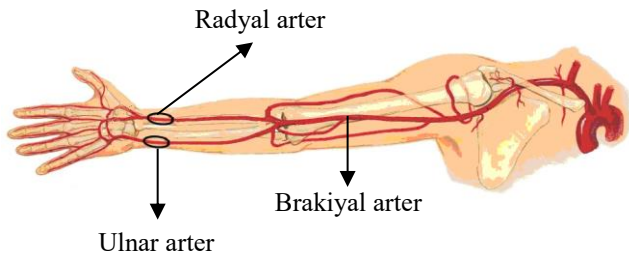
Tablo 1. 40 RA hastasına ait istatistikî değerler

Değer	Max.	Min.	Ort.	Std.
HAS-28	7.49	2.16	4.804	1.373
HES28	28	1	10	9.526
ŞES28	7	0	1.3	1.689
GAS(mm)	80	10	51.5	19.81
ESH (mm/saat)	75	3	33.2	18.34
CRP(µg/L)	78.5	3	20.53	21.16

## 2.2. Ulnar ve Radyal Arter

Çalışmaya katılan hem RA hastası hem de sağlıklı gönüllü kişilerin onayı alınarak sağ ve sol el ulnar ve radyal arter Doppler sonogram görüntüleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi Radyoloji Bölümünde bulunan General Electric Loqio S6 model Doppler ultrasonografi cihazı (12 MHz'lik ultrason probu ) ile uzman doktor tarafından alınmıştır. Ölçme standardını tutturmak, kaliteli ve doğru bir çıkış elde etmek için, ultrason prob açısı elektronik doğrultma yöntemleri ve manuel yönlendirmeyle 60°'de sabitlenmiştir. Aynı zamanda prob açısı, kullanılan kuvvetlendirme kazancı spektral gösterge üzerindeki taban gürültüsünü minimize edecek ve temiz bir spektral görüntü elde edecek şekilde ayarlanmıştır (Özkan, 2010).

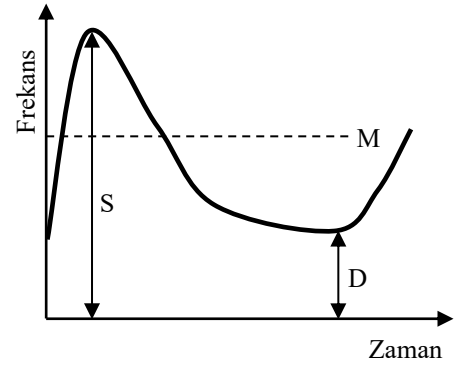
Brakiyal arter, kolun temel arteriyel akımını sağlar. Dirsek çukurunda ulnar ve radyal arter olarak ikiye ayrılır. Ulnar arter elin kan dolaşımının yaklaşık % 65'lik kısmını sağlar ve radyal arterden daha kalındır. Dirsek kıvrımının 1 cm kadar altında başlar. Derine doğru ilerleyerek, önkolun ortasına doğru ilerler. Radyal arter ise önkolun ve elin kan dolaşımının yaklaşık % 35'ini sağlar (www.damaryolucerrahisi.com). Şekil 2.'de elimizdeki brakiyal, ulnar ve radyal arterin bulunduğu yerler gösterilmiştir (www.acilveilkoyardim.com/foto/kolnabiz.jpg).



Şekil 2. Elimizde bulunan brakiyal, ulnar ve radyal arter

## 2.3. Doppler Dalga Formu İndeksleri

Doppler ultrasonografide spektral dalga formuna ait değişiklikler, görsel olarak izlenebileceği gibi bazı indekslerle rakamsal olarak da ifade edilir. Kullanılan dalga formu indekslerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 3.'de zaman-frekans ekseninde spektral dalga formu gösterilmiştir.



Şekil 3. Doppler dalga formu indekslerinin gösterimi

Şekil 3.'de gösterilen Doppler dalga formunda S: Sistolik kan basıncını, D: Diyastolik kan basıncını ve M ise zaman ortalamalı kan basıncını göstermektedir. Çalışmada Doppler işaretleri için literatürde çok kullanılan indeksler kullanılmıştır. Pratikte kullanılan iki indeks diğerlerine göre çok kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı Gosling ve arkadaşları tarafından 1971 yılında tanımlanan PI indeksidir ve  $(PI = (S-D)/M)$  ile hesaplanır (Gosling vd., 1971). En çok kullanılan ikinci indeks ise 1973 yılında Planiol ve Pourcelot tarafından tanımlanan RI indeksidir ve  $(RI = (S-D)/S)$  ile hesaplanır (Planiol ve Pourcelot, 1973). PI ve RI indekslerine ilaveten çalışmada S/D oranında kullanılmıştır. Diyastolik hızın olmadığı durumlarda kullanılmaz (Özkan,2010).

## 2.4. Doppler Ultrasonografi Ölçümleri

Damara gönderilen ultrason dalgasının frekansıyla damardan yansiyarak gelen ultrason dalgasının frekansı arasındaki farka Doppler frekansı denir. Oluşan bu Doppler frekans farkı, kan akış hızına, ultrason dalgasının dönüştürücü probundan çıktığı frekansa, ultrason dalgasının insan dokusu içindeki hızına ve Doppler açısına bağlıdır. Tüm bunların etkisini tek bir eşitlikte aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

$$f_{\text{Doppler}} = f_G - f_A = \frac{2 \cdot f_G \cdot v \cdot \cos\theta}{c}$$

Eşitlikte;  $f_{\text{Doppler}}$  Doppler kayma frekansını (Doppler frekansı),  $f_G$  gönderilen ultrason dalgasının frekansını,  $f_A$  alınan ultrason dalgasının frekansını,  $v$  kan akış hızını,  $\theta$  Doppler açısını ve  $c$  sesin dokudaki hızını göstermektedir. Frekans farkı daha yüksekse, o zaman pozitif Doppler kayma frekansı vardır ve kan akış yönü dönüştürücüye doğrudur, frekans farkı daha düşükse, o zaman negatif Doppler kayma frekansı vardır ve kan akış yönü dönüştürücüden uzaklaşıyor demektir. Ultrason dalgalarının insan dokusu içindeki hızı yaklaşık 1540 m/s olduğu varsayılmaktadır. Doppler eşitliğinde verilen diğer parametreler önceden bilindiğinden frekans farkı öncelikle Doppler açısına bağlıdır. Doppler açısının kosinüsüyle orantılı olan Doppler kayma frekansı değişir. Doppler açısının 60°'yi geçtiği durumlarda açıda küçük bir değişiklik, açının kosinüs değerinde büyük bir değişikliğe neden olacağından hatalı ölçüme neden olacaktır. Belirtilen bu nedenlerden dolayı ultrason dalgasıyla kan akış yönü arasında genellikle 30°- 60°'lik açı olacak şekilde inceleme yapılması gerekir (Seçil, 2008).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Ulnar Arter Doppler İndeks Sonuçları

Çalışmaya dâhil edilen hem 40 RA hastasının hem de 40 sağlıklı gönüllünün toplamda 80 kişinin sağ ve sol ulnar arterlerinin Doppler indekslerini bulmak için Doppler ultrasonografi cihazıyla aynı hekim tarafından ölçümleri gerçekleştirildi. Doppler ultrasonografi cihazının ekran görüntüsünden sistolik, diyastolik ve tamean (time average mean) değerleri (cm/s) cinsinden kaydedildi. Tablo 2.'de 40 RA hastasına ait ve Tablo 3.'de ise 40 sağlıklı gönüllüye ait sağ ulnar arter Doppler ölçümleri gösterilmiştir.

Tablo 2. 40 RA hastasına ait sağ ulnar arter Doppler ölçümleri

Sağ ulnar arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	71.9	11.4	45.125	15.081
Diyastolik (cm/s)	20.2	1	9.235	5.974
TAMEAN (cm/s)	20.4	1	9.21	5.562
RI indeksi	0.954	0.603	0.809	0.095
PI indeksi	10.4	2.117	5.152	2.661
S/D oranı	21.7	2.516	7.068	4.661

Tablo 3. 40 sağlıklı gönüllüye ait sağ ulnar arter Doppler ölçümleri

Sağ ulnar arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	96.7	31.1	60.51	14.915
Diyastolik (cm/s)	36.6	1	15.06	8.422
TAMEAN (cm/s)	40.2	3.2	15.09	7.906
RI indeksi	0.983	0.613	0.758	0.038
PI indeksi	11.8	1.495	4.041	0.202
S/D oranı	60	2.583	8.681	0.434

Tablo 4.'de 40 RA hastasına ait ve Tablo 5.'de ise 40 sağlıklı gönüllüye ait sol ulnar arter Doppler ölçümleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 40 RA hastasına ait sol ulnar arter Doppler ölçümleri

Sol ulnar arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	92	22.9	44.425	13.719
Diyastolik (cm/s)	33.7	1	10.245	7.076
TAMEAN (cm/s)	29.9	3.6	10.29	5.365
RI indeksi	0.98	0.578	0.774	0.112
PI indeksi	7.854	1.824	3.797	1.614
S/D oranı	49.7	2.37	8.455	12.159

Tablo 5. 40 sağlıklı gönüllüye ait sol ulnar arter Doppler ölçümleri

Sol ulnar arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	88	42.3	56.395	11.815
Diyastolik (cm/s)	33.5	1	15.47	8.709
TAMEAN (cm/s)	29.5	4.3	15.385	6.886
RI indeksi	0.977	0.484	0.733	0.126
PI indeksi	9.674	1.314	3.245	1.885
S/D oranı	42.6	1.937	6.218	8.817

#### 3.2. Radyal Arter Doppler İndeks Sonuçları

Çalışmaya katılan hem 40 RA hastasının hem de 40 sağlıklı gönüllünün toplamda 80 kişinin sağ ve sol radyal arterlerinin Doppler indekslerini bulmak için Doppler ultrasonografi cihazıyla aynı hekim tarafından ölçümleri gerçekleştirildi. Doppler ultrasonografi cihazının ekran görüntüsünden sistolik, diyastolik ve tamean (time average mean) değerleri (cm/s) cinsinden kaydedildi. Tablo 6.'da 40 RA hastasına ait ve Tablo 7.'de ise 40 sağlıklı gönüllüye ait sağ radyal arter Doppler ölçümleri gösterilmiştir.

Tablo 6. 40 RA hastasına ait sağ radyal arter Doppler ölçümleri

Sağ radyal arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	62.1	23.4	45.25	11.304
Diyastolik (cm/s)	20.4	1	9.255	5.866
TAMEAN (cm/s)	16.8	2.9	9.735	3.964
RI indeksi	0.983	0.569	0.801	0.111
PI indeksi	8.169	1.601	4.258	1.758
S/D oranı	59	2.319	8.673	12.183

Tablo 7. 40 sağlıklı gönüllüye ait sağ radyal arter Doppler ölçümleri

Sağ radyal arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	76.9	23.3	49.59	12.652
Diyastolik (cm/s)	25.4	1	12.33	7.561
TAMEAN (cm/s)	26.1	2.5	12.16	6.206
RI indeksi	0.98	0.569	0.77	0.123
PI indeksi	10.889	1.601	4.271	2.992
S/D oranı	50	2.319	9.874	13.284

Tablo 8.'de 40 RA hastasına ait ve Tablo 9.'da ise 40 sağlıklı gönüllüye ait sol radyal arter Doppler ölçümleri gösterilmiştir.

Tablo 8. 40 RA hastasına ait sol radyal arter Doppler ölçümleri

Sol radyal arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	80.2	14.3	41.875	13.4
Diyastolik (cm/s)	21.9	1	9.195	5.97
TAMEAN (cm/s)	22.4	2	9.34	4.919
RI indeksi	0.977	0.636	0.79	0.097
PI indeksi	10.432	2.059	4.233	2.048
S/D oranı	44.2	2.749	8.632	11.565

Tablo 9. 40 sağlıklı gönüllüye ait sol radyal arter Doppler ölçümleri

Sol radyal arter	Max.	Min.	Ort.	Std.
Sistolik (cm/s)	63	28.7	45.87	9.186
Diyastolik (cm/s)	21	1	10.875	6.263
TAMEAN (cm/s)	18	3.9	10.465	4.407
RI indeksi	0.979	0.602	0.766	0.126
PI indeksi	11.75	1.779	4.264	2.82
S/D oranı	48	2.511	9.22	12.677

### 4. Sonuç

Tablo 2.'de verilen 40 RA hastasının sağ ulnar arter RI indeksinin ortalama değerinin  $0.809 \pm 0.095$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $5.152 \pm 2.661$  ve S/D oranının ise  $7.068 \pm 4.661$  olduğu görülmektedir. Tablo 3.'de verilen 40 sağlıklı

gönüllülerin sağ ulnar arter Doppler indekslerine bakıldığında ise RI indeksinin ortalama değerinin  $0.758 \pm 0.038$ , PI indeksinin ortalama değerinin  $4.041 \pm 0.202$  ve S/D oranının ise  $8.681 \pm 0.434$  olduğu görülmektedir. Tablo 2. ve Tablo 3. karşılaştırıldığında ise RI ve PI indekslerinin RA hastalarında sağlıklı gönüllülere göre yüksek, S/D oranında ise düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.'de verilen 40 RA hastasının sol ulnar arter RI indeksinin ortalama değerinin  $0.774 \pm 0.112$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $3.797 \pm 1.614$  ve S/D oranının ise  $8.455 \pm 12.159$  olduğu görülmektedir. Tablo 5.'de verilen 40 sağlıklı gönüllülerin sol ulnar arter Doppler indekslerine bakıldığında ise RI indeksinin ortalama değerinin  $0.733 \pm 0.126$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $3.245 \pm 1.885$  ve S/D oranının ise  $6.218 \pm 8.817$  olduğu görülmektedir. Tablo 4. ve Tablo 5. karşılaştırıldığında ise sol ulnar arter için RA hastalarının tüm değerleri sağlıklı gönüllülere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 6.'da verilen 40 RA hastasının sağ radyal arter RI indeksinin ortalama değerinin  $0.801 \pm 0.111$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $4.258 \pm 1.758$  ve S/D oranının ise  $8.673 \pm 12.183$  olduğu görülmektedir. Tablo 7.'de verilen 40 sağlıklı gönüllülerin sağ radyal arter Doppler indekslerine bakıldığında ise RI indeksinin ortalama değerinin  $0.77 \pm 0.123$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $4.271 \pm 2.992$  ve S/D oranının ise  $9.874 \pm 13.284$  olduğu görülmektedir. Tablo 6. ve Tablo 7. karşılaştırıldığında ise RI indeksinin RA hastalarında sağlıklı gönüllülere göre yüksek, PI indeksinin ve S/D oranının ise düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 8.'de verilen 40 RA hastasının sol radyal arter RI indeksinin ortalama değerinin  $0.79 \pm 0.097$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $4.233 \pm 2.048$  ve S/D oranının ise  $8.632 \pm 11.565$  olduğu görülmektedir. Tablo 9.'da verilen 40 sağlıklı gönüllülerin sol radyal arter Doppler indekslerine bakıldığında ise RI indeksinin ortalama değerinin  $0.766 \pm 0.126$ ; PI indeksinin ortalama değerinin  $4.264 \pm 2.82$  ve S/D oranının ise  $9.22 \pm 12.677$  olduğu görülmektedir. Tablo 8. ve Tablo 9. karşılaştırıldığında ise sol radyal arter için sağ radyal arterde olduğu gibi RI indeksinin RA hastalarında sağlıklı gönüllülere göre yüksek, PI indeksinin ve S/D oranının ise düşük olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak RI indeksinin hem sağ hem de sol ulnar ve radyal arter için RA hastalarının sağlıklı gönüllülere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. PI indeksinin ulnar arter için RA hastalarının sağlıklı gönüllülere göre daha yüksek; radyal arter için daha düşük olduğu görülmüştür. S/D oranında ise sadece sol ulnar arter için sağlıklı gönüllülerde RA hastalarından düşük olduğu, sağ ulnar arter ve radyal arter için büyük olduğu görülmüştür.

## Kaynakça

- Fransen, J., Van Riel, P.L.( 2005). The Disease Activity Score and the EULAR response criteria, *Clin Exp Rheumatol* ;23, 93-99
- Fresko, İ.(2006). Romatoid Artrit Etiyoloji ve Patogenezi, *Türkiye Klinikleri J. Int. Med Sci*, 2(25), 7-11.
- Gosling, R. G., Dunbar, G., King, D. H., Newman, D. L., Side, C. D., Woodcock, J. P., Fitzgerald, D. E., Keates, J. S., McMillan, D.( 1971). The quantitative analysis of occlusive

peripheral arterial disease by a non-intrusive technique, *Angiology* 22, 52-55.

- Greenmyer, J.R., Stacy, J.M., Sahnoun, A.E., Real, J.R. and Diri, E.(2020).DAS28-CRP Cutoffs for High Disease Activity and Remission are lower than DAS28-ESR in Rheumatoid Arthritis, *ACR Open Rheumatology*, Vol.2,No.9, pp. 507-511. DOI 10.1002/acr2.11171

Gümüşdiş, G. (1999). Bağ Dokusu Hastalıkları: Romatoid artrit: Gümüşdiş, G., Doğanavşargil, E. (eds). *Klinik Romatoloji*, Deniz Matbaası, İstanbul, 269-279.

<http://www.acilveilkyardim.com/foto/kolnabiz.jpg>

<https://www.damaryolucerrahisi.com/anatomi>

[https://www.researchgate.net/figure/Correlation-between-patient-and-biometrician-derived-joint-counts-showing-kappa-values-of\\_fig2\\_221895328](https://www.researchgate.net/figure/Correlation-between-patient-and-biometrician-derived-joint-counts-showing-kappa-values-of_fig2_221895328)

İnanç, N., İnanç, M. (2006). Erken Romatoid Artrit, *Türkiye Klinikleri J Int Med Sci*, 2(25), 18-24.

Keen, H. I., Brown, A. K., Wakefield R. J., Conaghan, P. G.(2005). MRI and musculoskeletal ultrasonography as diagnostic tools in early arthritis, *Rheum Dis Clin N Am* 31, 699-714.

Latifoğlu, F. (2008). Umbilikal ve Uterin Atardamar Doppler İşaretlerinden Hamileliğin Değerlendirilmesi ve Myoma Uterinin Tespiti. (Doktora tezi). *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*

Maini, R. N., Feldmann, M. (1998). Immunopathogenesis of rheumatoid arthritis, In Maddison P, Isenberg D, Woo P, et al. *Oxford Textbook of Rheumatology*. Oxford University Press, 983-1004.

Özkan, A.O. (2010). *Romatizmal Eklem İltihaplı Hastaların Tedavi Sürecinde Radyal ve Ulnar Arter Kan Akışı Değişimlerinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi). *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*

Planiol, T., Pourcelot, L.(1973). Doppler effect study of the carotid circulation, *Ultrasonics in Medicine*, 104-111.

Seçil, M.(2008). Temel Ultrasonografi ve Doppler, [http://www.mustafasecil.com/ornek/ornek\\_bolum\\_1.pdf](http://www.mustafasecil.com/ornek/ornek_bolum_1.pdf)

Van Riel, P.L.(2014). The development of the disease activity score (DAS) and the disease activity score using 28 joint counts (DAS28), *Clin Exp Rheumatol*,32,65-74.

Williams, J.(2021). CIHR Strategic Training Program in Vascular Research, Vascular Imaging Techniques, Module 5, Doppler imaging, [online], [http://www.robarts.ca/CIHR\\_VTP/VASCPROG/Vascular\\_Imaging/Module5/doppler.pdf](http://www.robarts.ca/CIHR_VTP/VASCPROG/Vascular_Imaging/Module5/doppler.pdf)





# Yaygın Kullanılan Çevik Yöntemlerin Küçük Ölçekli Bir Uygulamanın Geliştirilmesi Sürecinde Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma

Ali Murat Tiryaki<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8224-6319), [tiryaki@comu.edu.tr](mailto:tiryaki@comu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902178)

**ATIF/REFERENCE:** Tiryaki, A.M. (2021). Yaygın Kullanılan Çevik Yöntemlerin Küçük Ölçekli Bir Uygulamanın Geliştirilmesi Sürecinde Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 385-391.

## Öz

Yazılım yaşam döngüsünde dış etkenlerden gelecek değişikliklerin kaçınılmaz olduğunu kabul ederek bu değişikliklere daha hızlı ve daha kolay cevap verilebilmesini hedefleyen çevik yazılım geliştirme modelinin ticari sektördeki kullanımı giderek artmaktadır. Çevik geliştirme yaklaşımının tanıtılmasından sonra bu modeli temel alarak farklı bakış açıları ile çözümler sunan pek çok çevik yöntem önerilmiştir. Yöntemlerin belirli bir proje için uygunluğu projenin tipi, büyüklüğü, geliştirme ekibinin büyüklüğü ve deneyimi, organizasyonel etkenler gibi parametreler değerlendirilerek belirlenmelidir. Çevik yöntemlerin sayısının artması ile, projeler için bu yöntemlerin uygunluğunun belirlenerek uygun yöntemin seçimi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada çevik yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılmakta olan Aşırı Programlama (Extreme Programming), Scrum, Rasyonel Birleştirilmiş Süreç (Rational Unified Process – RUP) ve Kanban yöntemlerinin küçük ölçekli projelerde kullanımının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda bu dört yöntem bir yüksek lisans dersi bünyesinde proje olarak geliştirilen küçük çaplı bir uygulamanın geliştirilmesinde farklı ekipler tarafından deneyimlenerek belirli parametrelere göre karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yazılım mühendisliği, Yazılım geliştirme yöntemleri, Evrimsel geliştirim, Çevik süreçler.

## A Study on the Evaluation of Commonly Used Agile Methodologies in the Development Process of a Small-Scale Application

### Abstract

The use of the agile software development model which aims to respond faster and easier to these changes, accepting that changes in the software life cycle are inevitable due to external factors, is gradually increasing in the sector. After the introduction of the agile development approach, many agile methods that offer solutions with different perspectives based on this model have been proposed. The suitability of the methods for a specific project should be determined by evaluating parameters such as the project's type, size, size and experience of the development team, and organizational factors. With the increasing number of agile methods, determining the suitability of these methods for projects and choosing the appropriate method has become an important issue. In this study, it is aimed to evaluate the use of the most common four agile methods in small-scale projects. These methods are Extreme Programming, Scrum, Rational Unified Process (RUP) and Kanban. In line with this goal, these four methods were experienced by different teams in the development of a small-scale application developed as a project within a graduate course and compared according to certain parameters.

**Keywords:** Software engineering, Software development methodologies, Evolutionary development, Agile processes.

\* Sorumlu Yazar: [tiryaki@comu.edu.tr](mailto:tiryaki@comu.edu.tr)

## 1. Giriş

Çevik yazılım geliştirme yaklaşımı [1] yazılım geliştirme süreci içerisindeki aktivitelerin yinelenmeli (iterative) ve artışı (incremental) [2] bir yol içerisinde yerine getirilmesi ile yazılımın evrime açık bir şekilde geliştirilmesini hedefler. Bu yaklaşımda yazılım Çevik Birliği (Agile Alliance) tarafından tanımlanmış olan temel değerler ve bu değerler üzerine tanımlanmış çevik pratikler kullanılarak geliştirilmektedir.

Çevik yazılım geliştirme modelinin kökeni 1957 yıllarındaki IBM'deki yazılım geliştirme çalışmalarına dayanmaktadır. Bu çalışmalar daha sonra E. A. Edmonds [3]'de artırılmış yazılım geliştirme yaklaşımını tanımlamıştır. 2001 yılında Kent Beck öncülüğündeki bir ekip tarafından çevik yazılım geliştirme yaklaşımının temel prensiplerinin tanımlandığı Çevik Manifesto [4] yayınlanarak yazılım geliştirmede çevik süreçler resmi olarak tanıtılmıştır.

Çevik Manifesto yazılım geliştirme yaşam döngüsü içerisinde bir plana sıkıca bağlı kalmak yerine değişime karşılık vermenin daha önemli ve öncelikli olduğu vurgulamaktadır. Çevik pratikler gereksinimlerdeki değişikliklere hızlı karşılık verebilmenin yanı sıra, döngüsel geliştirme yaklaşımı sayesinde risklerin geliştirme sürecinin erken safhalarında tespit edilebilmesine imkân sağlamakta, pazara çıkış süresini kısaltmakta ve yazılım kalitesini arttırmaktadır [5].

Çevik Manifesto ile, şelale modelde değişiklik maliyetinin yüksekliğinin ortaya çıkardığı olumsuz etkilerden etkilenmekte olan yazılım şirketleri yazılım geliştirme projelerinde çevik yaklaşımı tercih etmeye başlamış ve çevik süreçlerin ticari hayattaki kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Günümüzde çevik yaklaşım yazılım geliştirme alanı içerisinde en çok tercih edilen model haline gelmiştir.

Literatürde çevik yaklaşımı temel alan Aşırı Programlama (Extreme Programming) [6],[7], SCRUM [8], Rasyonel Birleştirilmiş Süreç (Rational Unified Process - RUP) [9], Kanban [10] gibi pek çok çevik yöntem tanıtılmıştır. Her bir yöntem desteklediği çevik pratikler ile çevik yaklaşımın 4 temel ilkesini tanımladıkları sistematik bir yol içerisinde kullanarak geliştirme sürecini kolaylaştırmayı ve hızlandırmayı amaçlamaktadır. Aşırı Programlama gibi bazı yöntemler kodlama faaliyetleri üzerinde odaklanarak kodlama tarzına etki ederken SCRUM gibi bazı yöntemler ise yönetimsel faaliyetler üzerine odaklanmaktadır. Yöntemlerin farklı perspektifleri ve destekledikleri farklı çevik pratikler şirketlerin yönetim tarzı, organizasyonel yapı, personel yapısı ve mevcut proje gereksinimlerine göre kendilerine uygun olan geliştirme yöntemine karar verme gereksinimini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılmakta olan RUP, Aşırı Programlama, SCRUM ve Kanban yöntemleri bir yüksek lisans dersinde oluşturulan ikili gruplar tarafından bir yazılım sisteminin geliştirilmesi için deneyimlenmiştir. Deneysel yöntem olarak; başlangıç yazılım gereksinimleri tanımlanmış ve dört adet proje grubundan aynı gereksinimleri kendilerine atanan geliştirme yöntemi olarak geliştirmeleri istenmiştir. Başlangıç gereksinimlerini sağlayacak ilk sürümün tamamlanmasına yakın sisteme yeni gereksinimler eklenerek yöntemlerin var olan tasarımı önemli derecede etkileyen yeni gereksinimlere cevap verebilirliği izlenmiştir. Çalışma sonucunda, ilgili dört yöntem elde edilen araştırma bulguları test sayısı, yönetimsel aktiviteler, gereksinim değişikliklerine cevap verebilme maliyeti gibi

ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Bildirinin bir sonraki bölümünde çevik geliştirme süreci içerisinde yer alan temel aşamalar genel karakteristikleri ile incelenmektedir. Üçüncü bölümde bildirinin konusu olan dört yöntemin örnek uygulamanın geliştirimi sırasında farklı ekipler tarafından kullanılması ve temel aşamaların ilerleyişi ile ilgili detaylar verilmektedir. Dördüncü bölümde ise, elde edilen araştırma bulguları dört yöntemin belirli ölçütlere göre karşılaştırılması şeklinde tartışılmaktadır.

## 2. Çevik Yazılım Geliştirme Süreci Aşamaları

Çevik yazılım geliştirme süreci temel olarak araştırma, planlama, üretim, bakım ve son olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır [11]. Çevik geliştirme yöntemlerinin her biri farklı faaliyetler ile bu temel aşamaları gerçekleştirmektedir. Bu bölümde bu aşamaların genel karakteristikleri incelenmektedir.

**Araştırma:** Araştırma aşaması geliştirme sürecinde üretimden önceki ilk aşamadır. Bu aşamada projenin ne olduğu, sınırlarının ne olacağı, nelerin yapılabilip nelerin yapılamayacağı, müşterinin tama olarak ne istediği gibi sorulara müşteri ile sürekli iletişim kurularak cevap aranır.

Araştırma aşaması içerisinde ekip üyeleri sistemin üretimi içerisinde kullanılması düşünülen teknolojileri deneyimler. Aynı zamanda kullanılacak bu teknolojilerin performans limitleri hakkında deneyim sahibi olmalıdırlar. Eğer ekip üyeleri kullanılacak teknolojiler konusunda deneyimli ise araştırma aşaması birkaç hafta gibi kısa bir sürede tamamlanabilir. Takım kullanılacak teknolojilere veya ilgi alanına yabancı ise bu aşama için birkaç ay devam edebilir.

Bu adım, müşterinin ilk sürümün yeteneklerinden tatmin olmadığı ve geliştirici takım üyelerinin sistemin gerçekleştirilmesi sırasında nelerin çıkabileceğini hesaplayamadığı sürece devam eder.

**Planlama:** Planlama aşamasının amacı müşteriler ve geliştiricilerin belirlenen senaryoların en küçük ve tam olarak bitmiş setlerinin hazır olacağı tarihler üzerinde anlaşmalarıdır. Planlama oyunu pratiği bunu yapmak için kullanılabilir. Bu aşama sonucunda sürümler, bu sürümlerin planlanan bitiş tarihleri ve bu sürümlerin gerçekleştirilmesi için planlanan iterasyonları içeren bir plan elde edilir.

İlk sürümün süresi iki ile altı ay arasında planlanmalıdır. Bundan daha kısa bir süre gerçekleştirim riskini artırır ve önemli ticari problemlere sebep olabilir. Birkaç aydan daha uzun bir süre ise geliştirim risklerini artırır.

**Üretim:** Üretim aşamasında, planlanan sürümlere ulaşılabilmesi için kısa süreli iterasyonlar gerçekleştirilir. Bu iterasyonları gerçekleştirim süresi 1-4 hafta veya buna yakın bir süre olarak grup yöneticisi tarafından belirlenir. Her iterasyonda daha önceki adımda gerçekleştirilen veya tasarlanan bileşenler daha uygun bir biçime getirilmeye çalışılır. Bu iterasyonlar sonucunda ortaya çıkacak sistem üzerinde çalışılan sürümün gereksinimleri için en uygun çözümü sunan sistem olmalıdır.

Her iterasyon bu iterasyon için planlanmış senaryoların her biri için fonksiyonel test durumlarının bir setini üretir. İlk iterasyon geliştirilmekte olan yazılım için temel bir mimari ortaya koyar. Bu yüzden ilk iterasyonlarda tüm sistem için önemli ve kritik olan senaryolar seçilmelidir. Sonraki

iterasyonlar için senaryo seçiminde ise müşterinin eğilimi ön planda tutulmalıdır. Bu eğilimi anlayabilmek için müşteriye “Sizin için bu iterasyon içerisinde çalışacak en önemli şey nedir?” sorusu sorulur.

Tüm bu iterasyonlar daha önceden hazırlanmış olan plan doğrultusunda gerçekleştirilir. Eğer planda bir sapma olacağı ortaya çıkarsa planda senaryoların eklenmesi, çıkarılması veya alanlarının değiştirilmesi gibi değişiklikler yapılabilir. Üretim son iterasyonlarında proje başlangıcında 2-3 hafta olan iterasyon süreleri 1 hafta gibi sürelerle kısaltılır. Geliştirim ekibinde kimin ne üzerinde çalıştığının herkes tarafından bilinmesi için günlük ayak üstü toplantılar düzenlenir.

Üretim son aşamalarında yazılımın değişmesine neden olacak adımlar yavaşlar. Bu yazılımın gelişmesinin biteceği anlamına gelmez. Ama ortaya çıkan değişiklik gereksinimlerinde yapılacak geliştirmenin bu sürüm içerisinde değişiklik yapılmasını gerektirecek kadar önemli olup olmadığı düşünülmelidir. Bu aşamada gerçekleştirilen değişikliğin ortaya çıkaracağı riskler projenin başlangıç aşamalarındaki göre çok daha fazladır.

**Bakım:** Bakım çevik yöntemler kullanılan bir yazılım geliştirme projesi için en önemli aşamadır. Çevik geliştirmede projeye geliştirim boyunca sürekli olarak var olan sistemin çalışması korunurken sisteme yeni işlevsellikler eklenerek devam edilir. Bakım ve evrim tüm proje geliştirim süresince baştan sona kadar devam eder. Bu yüzden dolayı çalışan sistemin güvenliğinin sürekli olarak garanti altına alınması ve korunması gerekmektedir. Bunun için test güdümlü geliştirme ve yeniden yapılandırma gibi teknolojiler kullanılmalıdır.

Proje boyunca ortaya çıkabilecek değişiklikler sadece müşteriden gelen gereksinim değişiklikleri değildir. Sürümler arasında geliştirim ekibinde veya kullanılan teknolojilerde değişiklikler meydana gelebilir. Daha önceki sürümde oluşturulan yapı içerisinde yapılması gerektiği sonradan görülen değişiklikler için büyük yeniden yapılandırmalar yapılması gerekebilir. Yeni mimarisel fikirler ortaya atılabilir.

Değişiklikler proje planında değişiklik yapılmasına neden olabilir. Dolayısıyla çevik geliştirmede yazılım sürekli olarak evrilirken aynı şekilde proje planı da geliştirim süreci boyunca evrilmektedir.

**Son:** Müşterinin yeni senaryolar ile gelmemesi projede son aşamaya geldiğinin göstergesidir. Gelecekte sistem içerisinde değişiklik yapılması gerektiğinde kullanılmak üzere programcı kataloğu, tasarım modelleri gibi dokümanlar hazırlanır.

Bir çevik yazılım geliştirme projesi olumlu veya olumsuz nedenlerde dolayı sonuçlandırılabilir. Olumlu neden müşterinin sistemden mutlu olması ve yakın gelecek için sisteme eklenebilecek bir şey bulamamasıdır. Olumsuz nedenler ise; müşterinin istediği yeni işlevselliklerin ekonomik olarak uygun olmaması, projenin zamanında tamamlanamaması ve tamamlanacağı sürenin kestirilememesi gibi nedenlerdir.

### 3. Yöntemlerin İlerleyişi

Bu bölümde CityCard uygulamasının geliştirilmesi sırasında çevik geliştirim sürecinin temel aşamalarında karşılaştırılmakta olan dört yöntemin ilerleyişi incelenmiştir.

Bu bölümde CityCard uygulamasının geliştirilmesi için kurulan ve herbiri bu çalışmada karşılaştırılmak istenen yöntemlerden birini bu sistemin geliştirimi için kullanan proje

ekiplerinin çevik geliştirim sürecinin temel aşamalarındaki ilerleyişleri incelenmektedir. Bu 5 temel aşamadan araştırma, planlama ve son aşamaları tüm proje grupları tarafından ortak gerçekleştirilmiştir. Diğer aşamalar ise her bir proje grubu için kullanılan yöntemlere özgü faaliyetler yerine getirilerek gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Araştırma

CityCard projesinin araştırma aşaması tüm yöntemler için ortak olarak yapılmıştır. Bu aşama müşteri ile güçlü bir iletişim gerektirmektedir. Projede bir müşteri olmadığından yüksek lisans dersini veren akademisyen müşteri rolünü üstlenmiştir. Bu adımda müşteri istekleri belirlenerek sistem için bir vizyon oluşturulmuştur. Uygulamanın kapsamı ve sınırları belirlenmiş, fonksiyonel gereksinimler üzerinde fonksiyonel olmayan gereksinimler tanımlanmıştır. Teknik fizibilite çalışması yapılarak özellikle donanımsal parçalar içeren kart okuyucu konsolunun simule edilmesi için çözümler değerlendirilmiştir.

Geliştirilmek istenen projenin boyutunun küçük olması, ekip üyelerinin de kullanılacak teknolojilerde deneyim ve bilgi sahibi olması nedeniyle projede araştırma aşaması bir hafta gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Araştırma aşaması sonucunda CityCard uygulaması için kullanıcı gereksinimlerini, rolleri ve kısıtlamaları içeren bir vizyon elde edilmiştir.

##### 3.1.1 CityCard: Şehir İçi Ulaşım Kartı Otomasyonu Vizyonu

CityCard şehir içi toplu taşıma araçlarında kullanılan bir otomasyon sistemidir. Toplu taşıma araçlarını kullanmak isteyen yolcular şehrin belli yerlerine yerleştirilmiş olan kart dolmuş merkezlerinden kartlarına kontör yükleyerek bu kontörler ile araçlara binebilmektedirler. Yolcu araca binip araçtaki konsola kartını gösterdiğinde bu ulaşım aracı için belirlenmiş olan ücret kartın bakiyesinden düşülür. Sistem şehir yönetiminin belirlediği süredeki binişleri aktarmalı biniş olarak kabul edebilecek şekilde kart hareketlerini takip edebilmelidir.

Sistem 4 adet rol içermektedir. Bunlar; kart sahibi, şoför, yükleme noktası ve yöneticidir. Her bir rol için başlangıç olarak belirlenen gereksinimler aşağıda tanımlanmıştır.

Kart Sahibi rolü 4 farklı profil içerir. Bunlar; Tam, Öğrenci, Yaşlı ve Engelli profilleridir. Bu profillerin birbirinden farkı, kart okuma sürecinde düşülen bakiye miktarıdır. Kart sahipleri sistemi kart ile tolu taşıma araçlarına binmek ve kart numaraları ile bakiye sorgulamak için kullanırlar.

Şoförler sistemi kendileri için geliştirilmiş panellere giriş yaparak kart okuma panelinden okutulan kartların bilgilerini takip etmek için kullanacaktır. Araçlardaki kart okuma panelleri bir şoförün aynı araçtaki şoför paneline giriş yapması ile aktif hale gelmelidir. Sistem şoför ve araç bazlı raporlar sunabilmelidir.

Yükleme noktaları Citycard kartlarına bakiye yüklenebilen noktalardır. Bu noktalar sistemden belirli bir bakiye satın alır ve sisteme bağlı yükleme panellerini kullanarak bu bakiyeleri kart sahiplerine satarlar. Bir yükleme noktası satın almış olduğu bakiye tükendiğinde herhangi bir karta bakiye yükleyemez. Tekrar yükleme yapabilmek için sistemden bakiye satın alması gerekir.

Yöneticiler sistemdeki tüm kullanıcıları tanımlayan, güzergâh ve ulaşım aracına göre her bir kart sahibi profili için ulaşım ücretleri gibi sistem parametrelerini belirleyen ve güncelleme yetkisine sahip olan kullanıcılarıdır. Kart oluşturma, güncelleme ve iptal etme Yönetici rolünün yetkisindedir. Ayrıca Yükleme Noktaları için bakiye yükleme yetkisine sahiptir.

Sistemin ana senaryosu olan karttan bakiye düşme senaryosu şu şekilde ilerlemektedir;

- Kart sahibi binmek istediği ulaşım aracındaki kart okuma paneline kartını yaklaştırdığından ulaşım aracı veya güzergaha göre kart sahibi profili için belirlenmiş olan ücret kartın bakiyesinden düşülür. Kartın bakiyesinin bu ücret için yetersiz olması durumunda karttan bakiye düşmez, “Yetersiz Bakiye” uyarısı verilir ve şoför panelinde uyarı görüntülenir.
- Aynı kart 5 dakika içerisinde aynı otobüsteki okuma panelinden tekrar okutulmaya çalışılması durumunda sistem kartın kart sahibi olmayan başka bir kişi tarafından kullanıldığını kabul eder ve “gösterilmiş kart” uyarısı verir ve bakiye düşmez. Bu durumda, şoförün kendi panelinden seçeceği kart tipi ile bakiye düşürme işlemi gerçekleştirilebilir.
- Bir kart okuma panelinden okutulan bir citycard sonraki 5-45 dakika arasında başka bir ulaşım aracında tekrar okutulursa bu biniş veya binişler aktarma olarak kabul edilecektir. Aktarmalı binişler kart sahibi profilinin indirimli ücretine göre fiyatlandırılmalıdır.

### 3.2 Planlama

CityCard uygulaması geliştirim sürecinde planlama aşaması tüm ekipler ile ortak olarak yapılmış ve ortak bir iterasyon planı oluşturulmuştur. Proje için oluşturulan bu genel iterasyon planında 2 ana iterasyon yer almaktadır. Süresi 2 ay olarak belirlenmiş olan ilk iterasyon, aşağıda listelenen gereksinimlerin tamamının donanımsal aygıtlar simule edilerek geliştirilmesini içermektedir. İkinci ana iterasyon ise geliştirilen işlevselliklerin donanımsal aygıtlara entegre edilmesi ve arayüzlerin geliştirilmesi çalışmalarını içerecek şekilde planlanmıştır. İkinci iterasyonun süresi 1 ay olarak belirlenmiştir. Proje başlangıcında tüm ekipler ile ortak oluşturulan genel iterasyon planı Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Genel İterasyon planı

İterasyon No	Görevler	Süre
1	Kart tanımlama,	2 ay
	Karta bakiye yükleme,	
	Karttan bakiye düşme,	
	Yükleme noktası ekleme,	
	Kart yükleme noktasına bakiye yükleme,	
	Şoför ekleme,	
	Ulaşım aracı ekleme,	
Kart bakiyesi sorgulama.		
2	Donanımsal aygıtlara entegrasyon,	1 ay
	Arayüzlerin geliştirilmesi.	

### 3.3. Üretim

SCRUM’da iterasyon geliştirme süreci Sprint planlama toplantısı ile başlanmıştır. Sprint’te yapılacak iş sprint planlama toplantısında planlanmıştır. Tüm SCRUM takımı planı birlikte oluşturur. SCRUM’da toplantıların gerçekleştirilmesi ve bu toplantılar için belirlenen zaman sınırına uyulması zorunludur. Bu toplantıda başlayan sprintte ürün parçası olarak ne teslim edilebilir ve bu ürün parçasını teslim etmek için gerekli iş nasıl başarılabacak sorularına cevaplar arandı.

Aşırı programlamada; iterasyonların geliştirme sürecine, müşteri hikayeleri ve iterasyon planında belirlenen sınıflar için sınıf diyagramı oluşturularak başlandı. Test güdümlü geliştirim – TGG (Test Driven Development) [12],[13] pratiğine uygun olarak, kodda risk oluşturabilecek önemli noktalar belirlenerek test durumları oluşturuldu. Kullanıcı hikayelerine göre ilerleme sağlandığından her iterasyonda riskler ve gereksinimler planlama oyunu pratiği [14] çerçevesinde yapılan tartışmalar ile belirlenmiştir.

RUP metodolojisi iterasyon geliştirme sürecinde iterasyona kod yazmak ya da test senaryoları çıkarmak gibi kodlanmış yöntemler kullanmaz. RUP’un temel felsefesi her aşamada modelleme yapılması üzerine kuruludur. Bu modellerin oluşturduğu dokümantasyon genellikle sistemin müşteri ile birlikte oluşturulmuş vizyonundan sistemi kimlerin kullanacağını ve sistemde neler yapabileceğini belirten aktör-hedef diyagramı oluşturmak ile başlar. Daha sonra aktörlerin yapabileceği işleri daha açıklayıcı bir şekilde ifade eden kullanım durumu diyagramları oluşturmaya başlanır.

Kanban kartları ile ilerleyen Kanban metodolojisi görselleştirmeye önem verir. Her kart geliştirme aşamasında küçük toplantılar yapılabilir. Toplantılar gerektiğinde düzenlenir zorunluluğu yoktur. Sistem geliştirilirken karşılaşılan zorluklar takım ile paylaşılır. Kanban kartları renklerine göre önemliliğini gösterir. Kartın bir aşamada tamamlanmasından sonra diğer bölüme aktarılır. Takım çalışmasına göre bir kişinin yeterlilikleri göz önüne alınarak kart atanır.

Aşırı programlama kullanan ekipte bu yöntemin 12 temel prensibinden bir tanesi olan test güdümlü geliştirim prensibi ile kod geliştirilmesinden önce testlerin geliştirilmesi ilk aşamada bir problem oluşturdu. Proje ekibinin daha önceden test güdümlü geliştirim tekniğini kullanmamış olması nedeni ile yeni bir yaklaşım olarak anlayışın benimsenmesinde zorlandığı görüldü. İlk iterasyonun geliştirilme sürecinde bu pratiği kullanarak geliştirme yapmak için normalden uzun bir çaba ve zaman harcandı. İlk iterasyonun tamamlanması ile ikinci iterasyonda bu pratiğe daha iyi uyum sağlanarak pratiğe uygun bir şekilde geliştirme aşamalarına devam edildi. Her aşama sonucunda pratiğin faydaları arasında en önemli avantaj olan sorunsuz sürümler ortaya çıkmış oldu.

Kanban metodolojisi öncelikle kanban kartının isteklerini inceleyip daha sonra kodlamaya geçmektedir. Her kart yapılacak olan işlemin en küçük parçacığı olarak nitelendirilir. Test aşamaları kodlama işlemlerinden sonra yapılır. Test aşamalarında çıkan sorunlar tekrar kodlama aşamasına döner testlerden geçen kart tamamlanmış olarak işaretlenir ve bir sonraki karta geçiş yapılır. Test aşamasında kartın stratejik rengine bakılarak süresi belirlenir. Müşteri tarafından yapılan geri dönüşler sonrasında değiştirilecek bölümler yeni kartlara bölünür. Her geliştirme sonucunda yeni test durumları oluşturulur.

Projenin başlangıcında SCRUM metodolojisini kullanan ekip de CityCard uygulamasının geliştiriminde kodlama yöntemi olarak test güdümlü geliştirim ile ilerlemeyi tercih etmiştir. Kodlama aşamasına geçmeden önce Sprint planlama toplantısında oluşturulan görevler doğrultusunda test durumları oluşturulmuştur. Bu test durumları kullanılarak öncelikli olarak testlerin geliştirilmesi ve ardından kodların geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu yaklaşım için geliştirici takımının deneyim eksikliği olması nedeni ile sürecin başlangıcında bu prensibin uygulanmasında zorluklar yaşanmıştır. Ancak gereksinim analizi sonucunda ortaya çıkan kullanıcı hikayelerini göz önüne alarak testlerin geliştirilmesinde faydalanılmıştır.

Aynı şekilde, RUP metodolojisi kullanan ekip de test güdümlü geliştirim tekniğini temel RUP süreci içerisine entegre ederek kullanmıştır. Ekip UML kullanım durumu diyagramı ve kullanım durumu içeriklerinin [15] tanımlanmasından sonra üst seviye entegrasyon testleri yazarak geliştirmeye devam etmiştir. Her kullanım durumunun başlangıçta ana başarı senaryosu için testler tanımlanarak bu testlerin yönlendirmesi ile senaryoyu gerçekleştiren kodun gerçekleştirimi yapılmıştır. Ana başarı senaryosundaki tüm testleri başarılı olmasında sonra ise alternatif senaryolardaki her senaryo için aynı süreç işletilmiştir.

### 3.4. Bakım

Çalışmada konu edilen geliştirme yöntemlerinin proje geliştirimi sırasında ortaya çıkan kullanıcı gereksinimi değişikliklerine cevap verebilme açısından değerlendirilebilmesi amacıyla ilk iterasyonun tamamlanmasından sonra kullanıcı gereksinimlerinde şu değişiklik ve eklemeler yapılmıştır:

1. Şoförün sadece kart okumalarını takip edebildiği şoför paneline düğmeler eklenerek kart okutma işlemlerine müdahale edebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu müdahaleler ile okutulacak karttan hangi kart tipine göre bakiye düşüleceğini belirleyebilirler. Örneğin, bir öğrenci kartından tam ücret alınmasını veya tam tersini sağlayabilmektedirler. Sistemin bu yeteneği sayesinde bir kartın kart sahibi dışındaki kişiler için de kullanılabilmesi sağlanacaktır.

2. Kart okutulan panelin ve şoför panelinin birbirinden bağımsız çalışan iki farklı süreç hale getirilmesi gerekmektedir.

RUP'da bu değişiklik talebinin karşılanabilmesi için ilk sürümde kart okuma senaryosu için oluşturulmuş olan analiz ve tasarım dokümanları gözden geçirilerek çözüm için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Değişikliklerin özellikle etkileşim diyagramlarını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Daha sonra, tasarım modellerinde ortaya çıkan bu değişiklikler koda aktarılmıştır.

Projenin küçük çaplı olması ve geliştirilen yazılımın boyutunun küçük olması nedeniyle, RUP yöntemini kullanan ekipteki geliştiricilerin doğrudan koda müdahale etmek yerine analiz ve tasarım dokümanlarının yeniden düzenlenmesi konusunda motivasyonlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Yazılım tasarımının bu modellerde verilen kararlar ile yalın halde oluşturulmuş olması ve tasarım ile ilgili dokümanların detaylı olması nedeniyle değişiklikler sisteme kolayca entegre edilebilmiştir. Değişikler bu şekilde yaklaşık 10 gün süren bir iterasyon şeklinde projeye dahil edilmiş, analiz ve tasarım modelleri sistem ile uyumlu olarak güncel tutulmuştur.

SCRUM yönteminde yeni gelen kullanıcı gereksinimi için öncelikle sprint planlama toplantısı gerçekleştirilmiştir. Değişiklik talebinin gerektirdiği aktarma işlevinin

gerçekleştirilmesi için yapılması gerekenler ve öncelikleri belirlenerek küçük görevlere bölünmüştür. Bu görevler öncelik sırasına göre ele alınarak koda gerekli düzenlemeler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Sistemin geliştirilmesi sprintlere bölünerek ve müşteri ile etkileşim halinde bulunarak gerçekleştirildiği için müşteri tarafından istenen güncelleme ve değişiklikler planlama toplantısında detayları konuşulup tartışılarak zaten değişikliğe açık olan bir sisteme aktarılırken çok fazla efor gerektirmemiştir. Değişikliklerin sisteme aktarılması SCRUM yönteminde 1 haftada tamamlanmıştır.

Kanban'da yeni gelen istek karşısında yeni bir kanban kartı oluşturulmuştur. Yapılan ufak toplantıda yeni iterasyonda yapılması gerekenlere karar verilmiştir. Koda yeniden düzenlemesi gereken sınıflar güncellenmiş ve testlere yeni gereksinimleri kontrol edecek yeni test durumları dahil edilmiştir.

Kanban yönteminde değişiklikler 2 haftalık bir iterasyon ile sisteme dahil edilebilmiştir. Bununla birlikte, değişikliklerin diğer yöntemlere göre daha fazla birimi etkilediği gözlemlenmiştir. Bu durumun geliştirim süresi boyunca çok az sayıda modelleme yapılması ve tasarımın iyileştirme çalışması yapılmaması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Aşırı programlamada gelen değişiklik talebi bir iterasyon toplantısı ile değerlendirilmiş ve iterasyon için küçük görevler belirlenmiştir. Geliştirim boyunca test güdümlü geliştirim tekniği kullanıldığından her görev için ilk olarak test durumları tanımlanmış ve kodlanmıştır. Başlangıçta başarısız olan bu testlerin yönlendirmesi ile koda düzenlemeler yapılarak testlerin başarılı olmasını sağlayacak kodlar elde edilmiştir.

Kodun değişmesi sırasında daha önceki iterasyonlarda oluşturulmuş olan testlerin bazılarının başarısız olduğu görülmüştür. Başarısız olan bu testler incelendiğinde bazılarının algoritma mantığındaki değişimler nedeniyle başarısız olduğu fark edilmiş ve bu testler yeni oluşturulan mantığa göre yeniden düzenlenmiştir.

Aşırı programlama yöntemini kullanan ekip, değişiklikler 1 haftalık iterasyon süreci içerisinde sisteme dahil edebilmiştir. Bu 1 haftalık bir zaman diliminde yeni isteği sisteme entegre edecek uygun test senaryoları ve var olan test senaryolarının güncelleme gerektirenleri için gerekli güncellemeler yapılarak yeni istek sisteme entegre edilmiştir.

### 3.5 Son

Başlangıçtaki vizyona göre değişikliklerin gerçekleştirildiği üçüncü iterasyon projenin 13.-14. haftaları arasında tüm ekipler tarafından tamamlanmıştır. Bu iterasyonun tamamlanması ile proje için tanımlanmış olan tüm kullanıcı gereksinimleri yerine getirilerek sistem donanımsal aygıtlara entegre bir şekilde çalışır duruma getirilmiştir. Tüm çalışma ekiplerinde proje boyunca elde edilmiş olan doküman, model ve testler gerektiğinde yeniden kullanılabilir şekilde depolanmıştır.

## 4. Değerlendirme

CityCard projesi geliştirilirken Aşırı Programlama, SCRUM, Kanban ve RUP yazılım geliştirme metodolojilerinde her bir iterasyonda geliştirilen test sayıları ve oluşturulan sınıfların sayısı Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak görselleştirilmiştir.

Tabloyu incelediğimizde aşırı programlama yöntemini kullanan ekibin oluşturduğu testlerin sayısının diğer ekiplerinkine göre kayda değer şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin aşırı programlamanın test güdümlü geliştirim tekniğini geliştirimin odağına koyması ve model odaklı dokümantasyon yerine testlerin yazılım geliştiriminin her aşamasında oluşturulması üzerine kurulu olmasıdır.

Tablo 2. Test sayıları

Yazılım Geliştirme Yöntemi	1. İterasyon			2. İterasyon			3. İterasyon		
	Test Sayısı	Sınıf Sayısı	Süre (Gün)	Test Sayısı	Sınıf Sayısı	Süre (Gün)	Test Sayısı	Sınıf Sayısı	Süre (Gün)
Aşırı Programlama	32	8	40	42	9	20	55	11	7
SCRUM	23	12	52	32	14	24	41	16	7
RUP	19	9	61	28	12	30	31	13	10
KANBAN	10	4	46	19	5	25	32	8	14

RUP yöntemini kullanan ekibin oluşturduğu test sayısı daha az olmakla birlikte, daha önceki süreçlerde geliştirilmiş olan gereksinimler üzerinde değişiklikler gerektiren üçüncü iterasyonda test ve sınıf sayısındaki değişimin az olmasının bu değişikliklerin sistem tasarımını ve testlerini çok fazla etkilememiş olduğu şeklinde yorumlamaktayız. Bu durum RUP yöntemi ile değişikliklerin sisteme yayılmasını önleyen, daha kaliteli bir tasarımın elde edildiğini göstermektedir.

Kanban yönteminin kullanan ekip hiçbir modelleme çalışması yapmadan kod gerçekleştirimine başlamıştır. Bu eğilimi tetikleyen unsurun projenin ölçeğinin oldukça küçük olması ve gereksinimlerin gerçekleştirim detaylarının çoğunun başlangıçta belirlenebiliyor olması olduğu düşünülmektedir. Doğrudan kod gerçekleştirmeye başlamak Kanban ekibinin ilk iterasyonu diğer ekiplere göre daha kısa bir sürede tamamlayabilmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, kullanıcı gereksinimlerinin değiştiği üçüncü iterasyon sonunda test ve sınıf sayısının önemli derecede artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni, değişikliklerin modüler olmayan sistem tasarımında tüm bileşenlere yayılmış olmasıdır.

İterasyonların tamamlanma sürelerine baktığımızda RUP yönteminin diğer yöntemlere göre kayda değer şekilde yavaş kaldığını görülmektedir. RUP'un geliştirim süreci boyunca birbirinin girdisi olarak kullanılan analiz ve tasarım modellerinden oluşan detaylı modelleme gereksinimi küçük ölçekli projelerde zaman açısından bir dezavantaj oluşturabilmektedir. Geliştirilen yazılımın büyüklüğü arttıkça, bu modelleme mantığı içerisinde elde edilen tasarım kararlarının kaliteli tasarım oluşturmadaki avantajları görülebilmektedir. Üçüncü iterasyonun tamamlanma sürecine baktığımızda bu etkiyi az da olsa görebilmekteyiz. Orta ve büyük ölçekli projelerde bu etkinin çok daha fazla olacağı açıktır.

Aşırı programlama kullanan ekip iterasyonlar basit bir sınıf diyagramı oluşturarak başlamıştır. İterasyonlar bu diyagramlardaki sınıfların kodlanması ile devam ettirilmiştir. Aşırı programlamanın dokümantasyondan çok ekip içerisindeki iletişime önem veren felsefesi bu tür küçük ölçekli projelerde oluşturduğu çeviklik ve hızlı versiyon elde etme avantajları bu projede de gözlemlenmiştir. Geliştirim aktivitelerinin odağına

test güdümlü geliştirimi koyan bu ekip hem ietrasyonlaen tamamlanma sürelerinde en kısa süreleri yakalamış hem de değişikliklerin ortaya çıktığı üçüncü iterasyonda bu değişikliklere hızlı cevap verebilecek ve değişikliklerin sistem geneline yayılmasını engelleyecek tasarımı yakalamayı başarabilmiştir. Yazılım kodunun sürekli yeniden yapılandırmaya tabi tutulması sayesinde bu ekibin ikinci iterasyonun sonudna elde ettiği sade tasarımın değişikliklerin ortaya çıkardığı zaman ve efor maliyetini en aza indirebildiği gözlemlenmiştir.

SCRUM yöntemini kullanan ekip başlangıçta aşırı programlama ile benzer bir geliştirim yolu tercih ederek test güdümlü geliştirim ile gerçekleştirime başlasa da projenin ilerleyen aşamalarında bu tekniği devam ettiremediği görülmüştür. Bu durumun nedeninin ekibin test güdümlü geliştirim pratiğini yeniden yapılandırma, ikili programlama, metafor gibi diğer pratiklerle destekleyememiş olması olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte SCRUM yöntemi önerdiği Sprint toplantıları ve günlük toplantılar ile ekibi oluşturan iki kişi arasındaki iletişimi sürekli güçlü tutabilmiştir. Bu sayede test güdümlü geliştirim yapılamamasının oluşturabileceği dezavantajlar önlenmiştir. Ekip güçlü iletişim ile üçüncü iterasyondaki değişikliklere hızlı cevap verebilmiştir.

Kanban yönteminde iterasyonlardaki görevler küçük görevlere bölünerek bu görevler için Kanban kartları oluşturulmuştur. Kartlar ile belirlene bu küçük görevler ekip üyeleri tarafından herhangi bir modelleme çalışması yapılmadan doğrudan kodlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu geliştirim tarzı ilk iterasyonun hızlı bir şekilde tamamlanmasına imkân sağlasa da tasarımı iyileştirmek için çalışma yapılmamış olması modüler olmayan bir tasarımın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kaliteli bir tasarım elde edilememesinin nedeninin ekip üyelerinin birbirleriyle iletişimi sürekli tutmadan birbirlerinden bağımsız olarak kendilerine atanan görevlerin yerine getirmeye çalışmış olmaları olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, gereksinim değişiklikleri içeren üçüncü iterasyonda belirgin olarak ortaya çıkmış, değişiklikleri saplayabilmek için tasarımı ve kodu yeniden düzenlemek gerekmiştir. Bu nedenden dolayı üçüncü iterasyonu en geç tamamlayan ekip Kanban ekibi olmuştur. Yazılımın büyüklüğünün daha da artması ve yeni gereksinimler gelmesi durumunda bu dezavantajın daha büyük problemlere yol açmasının olasılığı yüksek görülmüştür.

Sonuç olarak, çalışma kapsamında gerçekleştirilen küçük çaplı uygulamanın geliştiriminde tasarımın kalitesi, geliştirim süresi, modelleme ve değişikliklere cevap verebilme parametreleri ile değerlendirildiğinde Aşırı Programlama ve SCRUM yöntemleri ile diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aşırı programlama ekibinin geliştirim süreci boyunca elde ettiği test durumları uygulama için sağlam bir dokümantasyon oluşturmaktadır. Bu durum iki yöntem arasında aşırı programlamayı bir adım öne çıkarmaktadır. RUP yöntemindeki yoğun modelleme gereksinimi küçük çaplı projelerin özellikle ilk iterasyonlarında süre açısından bir dezavantaj oluşturabilmektedir. Fakat, tasarımı sürekli düzgün planlaması ve bu sayede değişikliklere kabul edilebilir bir sürede cevap vermiş olması nedeniyle RUP yönteminin de tüm parametreleri dengeleyerek başarı yakaladığı değerlendirilebilir. Bu çalışmada Kanban yöntemi tasarım kalitesi ve değişikliklere cevap verebilme parametrelerinde diğerlerine göre daha başarısız olmuştur. Bunun nedeninin Kanban ekibindeki iletişim kopukluğu olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma sırasında yapılan gözlemler ve elde edilen bulgular doğrultusunda küçük ölçekli yazılım projeleri için dokümantasyon ve modellemenin en aza indirildiği, bunun yerine ekip içi iletişimin yüksek tutulduğu aşırı programlama ve SCRUM yöntemlerinin daha hızlı sonuçlar verdiği, çevik yol içerisinde modellemeyi de entegre eden RUP yönteminin başlangıçta daha yavaş kalmasına rağmen detaylı tasarım çalışmaları ile yeni gereksinimlere hızlı cevap verebildiği gözlemlenmiştir. Kanban yönteminde kartlara ayrıştırılan görevlerin ekip üyelerine atanması sonrasında bireylerin birbirinden bağımsız olarak bu görevleri, yerine getirmeleri durumunda proje risklerinin önemli derecede arttığı değerlendirilmiştir.

## Kaynakça

- [1] Highsmith, J., & Cockburn, A. (2001). Agile software development: The business of innovation. *Computer*, 34(9), 120-127.
- [2] Gerald M. Weinberg, as quoted in Larman, Craig; Basili, Victor R. (June 2003). "Iterative and Incremental Development: A Brief History". *Computer* 36 (6): 47–56. doi:10.1109/MC.2003.1204375.
- [3] Edmonds, E. A. (1974). "A Process for the Development of Software for Nontechnical Users as an Adaptive System". *General Systems* 19: 215–18.
- [4] Beck, K.; et al. (2001). "Manifesto for agile software development", Agile Alliance
- [5] Hunt, J. (2006). Agile methods and the agile manifesto. *Agile Software Construction*, 9-30.
- [6] Beck, K. (2000). *Extreme programming explained: embrace change*. Addison-Wesley Professional.
- [7] Jeffries, R., Anderson, A., & Hendrickson, C. (2001). *Extreme programming installed*. Addison-Wesley Professional.
- [8] Sutherland, J., & Schwaber, K. (2013). The scrum guide. *The definitive guide to scrum: The rules of the game*. Scrum.org, 268.
- [9] Kruchten, P. (2004). *The rational unified process: an introduction*. Addison-Wesley Professional.
- [10] Ahmad, M. O., Markkula, J., & Oivo, M. (2013, September). Kanban in software development: A systematic literature review. In *2013 39th Euromicro conference on software engineering and advanced applications* (pp. 9-16). IEEE.
- [11] Moniruzzaman, A. B. M., & Hossain, D. S. A. (2013). Comparative Study on Agile software development methodologies. *arXiv preprint arXiv:1307.3356*.
- [12] Beck, K. (2003). *Test-driven development: by example*. Addison-Wesley Professional.
- [13] Astels, D. (2003). *Test driven development: A practical guide*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- [14] Beck, K. (1999). Embracing change with extreme programming. *Computer*, 32(10), 70-77.
- [15] Rosenberg, D., & Scott, K. (1999). *Use case driven object modeling with UML* (pp. 1-4). Reading: Addison-Wesley Professional.



## FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolünün Rol Tabanlı Bir Çoklu Etmen Çerçevesi ile Gerçekleştirilmesi

Ali Murat Tiryaki<sup>1\*</sup>, Varol Güven<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8224-6319), [tiryaki@comu.edu.tr](mailto:tiryaki@comu.edu.tr)

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2246-3463), [vguven@comu.edu.tr](mailto:vguven@comu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902173)

**ATIF/REFERENCE:** Tiryaki, A.M. & Güven, V. (2021). XFIPA İngiliz Açık Artırma Protokolünün Rol Tabanlı Bir Çoklu Etmen Çerçevesi ile Gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 392-397.

### Öz

Etmenler özerk ve karmaşık yazılım birimleridir. Etmenlerin önemli karakteristiklerinden birisi sosyalliktir. Etmenler genellikle kendi hedefleri doğrultusunda içinde buldukları çoklu etmen sistemde bulunan diğer etmenler ile etkileşimli bir şekilde çalışarak bu hedeflere ulaşmaya çalışırlar. Etmenlerin aynı platformda veya başka platformlarda bulunan diğer etmenlerle iletişim kurabilmesi ancak ve ancak etmenler arası haberleşmenin belirli iletişim ve etkileşim standartlarına dayandırılmasıyla gerçekleşebilir. Standartların tanımlanması etmen teknolojisinin endüstri tarafından kabul edilebilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada, FIPA kuruluştan tarafından tanımlanmış olan “İngiliz Açık Artırma” isimli etkileşim protokolü SEAGENT çerçevesi tarafından sunulan rol tabanlı geliştirim ortamı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, FIPA İngiliz Açık artırma protokolünde bulunan etmen rolleri ve bu rollerin hedeflerini gerçekleştiren planlar elde edilmiştir. Geliştirilen bu genel planlar SEAGENT çerçevesi kullanılarak geliştirilecek çoklu etmen sistem uygulamalarında kolaylıkla yeniden kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yazılım etmenleri, Çoklu etmen sistemleri, Etmen standartları, etkileşim protokolleri.

## Implementation of the FIPA English Auction Protocol with a Role-Based Multi Agent Framework

### Abstract

Agents are autonomous and complex software units. One of the major characteristics of agents is sociality. In general, agents do not work single to achieve their objectives. They try to achieve own objectives by working collaboratively with other agents situated in same multi agent system(s). Collaboration among agents situated in same or different agent platform(s) is realizable if and only if correspondence among agents is based on specific communication and interaction standards. Definition of standards increase acceptability of agent technology by industry. In this study, the interaction protocol named as “English Auction” which has been specified by FIPA was implemented by using the role-based development environment provided by SEAGENT framework. As a conclusion of the study, the agent roles and the agent plans that achieve the goals of these roles in the FIPA English Auction Protocol were obtained. These generic plans can be simply reused in other multi agent system applications developed using SEAGENT framework.

**Keywords:** Software agents, Multi agent systems, Agent standarts, Interaction protocols.

\*Sorumlu Yazar: [tiryaki@comu.edu.tr](mailto:tiryaki@comu.edu.tr)



## 1. Giriş

Son yıllardaki önemli araştırma alanlarından biri olan anlamsal veb (semantic web) [1,2] verilerin anlamsal bir şekilde tanımlanmasını sağlayarak bilgisayarların günümüz vebinde insanlar tarafından yapılabilen yorumlamaları yapabmesini hedeflemektedir. Buradaki anlamsallıktan kasıt verinin yazılımlar tarafından anlaşılabilir ve bu sayede otomatik işlenebilir bir formatta tanımlanması ve tutulmasıdır.

Anlamsal veb vizyonu iki temel teknoloji üzerine kuruludur. Bunlardan birincisi, verilerin anlamsal bir formatta tutulmasını sağlayan, mantık tabanlı ontoloji dilleridir. İkincisi ise anlamsal formatta tutulan verinin üzerinde çalışarak veriyi yorumlayacak ve işleyecek özerk ve akıllı yazılımlar olan etmenlerdir (agents) [3]. Vebdeki verilerin bilgisayarlar tarafından otomatik olarak yorumlanabilmesi ve işletilebilmesi hedefi ancak ve ancak bu iki teknolojinin birlikte kullanılmasıyla başarılabilir.

Yazılım etmenleri (software agents) [4][5], anlamsal vebde ontolojiler üzerinde çıkarsama yapabilecek yapay zeka teknikleri ile oluşturulmuş özerk ve sosyal yazılım sistemleridir. Bilişsel (cognitive) yeteneklerinin yanında çevresinde olup biteni algılama (perception), özerklik (autonomy), öğrenme (learning) ve çıkarsama (reasoning) yapma gibi yeteneklere de sahiptir. Vebde kullanıcıları için beklenen görevleri yerine getirmek üzere sürekli olarak ortamı takip ederek ortamdaki değişiklikler karşısında tepki verebilme, sahip oldukları bilgi tabanlarını güncelleyebilme, kullanıcılarına veya ortamdaki diğer etmenlere haber verebilme gibi işlemleri kullanıcının tetiklemesine gerek duymadan kendi kendine karar verebilme yeteneğine sahiptirler. Etmen bu kararları verirken ortamın ve sahip olduğu bilgi tabanının güncel durumunu ve kendisine daha önceden atanmış olan hedefleri değerlendirirler [6].

Veb gibi etkileşime açık ortamlarda etmenler genellikle hedeflerini tek başlarına yerine getiremezler. Ortak hedeflere sahip olan etmenler bir araya getirilerek Çok Etmenli Sistem – ÇES (Multi Agent System - MAS) adı verilen federal yapıları oluştururlar [7]. ÇES'ler çalışma zamanında yeni etmenlerin eklenebildiği veya varolan etmenlerin ayrılabilirdiği açık ve dinamik sistemlerdir. Diğer yandan, ÇES içerisindeki her etmen kendi bilgi tabanını ve hedeflerini kendi başına yönetme yetkisine sahiptir. Her etmen bilgi tabanını oluşturmak ve yönetmek için farklı teknolojiler kullanabilir. Bu yüzden dolayı ÇES'ler heterojen dağıtık sistemlerin bir türü olarak sınıflandırılmaktadır [8].

Vebin global yapısı düşünüldüğünde, aynı ÇES içerisinde yer alan heterojen etmenlerin, hatta farklı ÇES'lerin aralarında etkileşimli çalışabilmelerinin sağlanması anlamsal veb vizyonundaki hedeflerin yerine getirilmesi için en önemli konular arasında yer almaktadır. Bu dinamik ve heterojen ortamda etmelerin birlikte çalışabilmesi ancak ÇES mimarisinin, etmenler arası haberleşmenin ve etkileşimin belirli standartlara ve önceden tanımlanmış protokollere dayandırılması ile sağlanabilir [9]. Bu yüzden, etmen sistemler için böyle standartların tanımlanması ÇES geliştirimi alanı içerisinde önerilmiş konulardan bir tanesidir.

Günümüze kadar çeşitli araştırma grupları ve kurumlar, etmen sistemler için standart tanımlama üzerine çalışmaktadırlar. Bunlar arasında Akıllı Fiziksel Etmenler Kurumu – AFEK (The Foundation for Intelligent Physical Agents - FIPA) [10] isimli kurumun standartları diğerlerinden önce çıkmış ve etmenler

üzerine çalışan araştırmacılar tarafından geniş çapta kabul görmüştür. FIPA, çok etmenli sistemler arasındaki birlikte çalışabilirliği (interoperability) en üst düzeye çıkartmak için evrensel standartlar ortaya koymak amacı ile kurulan, kar amacı gütmeyen bir topluluktur. Kuruluşun isminde "fiziksel" kelimesinin geçmesinin nedeni, kuruluşun yalnız yazılım tabanlı değil aynı zamanda donanım tabanlı etmenlerle de ilgilenmeleridir. FIPA günümüze kadar etmen sistemler için W3C tarafından kabul edilmiş pek çok standart tanımlamıştır.

Jade [11], Retsina [12], DECAF [13] ve SEAGENT [14] gibi birçok ÇES çerçevesi FIPA standartları üzerine kuruludur. ÇES çerçevelerinin FIPA uyumlu olması bu çerçevelerin akademik ve ticari ortamda kabul edilebilirliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. FIPA standartlarının bu çerçeveler ile gerçekleştirimi üzerine çalışmalar FIPA standartlarının ÇES tasarımı sırasında nasıl kullanılacağını belirterek bu standartların somutlaştırılmasını sağlamaktadırlar.

FIPA, ÇES'ler içerisindeki etmenler arası etkileşimleri standart hale getirmek adına istek, pazarlık ve açık artırma gibi çeşitli etkileşim protokolleri tanımlamıştır. Her etkileşim protokolü iki veya daha fazla etmenin ortak bir hedefi başarmak üzere birlikte çalışması sürecini ve bu süreç boyunca etmenler arası gidip gelen mesajları tanımlamaktadır.

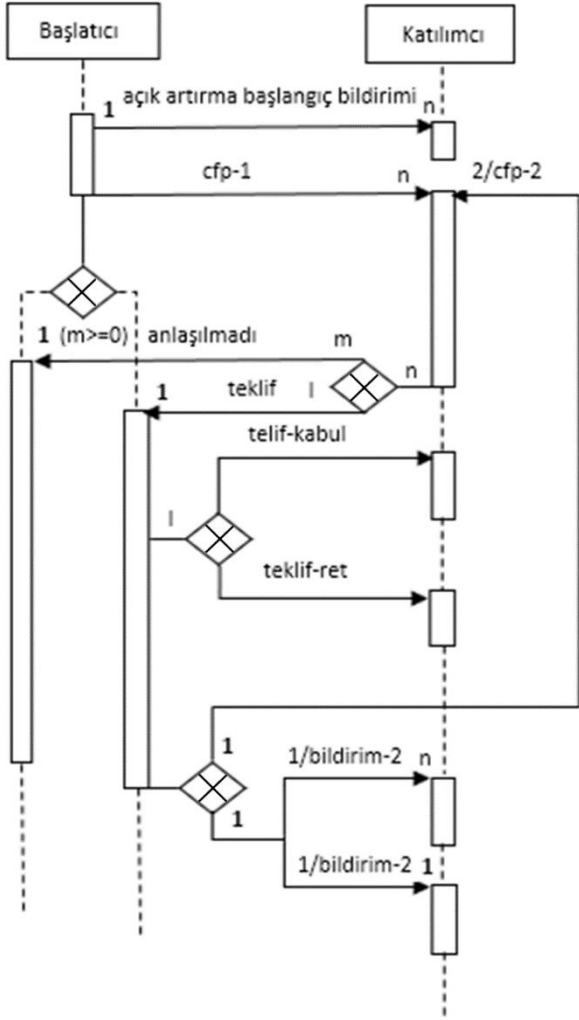
Bu çalışmada, FIPA tarafından tanımlanmış olan İngiliz Açık Artırma (English Auction) etkileşim protokolü [6] SEAGENT ÇES geliştirim çerçevesi ile gerçekleştirilmiştir. Bir açık artırma sürecinde bir satıcı ve birden fazla alıcı etmen yer almaktadır. Satıcı etmen belirli bir ürünü veya servisi satmak veya kiralamak üzere açık artırmaya sunar. Alıcı etmenler kendilerine atanan sorumluluk ve yetkiler dâhilinde kullanıcılarına avantaj sağlayacak şekilde fiyatı artırır veya gerekli gördüklerinde açık artırmadan çekilirler. En son, en yüksek fiyatı öneren alıcı etmen satıcı etmen ile anlaşarak ürünü\servisi alır veya kiralar. FIPA İngiliz Açık Artırma protokolü bu süreç içerisinde etmenler arası gidip gelen mesajların içeriğini ve sırasını tanımlamıştır. Protokoldeki alıcı ve satıcı rolleri için bu mesajları üreten ve gelen mesajlar karşısında kararlar veren etmen planları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu etmen planları SEAGENT çerçevesi kullanılarak geliştirilecek ÇES uygulamaları içerisinde açık artırma gerektiği yerlerde yeniden kullanılabilir halde tasarlanmış ve SEAGENT plan kütüphanesine eklenmiştir.

Bildirinin bir sonraki bölümünde, çalışmanın altyapısını oluşturan İngiliz Açık Artırma protokolü tanımlanmaktadır. Üçüncü bölümde SEAGENT platformunun genel karakteristikleri ve geliştirim ortamı incelenmektedir. Dördüncü bölümde FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolü'nün SEAGENT çerçevesinin sunduğu geliştirim ortamında gerçekleştirimi ile ilgili detaylar sunulmaktadır. Son bölümde ise çalışma ile ilgili tartışma ve sonuç yer almaktadır.

## 2. FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolü

FIPA İngiliz Açık Artırma Etkileşim Protokolü [14] bir ürünün satıcısı ile alıcılar arasında açık artırma ile ürünün fiyatının belirlenmesi için tanımlanmıştır. Protokolün önerdiği süreçte, satıcı pazarın talep ettiği değer in altında bir fiyat önererek ve belirli durumlarda bu fiyatı arttırarak bir pazar fiyatı bulmaya çalışır. Fiyatın her açıklanışından sonra, satıcı teklif edilen fiyatı ödemek isteyen herhangi bir alıcının olup olmadığını görmek istemektedir. Herhangi bir alıcı bu fiyatı

kabul ettiğini bildirdikten sonra, satıcı fiyatı tekrar arttırarak, bunu katılan tüm alıcılara bildirir. Arttırılan fiyatı ödemeyi kabul eden bir alıcı olmadığında ise pazarlık sona ermektedir. Pazarlık sonunda ödenmesi kabul edilen en son fiyat pazarın talep ettiği değerin altında ise ticari bir işlem gerçekleşemez. Eğer alıcı talep edilen fiyatın üstünde bir değer ödemeyi kabul etmiş ise ticari bir işlem gerçekleşmektedir.



Şekil 1. FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolü

Protokolün temel sürecini gösteren etkileşim diyagramı Şekil-1’de sunulmuştur. Kolay anlaşılabilirlik bakımından bu diyagramda katılımcı sayısı bir olarak gösterilmiştir.

Şekilde pazarlığı başlatan taraf tüm katılımcılarına öncelikle pazarlığın başladığını bildiren bir bilgi (inform) mesajı göndermektedir. FIPA İngiliz Açık Artırma Etkileşim Protokolü’nde alıcı ya da satıcı taraflarından birisinin sayısının bir tane olması zorunlu iken, diğer tarafın sayısının birden fazla olabildiği görülmektedir. Gönderilen bilgi mesajının arkasından bir Teklif İçin Çağrı - TİÇ (Call For Proposal - CFP) mesajı gönderilmektedir.

Katılımcı, bilgi ve TİÇ mesajlarını aldıktan sonra kendi iç durumunu gözden geçirerek, öneri beklemekte olan tarafa bir cevap hazırlamaktadır. Bu cevap, alınan mesajın anlaşılmadığını bildiren bir mesaj (not-understood) veya bir teklif (propose) mesajı olabilmektedir.

Teklif mesajının içeriğinde ise gelen TİÇ mesajının içeriği değerlendirilerek hazırlanmış yeni bir teklif bulunmaktadır. Pazarlığı başlatan taraf katılımcılardan gelen her mesajı değerlendirdikten sonra, teklif gönderen katılımcılara tekliflerini kabul ettiğini bildiren (accept-proposal) ya da reddettiğini bildiren (reject-proposal) mesajı gönderir. Pazarlığı başlatan taraf, gelen teklif mesajlarının sayısına göre pazarlığa devam edilip edilmeyeceğine karar verir.

Eğer pazarlığa devam edilecekse katılımcılara yeni bir TİÇ mesajı gönderilir. Pazarlık sona ermişse, tüm katılımcılara pazarlığın bittiğini bildiren bir bilgi (inform) mesajı gönderilir. Kazanan katılımcıya ise ayrıca bir istek (request) mesajı gönderilir.

### 3. Seagent Çoklu Etmen Çerçevesi

SEAGENT [15] anlamsal veb tabanlı çok etmenli sistemlerin geliştirilmesini sağlayan bir etmen yazılımı çerçevesi ve platformudur. SEAGENT’in iletişim ve plan çalıştırma altyapısı, DECAF ve RETSINA gibi mevcut diğer etmen geliştirme çerçeveleri ile benzerlikler göstermektedir. Ancak [16]’da belirtildiği gibi SEAGENT, anlamsal veb tabanlı çok etmenli sistemi geliştirmeyi desteklemek ve kolaylaştırmak için diğer etmen geliştirme çerçevelerinin sahip olmadığı ve aşağıda listelenen özelliklere sahiptir.

- SEAGENT, bir etmenin iç mimarisinde Ontoloji Veb Dili’ne dayalı bilgi depolarını kullanmasına imkân vermektedir.
- SEAGENT’a dayalı olarak geliştirilen etmen dizin servisleri OWL tabanlı ontolojiler kullanılarak hazırlanmış etmen yetenek ilanlarını depolayabilirler ve platform etmenlerinin aradıkları etmen yeteneklerinden anlamsal olarak en uygunlarının geliştirilmesini sağlayan anlamsal eşleme motorlarına sahiptirler.
- SEAGENT bünyesinde FIPA-RDF’e [17] dayalı SEAGENT İçerik Dili adı verilen bir içerik dili, etmen mesaj iletişimlerinde anlamsal içeriğin transfer edilmesi için tanımlanmıştır.

• SEAGENT, FIPA uyumlu diğer etmen çerçevelerinin sunduğu servislere ek olarak “Ontoloji Yönetim Servisi” adı verilen yeni bir etmen servisi tanıtmaktadır. Bu servisin en önemli özelliği bir etmen platformuna ait ontolojiler ile harici ontolojiler arasındaki eşlemeyi tanımlamasıdır. Böylelikle bu eşmelere dayalı olarak etmenler için bir ontoloji dönüşüm servisi sunulmaktadır.

• SEAGENT anlamsal veb servislerinin etmenler tarafından keşfini ve dinamik olarak çalıştırılmasını desteklemektedir. SEAGENT bünyesinde anlamsal servis keşfi için ayrı bir platform servisi tanımlanmıştır. Keşfedilen servislerin dinamik çağrılması için de SEAGENT plan kütüphanesi hazır ve yeniden kullanılabilir etmen davranışlarını içermektedir.

SEAGENT çok etmenli geliştirme çerçevesi iki ortamın birleşiminden oluşmaktadır: SEAGENT geliştiricilerine görsel geliştirim ortamı sağlayan SEAGENT Geliştirme Ortamı - SGO ve altyapı elemanlarını içeren SEAGENT Çalıştırma Ortamı - SÇO [18]

SEAGENT Çok Etmenli Platformu’nda kolay yazılım geliştirmek için SEAGENT Geliştirme Ortamı - SGO ortaya çıkarılmıştır. Bu ortam kullanılarak yazılımcı geliştirmekte olduğu yazılımın genel çatısını oluşturabilmekte ve bu sayede

yazılımcı yazılım etmeni geliştirmenin zorluğundan kurtarılmaya çalışılmaktadır.

SGO, çok etmenli sistemleri geliştirmek isteyen geliştiriciler tarafından kullanılan bir ortamdır ve genel olarak üç geliştirim aracından oluşur. Bu araçlar: Hiyerarşik Görev Ağı Düzenleyici, Rol Gezgini ve Hedef Düzenleyici'dir. Plan Düzenleyici; etmenlerin davranışlarını ve eylemlerini, yani kısacası planlarını görsel olarak gösterebilen ve aralarında ilişki kurulmasına olanak sağlayan bir yapı sunar. Rol gezgini, etmenlere ait olan davranışların yeniden kullanılabilirliğini sağlar. Hedef düzenleyici ise, organizasyonların ve rollerin hedeflerinin geliştirilmesine olanak sağlar.

#### 4. Protokolün Gerçekleştirimi

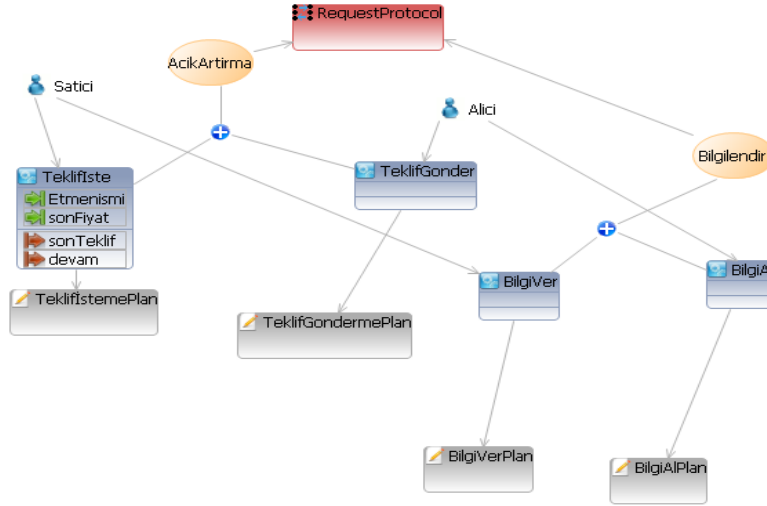
SEAGENT etmen çerçevesi, etmenlerin birbirleriyle iletişim halindeyken gönderdikleri bilgiler aynı zaman biriminde tek bir çıkışa izin vermektedir. Etmeden gelen mesaja karşı bir çıkış bilgisi hazırlanır ve gönderilir. Bundan dolayı karmaşık etkileşim protokollerinin doğrudan gerçekleştirilmesini desteklememektedir.

İngiliz açık artırma etkileşim protokolünde satıcı tarafından istenen teklif isteklerine alıcı etmenlerin verecekleri cevapların iş süreçlerini gerçekleştirebilmek için rol kavramından yararlanılmıştır. Oluşturulan hedef işler yani etmenlerin yapması

gereken işler bu etmenlere kullanılmak üzere bağlanmıştır. Aynı hedef işleri farklı etmen birimlerini kullanabilmektedir. Örneğin alıcı etmenlerin tekliflerini gönderecekleri planların bulunduğu teklif gönderme rolü alıcı etmenlere atanmıştır. Sadece her etmenin kendi bilgi tabanlarında tuttukları bilgiler farklıdır. Kendi bilgi tabanlarıyla bu hedef işleri birleştirilerek yapması gereken iş tamamlanır.

FIPA İngiliz Açık Artırma Etkileşim Protokolü SEAGENT üzerinde gerçekleştirilirken rol geliştirim alt yapısından yararlanılmıştır. Rol geliştirim sürecinde etmenlere yapacakları işle ilgili bir rol atanmış ve bu rolün gerçekleştireceği işler belirlenmiştir. Bu işler, etmenin yapması gereken hareketlerin tanımlandığı Sıragdüzensel Görev Ağı – SGA (Hierarchical Task Network - HTN) [19] alt yapısı kullanılarak belirlenmiştir. Rol yapısı oluşturularak etmenlerin karmaşık görevleri yapmaları sağlanmıştır. Protokolün içerdiği roller ve bu rollere bağlanan hedefler arasındaki ilişkileri gösteren organizasyon diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.

SGA ihtiyaç duyulan yeniden kullanılabilir etmen planlarını ve ilgili davranış kütüphanelerini içermektedir. Yeniden kullanılabilir etmen planları bir etmenin niyetlerine uygun olarak işletilen görevlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Etmen ortamdan elde ettiği algılara tepki olarak bu planların birini ya da birkaçını uygulamaya geçirir. Oluşturulan SGA planları başka etmenler tarafından da tekrar kullanılabilir.



Şekil 2. İngiliz Açık Artırma için Organizasyon Diyagramı

#### 4.1. İngiliz Açık Artırma Etmen Planları

SEAGENT platformunda etmen planları SGA paradigması kullanılarak geliştirilmektedir. SGA planları içerisinde etmenlerin yapacakları görevler geliştirici tarafından kodlanarak iş süreçleri gerçekleştirilir. Etmenlerin yapacakları işler davranış olarak ele alınır ve bu davranışlar daha küçük iş parçacıklarına ayrılır. Bu şekilde karmaşık işler daha basit görevlere ayrılarak gerçekleştirilir. Aynı zamanda modülerliği artırdığı gibi kodların da yeniden kullanılabilir hale gelmesi sağlanmış olur. Bu çalışmada görevler gerçekleştirilirken aynı yapı kullanılmıştır.

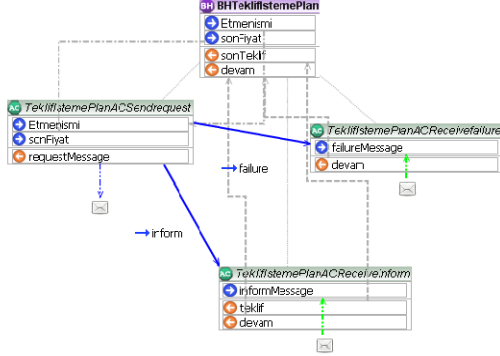
FIPA İngiliz Açık Artırma Protokolü'nün SEAGENT ile geliştirilmesi için bu protokolde yer alan alıcı ve satıcı etmenlere ait planlar SEAGENT çerçevesi kullanılarak geliştirilecek ÇES uygulamalarında yeniden kullanılabilir genel (generic) plan yapıları olarak oluşturulmuş ve bu planlar içerisindeki eylemler

Java dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, gerçekleştirilmiş olan bu genel planlar anlatılmaktadır.

Geliştirim sürecinde öncelikle bir satıcı etmen oluşturulmuştur. Satıcı etmenin görevi kendisine bağlanmıştır. Satıcı etmen kendi bilgi tabanını kullanarak ortamda bulunan alıcı etmelere bir ürünü satışa çıkarır. Bunu yaparken *TeklifIste* hedefini çalıştırır. *TeklifIste* hedefi, hedef etmen isimlerini, bu etmenlerden gelen teklifleri, bu gelen tekliflerden en büyüğünü ve açık artırmanın devam edip etmemesini tutan alanları barındırır. Bu planlamada satıcı etmenin bildirdiği fiyata gelen tekliflerden en büyük olan seçilmekte ve bu fiyat tekrardan alıcı etmenlere gönderilmektedir. Bu süreç satıldı bilgisi yayınlana kadar devam etmektedir. Satıldı bilgisi alıcı etmene satıcı etmen tarafından gönderilir.

Şekil 3'te satıcı etmenin plan bilgisi yer almaktadır. Önceki çalışmalar bölümünde SGA yapısını anlatırken verilen

davranışların yani karmaşık görevlerin buradaki karşılığı *BHTeklifİstemePlan* karmaşık görevidir. Bu karmaşık görev daha küçük parçalara ayrılarak çalışabilir kod parçalarının bulunduğu eylemlere dönüştürülmüştür. Bu eylemlerde *TeklifİstemePlanACSendrequest* sınıfı gibi direkt çalıştırılabilir kod parçalarının olduğu sınıflardır. Bu sınıflar sayesinde karmaşık görevler parçalanarak iş yükleri dağıtılmıştır.

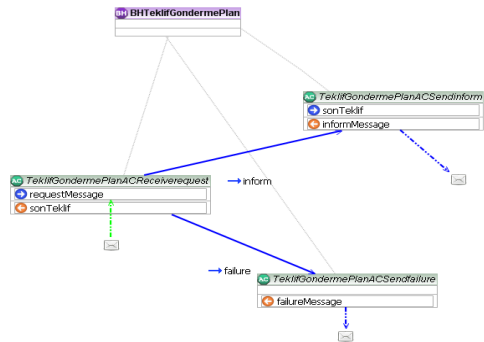


Şekil 3. Satıcı Etmen Teklif İsteme Planı.

*BHTeklifİstemePlanı* kendisine gelen teklifleri etmen isimleriyle birlikte değerlendirmekte ve bu değerlendirmeyi *TeklifİstemePlanACSendrequest* sınıfının *requestMessage* fonksiyonu bütün alıcı etmenlerden istekte bulunmaktadır. Bu istek sonucunda gelen bilgiler sınıf tarafından değerlendirilmektedir. *TeklifİstemePlanACReceiveinform* sınıfı kendisine gelen fiyat bilgisini satıcı etmenin veri tabanında bulunan fiyat bilgisine atamaktadır. Eğer herhangi bir alıcı etmen teklif göndermede başarısız olursa bu da *TeklifİstemePlanACReceivefailure* fonksiyonu ile bilgilendirilmektedir. Bu fonksiyonda bulunan devam bilgisi sayesinde açık artırmaya etmenin katılıp katılmayacağı belirlenmektedir.

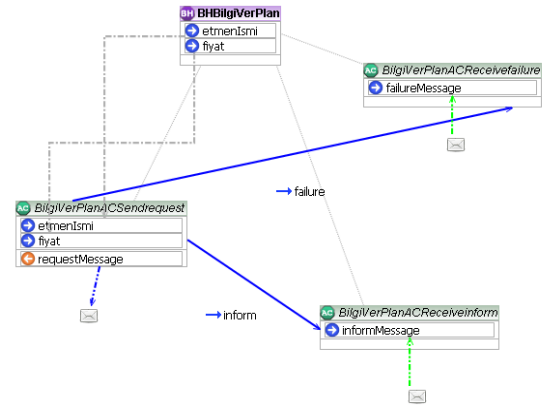
Alıcı etmenler oluşturularak açık artırma sürecinde kullanacakları fiyat bilgileri eklenmiştir. Alıcı etmenler açık artırma sürecinde tekliflerini satıcı etmene gönderecek etmenlerdir. Alıcı etmenler açık artırma sürecinde *addHeapItem* fonksiyonuyla belirlenmiş olan fiyat bilgilerini kullanır. Her teklifte ne kadar artış yapacağı ve en son verebileceği üst sınır burada belirlenmiştir. Verilen teklif üst sınırdan büyükse etmen açık artırma sürecinden çıkmaktadır.

Şekil 4'te alıcı etmenlerin kullandığı plan alt yapısı yer almaktadır. Bu planda alıcı etmenler kendilerinden istenen işleri yerine getirirken bu plan bilgilerini kullanmaktadırlar.



Şekil 4. Alıcı Etmenin Teklif Gönderme Planı.

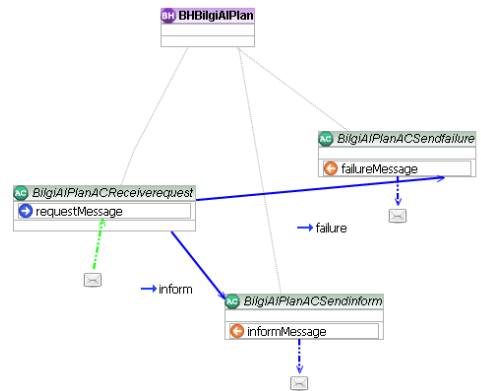
Alıcı etmen için geliştirilen *TeklifGönderme* isimli planda yer alan *TeklifGondermePlanACReceiverequest* sınıfı satıcı etmeden gelen fiyat bilgisini almaktadır. Bu fiyat bilgisi satıcı etmenin değerlendirmesi sonucunda alıcı etmenlere gönderilen bilgidir. Bu bilgi alıcı etmenlere geldikten sonra her etmen kendi bilgi tabanındaki sınırlamalara göre açık artırmaya katılıp katılmayacağını belirlemektedir. Satıcı etmene tekliflerini olumlu yada olumsuz olduğunu bildirmek için diğer sınıfları kullanmaktadır. Bu sınıflardan bir tanesi satıcı etmene alıcı etmenin teklifini ileten *TeklifGondermePlanACSendinform* sınıfıdır. Alıcı etmen bu sınıf içerisinde kendi veri tabanına bakarak teklifini gelen fiyat üzerine ekleyerek tekrardan satıcı etmene sunmaktadır. Eğer alıcı etmen teklif vermek istemez ise o zaman *TeklifGondermePlanACSendfailure* sınıfı ile satıcı etmene başarısız mesajı iletilmektedir.



Şekil 5. Satıcı Etmenin Bilgi Verme Planı

Şekil 5'te satıcı etmenin kullandığı plan yapısı yer almaktadır. Satıcı etmen bu plan yapısını kullanarak açık artırmaya katılan etmenlerden süreç sonunda açık artırmada tek başına kalan etmenin açık artırmayı kazandığına dair bilgilendirme işlemini yapar. Satıcı etmen tarafından alıcı etmene kazandınız ya da kazanmadınız mesajı gönderilir. Bu plan çalıştıktan sonra açık artırma işlemi sonuçlandırılır.

Şekil 6'da alıcı etmenlerin açık artırma süreci sonunda satıcı etmen tarafından alıcı etmene gönderilen bilgilendirme mesajının alınıp işlendiği plan yapısı görülmektedir.



Şekil 6. Alıcı Etmenin Bilgi Alma Planı

Bu plan içerisinde satıcı etmen tarafından gönderilen mesaj bilgisi *requestMessage* ile alınmaktadır ve alınan bu mesaja karşın herhangi bir olumsuzluk durumunda *failureMessage* ile cevap verilmektedir. *informMessage* ise alıcı etmenin satıcı etmene açık artırmayı kazandığını iletildiği mesajdır.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada SEAGENT üzerinde FIPA etkileşim protokolünden biri olan FIPA İngiliz Açık Artırma Etkileşim Protokolü gerçekleştirilmiştir. Bu protokolda etmenlerin çift taraflı olarak mesajlaşmasını sağlayabilmek adına onların görevleri belirlenmiş ve bu görevler için ayrı ayrı planlar oluşturularak bu planlar içerisinde etmenlerin yapacakları işlemler gerçekleştirilmiştir.

Etmenlerin kendi veritabanlarındaki bilgileri kullanarak sonuç üretme ve bu sonuçları kullanarak da bir işi yapma ya da yapmama gibi akıllı etmenlerin sahip olduğu bir yapı şu an için yapılamamıştır. İleride yapılacak çalışmalarda etmenlerin akılcı özelliklerinin ortaya çıkarıldığı yapay zekâ algoritmalarından yararlanılarak onların daha akılcı olmaları sağlanabilir.

Etmenlerin amaçlarına ulaşabilmeleri için ortamdaki dinamik olarak değişen verileri kullanarak planlar yapması, bu planları o anki duruma göre güncellemesi ve farklı durumlar karşısında farklı tepkiler verebilmesi gerekmektedir. Örneğin borsada hisse senedi işlemleri yapan bir kişi adına çalışan etmenin kişinin belirlediği koşullar doğrultusunda bir hisse senedi satış işlemini yapması akıllı etmen sınıflandırması içerisinde adlandırılmaz. Fakat bu etmenin satış üst sınırına geldiğinde hisse senedini satmak yerine ileride bu hisse senedinin ne kadar yükselebileceği ya da ne kadar düşebileceğine dair anlamsal vebdeki dinamik bilgileri toplaması ve bu bilgilerden çıkarımlar yapması ayrıca bu çıkarımlar doğrultusunda da hisse senedini satıp satmamakta kendi plan alt yapısını güncelleyip karar vermesi bizim ulaşmak istediğimiz akıllı etmenlere biraz daha yaklaşılmasına sebep olacaktır. Burada belirtildiği üzere anlamsal vebden de yararlanılarak etmenler ile ilgili çalışmalar ileride yapılabilir.

Yapılan uygulama tek bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı platformlarda bulunan yazılım etmenlerinin ağ üzerinde çalıştıkları bir yapı oluşturularak yazılım etmenlerinin cevap verme sürelerinin kısaltılması sağlanarak performans artırılabilir.

SEAGENT çevresi kullanılarak, FIPA'nın diğer etkileşim protokollerini gerçekleştirmek üzere çalışmalar devam etmektedir.

## Kaynakça

- [1] Antoniou G. ve Harmelen F. V., 2004. *A Semantic Web Primer*. The MIT Press., [ISBN 0-262-01210-3](https://doi.org/10.1007/978-0-262-01210-3).
- [2] Daconta M.C., Obrst L.J. ve Smith K.T., 2003. *The Semantic Web: a guide to the future of XML, Web services and knowledge management*, Willey Pub.

- [3] Jennings N.R. ve Wooldridge M., 1998. *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*. Springer Verlag. ISBN 3-540-63591-2.
- [4] Nwana H.S., 1996. Software Agents: An overview. *Knowledge Engineering Review*, 11(3):1-40.
- [5] Wooldridge M. ve Jennings N., 1995a. Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey, Intelligent Agents. Springer-Verlag, Berlin. 1-22.
- [6] Harrison C. ve Çağlayan A., 1997. *Agent Source Book A Complete Guide to Desktop, Internet and Intranet Agents*, Wiley.
- [7] Durfee E. H. ve Lesser V. R., 1989. Negotiating Task Decomposition and Allocation Using Partial Global Planning. *Distributed Artificial Intelligence*, 229-243.
- [8] Wooldridge M., Georgeff M., Pell B., Pollack M. ve Tambe M., 1999. *Intelligent Agents V: Agents Theories, Architectures, and Languages*. Springer Berlin Heidelberg.
- [9] Genesereth M. R. ve Ketchpel S. P., 1994. Software agents. *Communications of the ACM*, 37 (7): 48-53.
- [10] Charlton, P., & Greenwood, D. FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS.
- [11] Bellifemine F., Poggi A. ve Rimassa G., 2001. Developing Multi-Agent Systems with JADE, *Intelligent Agents. VII Agent Theories Architectures and Languages LNCS*, 42-47.
- [12] Sycara K., Paolucci M., Van Velsen, M. ve Giampapa J., 2003. The RETSINA MAS Infrastructure, *Autonomous Agents and Multiagent Systems*. 7(1-2): 29-48.
- [13] Graham J. R., Decker K. S. ve Mersic M., 2003. Flexible Multi Agent System Architecture. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1-2.
- [14] FIPA, (2003). FIPA English Auction Interaction Protocol Specification. from [www.fipa.org/specs/fipa00031](http://www.fipa.org/specs/fipa00031).
- [15] Dikenelli O., Erdur R.C., Gümüş O., Ekinçi E.E., Gürçan Ö., Kardaş G., Seylan İ. ve Tiryaki M., 2005. SEAGENT: A Platform for Developing Semantic Web Based Multi Agent Systems. *International Joint Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems AAMAS*, Utrecht the Netherlands. 1271-1272.
- [16] Dikenelli O., Erdur R. C., Kardas G., Gümüş O., Seylan I., Gurcan O., Tiryaki A. M. ve Ekinçi E. E., 2006. Developing Multi Agent Systems on Semantic Web Environment using SEAGENT Platform. Springer-Verlag, Vol. 3963.
- [17] FIPA, (2002). FIPA RDF Content Language Specification, from <http://www.fipa.org/specs/fipa00011/XC00011B.html>
- [18] Dikenelli O., 2009. SEAGENT Çok Etmenli Geliştirme Çerçevesi. 4. *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, İstanbul. 319-321.
- [19] Sycara K., Williamson M. ve Decker K., 1996. Unified Information and Control Flow in Hierarchical Task Networks. *AAAI-96 Workshop*.



# Entropy Generation Analysis of a Heat Exchanger Tube with Graphene-Iron Oxide Hybrid Nanofluid

Orhan Keklikcioglu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6227-3130), [keklikcioglu@erciyes.edu.tr](mailto:keklikcioglu@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898765)

**ATIF/REFERENCE:** Keklikcioglu, O. (2021). Entropy Generation Analysis of a Heat Exchanger Tube with Graphene-Iron Oxide Hybrid Nanofluid. *European Journal of Science and Technology*, (24), 398-404.

## Abstract

In this study, the entropy generation analysis of the Graphene-Iron Oxide-Water hybrid nanofluid with six different volumetric fractions in the range of 0.5-1% in a heat exchanger tube under turbulent flow conditions was numerically investigated. The constant surface heat flux was applied to the tube and the Reynolds number was obtained in the range of 10000-50000. The  $k - \epsilon$  RNG solver method was selected for the turbulence method and grid independence was checked. According to the results examining the dimensionless entropy production, entropy production showed a descending trend with the increment of hybrid nanofluid volume fraction. For the dimensionless entropy generation number, which increased with the increasing Reynolds number, configurations above unity were found at the volumetric fractions of 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8 %, in addition, all values for entropy generation number with the volume fractions of 0.9 and 1 % were realized below unity up to the Reynolds number of 40000. This result showed that the use Graphene-Iron oxide of hybrid nanofluid in heat exchangers provides great advantages in terms of thermodynamics.

**Keywords:** Nanofluids, Entropy generation, Heat transfer.

## Grafen-Demir Oksit Hibrit Nanoakışkanı Kullanılan Bir Isı Değiştirici Borusunun Entropi Üretim Analizi

### Öz

Bu çalışmada, türbülanslı akış koşullarında bir ısı değiştirici borusunda % 0.5-1 aralığında altı farklı hacimsel karışım oranına sahip Grafen-Demir Oksit-Su hibrit nanoakışkanın entropi üretim analizi sayısal olarak incelenmiştir. Boru üzerine sabit ısı akısı sınır şartı uygulanmış ve Reynolds sayısı çalışma aralığı 10000-50000 olarak belirlenmiştir. Sayısal analizde  $k - \epsilon$  RNG çözüm metodu seçilmiş ve ağ bağımsızlığı çalışması gerçekleştirilmiştir. Boyutsuz entropi üretimini incelediği sonuçlara göre, entropi üretimi, hibrit nanoakışkan hacimsel karışım oranının artmasıyla düşen bir eğilim göstermiştir. Artan Reynolds sayısı ile artış gösteren boyutsuz entropi üretim sayısı 0,5, 0,6, 0,7 ve 0,8 % hacimsel karışım oranında birim değer üzerinde daha fazla konfigürasyonda gerçekleşirken, 0,9 ve 1 % hacimsel karışım oranlarında entropi üretim sayısı için tüm değerler 40000 Reynolds sayısına kadar birim değerinin altında gerçekleşmiştir. Bu sonuç, hibrit nanoakışkanın Grafen-Demir oksitinin ısı değiştiricilerde kullanılmasının termodinamik açıdan büyük avantajlar sağladığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkanlar, Entropi üretimi, Isı transferi.

\* Corresponding Author: [keklikcioglu@erciyes.edu.tr](mailto:keklikcioglu@erciyes.edu.tr)

## 1. Introduction

Heat control in complex engineering systems not only increases the efficient availability of energy, but also extends the life of the whole of these systems or a part in the system, as well as providing operational stabilization. Increasing the performance of heat exchangers, one of the most frequently used engineering systems to provide heat control in thermal systems. For this reason, researchers carry out various studies in order to increase the heat transfer capabilities of heat exchangers. These studies are mostly focused on the techniques known as passive method, which are easy to install, do not require any external energy input, and are used in designing higher efficiency heat exchangers. In addition to passive methods, the use of nanofluids in heat exchangers has been rapidly increasing in recent years. It draws attention to use fluids containing nanoparticles instead of fluids such as water, mono ethylene glycol, propylene glycol, oil, which are the base heat transfer fluids.

The primary goal of the application of nanoparticles in base fluid types is to increase the average heat transfer coefficient by adding nanoparticles with high thermal conductivity coefficient into the fluid. In connection with this goal, removing of the extra thermal load in the systems, increasing the cooling performance and providing heat recovery are secondary goals. In addition to increasing the thermal conductivity of the fluid to which they are added, nanoparticles support turbulence by dispersing in the fluid and contribute positively to heat transfer by increasing the flow surface area (Ozerinc, 2010). Following the favorable results of many studies on the mono use of nanoparticles in base fluids, studies on the use of hybrid nanofluids have also gained importance in recent years. It is aimed to provide a nanofluid model considering the superior thermal and hydraulic properties, and balance the cost caused by nanoparticles that do not have common production but have relatively superior properties. In this study, the Graphene nanoparticle with more extraordinary thermophysical properties and the Iron Oxide nanoparticle with relatively poor thermophysical properties and cost were selected, and a more stable nanofluid model was created in terms of both thermohydraulic performance and cost.

The hybrid nanofluids are the newest type of heat transfer fluids that used to control the heat in thermal systems. Since the hybrid nanofluids very up-to-date, it is very limited in studies on the entropy generation of using the hybrid nanofluids. Ahammed et al. (2016) carried out a study on entropy generation in a minichannel with using Alumina-Graphene hybrid nanofluids in a laminar flow region. It was concluded that the total entropy generation decreased with the increment of Reynolds number and using hybrid nanofluid approximately 20 %. Hussain et al. (2017) conducted a numerical study on entropy generation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Cu/water in a horizontal channel. It was reported that the increase in loading ratio of nanoparticle in the base fluid caused an increment of total entropy generation. Rahimi et al. (2018) used the SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>/Water-Ethylene glycol (60:40) nanofluid in a square channel. The results showed that the total entropy generation showed a descending trend with the increment of nanofluid volume fraction. A similar study also carried out by Kasaeipoor et al. (2007) on entropy generation of a cavity with refrigerant solid body using MWCNT-MgO/water hybrid nanofluid. The numerical results showed that the volume fraction was one of the effective parameter on total entropy generation. Total entropy generation showed a descending trend with

increasing of hybrid nanofluid volume fraction. In another study, Mehrali et al. (2017) experimentally investigated the entropy generation of Graphene-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water hybrid nanofluid in a tube. It was achieved that the total entropy generation reduced up to 40% with using hybrid nanofluid. In another study, Askari et al. (2017) used Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Graphene nanoparticles as a hybrid nanofluid with 0.1, 0.2, and 1.0% weight ratios and an enhancement in the thermal conductivity in the range of 14-32% was obtained compared to the water. Shahsavari et al. (2017) numerically investigated the effect of CNTs-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hybrid nanofluid on entropy generation in a counter flow double pipe heat exchanger. It was found that the entropy generation increased with the increment of particle loading. In other study of Shahsavari et al. (2018), the effect of Mn-Zn hybrid nanofluids on entropy generation also investigated with using parallel plates. Bahiraei and Heshmatian (2018) used the Graphene-Silver hybrid nanofluids to investigate the cooling performance of electronic processors. It was concluded that the cooling performance was enhanced due to the unique thermophysical properties of Graphene-Silver hybrid nanofluids. Bahiraei and Mazaheri (2018) numerically studied the characteristics of entropy generation of Graphene-Platinum hybrid nanofluids inside a chaotic twisted microchannel. The results indicated that using hybrid nanofluid enhanced the frictional entropy generation, conversely, reduced the thermal entropy generation.

From the literature cited above, several hybrid nanofluid types have been applied in thermal systems to investigate the entropy generation rate. On the other hand, no study has been presented on entropy generation analysis for a heat exchanger tube with Graphene-Iron Oxide with various volume fractions in turbulence flow region in the range of Reynolds number from 10000-50000. Graphene nanoparticle is the first particle used in this study because of its high thermal conductivity (approximately 3000W / mK (Potenza, 2017)) compared to other metal oxide and metal nanoparticles and its higher stabilization ability compared to other nanoparticles (Manikandan, 2019). The Iron Oxide nanoparticle, which is used as a hybrid with the Graphene nanoparticle, is the second preferred metal-oxide nanoparticle, since it is compatible with the Graphene nanoparticle (Yongsheng, 2012).

## 2. Material and Method

### 2.1. Numerical method

In this study, a solution was obtained by applying finite volume method in ANSYS Fluent 18 for numerical analysis. The single-phase flow condition has been defined and the k - ε RNG (Re-Normalization Group) model was chosen as the turbulence model, the SIMPLE algorithm was used to evaluate the relationship between pressure and velocity, and the QUICK scheme was used to evaluate convection. The convergence criterion for continuity, velocity, energy, k and ε values is evaluated as 1x10<sup>-5</sup>. The k - ε RNG model, which can provide precise solutions between turbulence models, basically uses three governing equations and these are given in Eqs. 1, 2 and 3, respectively (Fluent, 2016).

Conservation of mass:

$$\nabla(\rho\vec{V}) = 0 \quad (1)$$

Conservation of momentum:

$$\nabla(\rho\vec{V}\vec{V}) = -\nabla P + \nabla(\mu\nabla\vec{V}) \quad (2)$$

Conservation of energy:

$$\nabla(\rho c_p \vec{V}T) = \nabla(k\nabla T) \quad (3)$$

The transport equations  $k$  and  $\epsilon$  for RNG solution method is given in Eqs. 4 and 5 for, respectively.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (5)$$

The boundary values for the turbulent quantities near the wall are specified with the enhanced wall treatment method.  $C_\mu = 0.0845$ ;  $C_{1\epsilon} = 1.42$ ;  $C_{2\epsilon} = 1.68$ ;  $\beta = 0.012$ ;  $\eta_0 = 4.38$  constants in the turbulence transport ss (Fluent, 2016).

## 2.2. Numerical model and boundary conditions

In this study, analyzes were made using the Computational Fluid Dynamics method for the 3-dimensional pipe given in Figure 1. The geometric model consists of a circular pipe consisting of three main parts, the hydrodynamic development section in order to develop the flow in the pipe hydrodynamically, the test section on which constant heat flux is applied, and the exit section to prevent the effects of back flows that will occur at the fluid outlet.

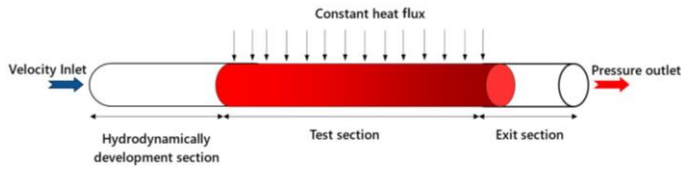


Figure 1. Numerical model

The numerical model given in Figure 1 is designed such that the pipe diameter ( $D$ ) is 10 mm, the development zone, test zone and exit zone lengths are 100mm (10D), 1000mm and 50mm (5D), respectively. A constant heat flux of 20 kW / m<sup>2</sup> was applied on the test zone and the Reynolds number range was selected as 10000-50000 in order to ensure turbulent flow conditions and to be suitable for the fluid velocity values used in the applications. Graphene-Iron Oxide-Water hybrid nanofluid volume fractions were selected as 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1, with 50% Graphene and 50% Iron Oxide.

## 2.3. Grid independence

In order to evaluate the accuracy of the results of the studies involving numerical analysis, the grid independence for the numerical model should be examined. In this study, the grid structure and cell size were examined for the flow region given in Figure 2. It was obtained that the Nusselt number was affected less than 2% in the grid structure where the cell size was less than 0.57. Therefore, the grid model, shown in Figure 2, with a cell size of 0.57 mm and a cell number of 1.18 million, was created for all analyzes.

In order to provide a faster and more precise solution for the grid structure, a polyhedra grid model was applied. The  $y^+$  value, which is a parameter that should be controlled in grid model, was realized as  $y^+ \approx 2$  by providing the  $y^+ < 5$  (Salim, 2009) condition as it should be in the boundary layer region.

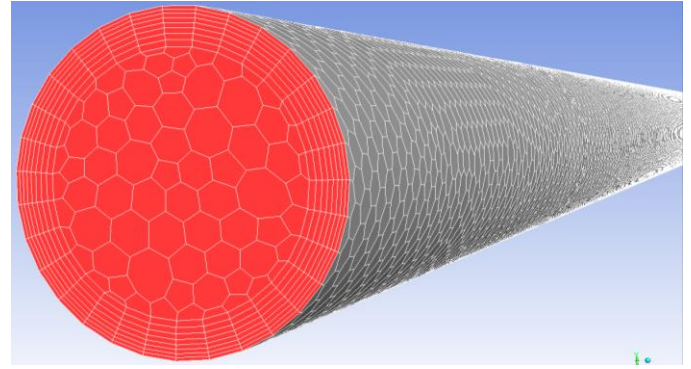


Figure 2. Grid structure

## 2.4. Thermophysical properties of nanofluids

The density, specific heat, thermal conductivity and dynamic viscosity equations given by Anjali and Suriya (2016) are used for the calculation of thermophysical properties of hybrid nanofluids and that are given in the Eqs. 6, 7, 8 and 9 respectively.

$$\rho_{hnf} = [(1 - \phi_2)\{(1 - \phi_1)\rho_f + \phi_1\rho_{s1}\} + \phi_2\rho_{s2}] \quad (6)$$

$$(\rho C_p)_{hnf} = [(1 - \phi_2)\{(1 - \phi_1)(\rho C_p)_f + \phi_1(\rho C_p)_{s1}\} + \phi_2(\rho C_p)_{s2}] \quad (7)$$

$$\frac{K_{hnf}}{K_{bf}} = \frac{K_{s2} + (n-1)K_{bf} - (n-1)\phi_2(K_{bf} - K_{s2})}{K_{s2} + (n-1)K_{bf} + \phi_2(K_{bf} - K_{s2})} \quad (8)$$

$$\mu_{hnf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi_1)^{2.5}(1 - \phi_2)^{2.5}} \quad (9)$$

The thermophysical properties of the nanoparticles and the base fluid used in the calculation of the thermophysical properties of hybrid nanofluids are given in Table 1.

## 2.4. Calculation method

After calculating the thermophysical properties of hybrid nanofluids, these properties were defined in ANSYS Fluent 18 program and analyzes were carried out. According to the data obtained as a result of the analysis, Reynolds number, Nusselt number, friction factor and dimensionless entropy generation number and the Bejan number were calculated according to the following equations.

The Reynolds number was calculated as given in Equation 10.

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} \quad (10)$$

In the Eq. 10  $\rho$  and  $\mu$  respectively represent the hybrid nanofluid density and dynamic viscosity,  $D$  diameter and  $V$  the mean fluid velocity.

The heat transfer coefficient is calculated as given in Eq. 11,  $q'$  represents the heat flux applied over the flow region, while  $\Delta T$  represents the difference between the surface temperature and the fluid mean temperature.

$$h = \frac{q'}{\Delta T} \quad (11)$$



After calculating the heat transfer coefficient, the Nusselt number was calculated as given in Eq. 12,  $k$  symbolizes the thermal conductivity of the hybrid nanofluid.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (12)$$

The friction coefficient was calculated according to Eq. 13.

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho V^2 \frac{L}{D}} \quad (13)$$

$\Delta P$ , given in Eq. 13, represents the fluid differential pressure at the entrance and exit of the test section, and  $L$  represents the length of the test zone.

Entropy generation in a tube using heat transfer improvement technique can be calculated in Eq. 14.

$$\dot{S}'_{gen} = \frac{q'^2}{\pi T^2 k Nu} + \frac{32m^3 f}{\pi^2 \rho^2 T D^5} \quad (14)$$

In the Eq. 14,  $T$  and  $\rho$  bulk properties. The Eq. 14 derived for a straight tube and can be applied tube with nanofluids. The first term of the equation is the contribution made by heat transfer, while the second term is the contribution due to fluid friction:

$$S'_{gen} = S'_{gen, \Delta T} + S'_{gen, \Delta P} \quad (15)$$

The entropy generation number ( $N_s$ ) is defined as the proportion of entropy generation rate by tube with nanofluid to the entropy generation rate in smooth tube with base fluid.

$$N_s = S'_{gen, n} / S'_{gen, s} \quad (16)$$

Heat transfer augmentation techniques with  $N_s < 1$  are thermodynamically advantageous, because these techniques both enhance the heat transfer rate and reduce the degree of irreversibility of the unit's performance (Ventsislav, 1994).

Another dimensionless number in which entropy generation is considered in terms of evaluating the performance of the thermal system is known as the Bejan number (Haddad, 2004) as given in Eq. 17 and is defined as the ratio of irreversibilities caused by heat transfer to total irreversibility.

$$Be = \frac{\dot{S}'_{gen, \Delta T}}{\dot{S}'_{gen, \Delta T} + \dot{S}'_{gen, \Delta P}} \quad (17)$$

The Bejan number can take values ranging from 0-1. It is stated that the irreversibilities due to heat transfer are greater than the irreversibilities due to total fluid friction when the Bejan number approaches 1.

Table 1. Thermophysical properties of nanoparticle

Properties	Graphene(Keklikcioglu,2020)	Iron Oxide(Krishna,2017)	Water
Specific heat (J/kgK)	790	104	4182
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2250	5180	998.2
Dynamic viscosity (kg/ms)	-	-	1.003E-03
Thermal conductivity (W/mK)	3000	17.65	0.6

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Validation of numerical study

In numerical studies, the results obtained according to the variable parameters should be compared with the well known correlations and the validation process of the study should be done. In this study, analysis results using only base fluid water were compared with the Gnielinski and Blasius (Keklikcioglu, 2020) equations given in Eqs. 18 and 19 for Nusselt number and friction factor, respectively.

$$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (18)$$

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (19)$$

As seen in Figs. 3 and 4, both the Nusselt number and the friction factor were compared with the well known correlations in the literature. It was obtained that the numerical study results at different Reynolds numbers and the values obtained from the well known correlations coincide with each other, and they provide approximately the same trend. The highest deviation between the numerical results and the values obtained

from the correlations were 9.2% and 5.6% for the Nusselt number and the friction factor, respectively.

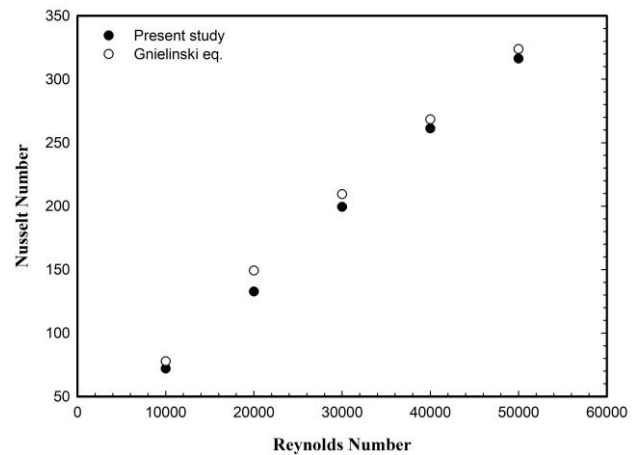


Figure 3. Validation of Nusselt number

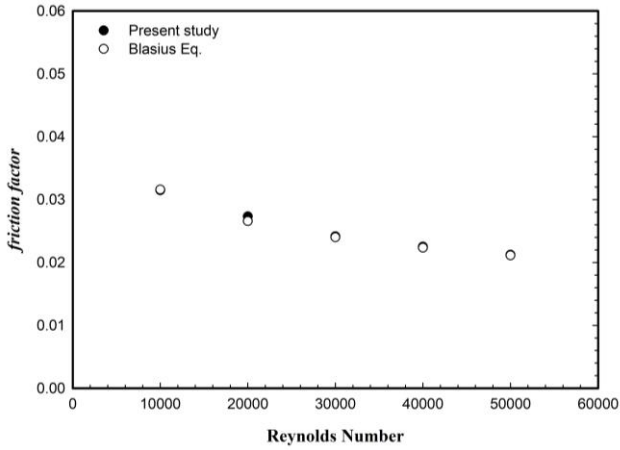


Figure 4. Validation of friction factor

### 3.2. Entropy generation analysis

Heat transfer and pressure drop analyzes can be analyzed in heat exchangers using different fluids, but in order to examine the actual effect of the fluid used on the thermodynamic performance of thermal system, the entropy generation value of the system should be compared with the value before and after the application of enhancement technique. In this study the results for a tube heat exchanger tube with nanofluids evaluated in terms of entropy generation theorem.

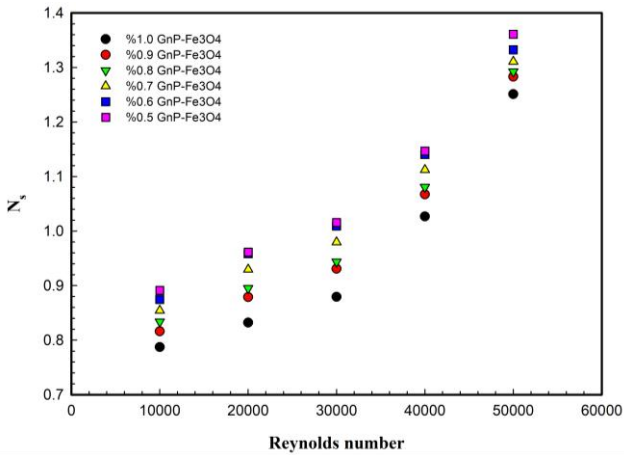


Figure 5. Variation of dimensionless entropy generation number versus Reynolds number

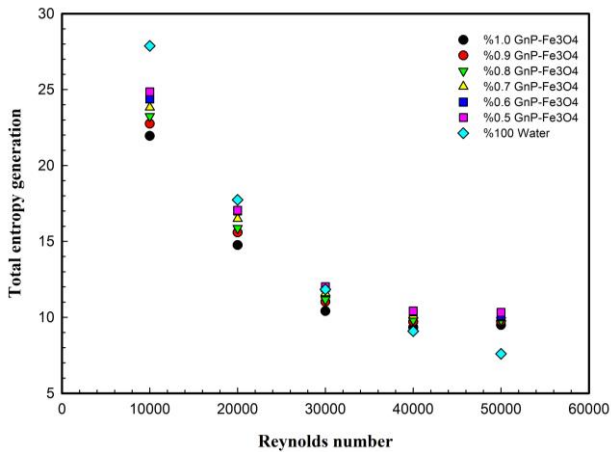


Figure 6. Variation of total entropy generation versus Reynolds number

Fig. 5 represents the entropy generation number for the various Reynolds number for different volume fractions of Graphene-Iron Oxide hybrid nanofluids. As in Fig. 5 entropy generation number increase with increasing Reynolds number and volume fraction of hybrid nanofluid. Particle loading at higher rates increases the system performance and reduces the dimensionless entropy generation number. Due to the frictional irreversibility show ascending trend at higher velocity values, the dimensionless entropy generation increases with the increment of Reynolds number. As shown in Fig. 5, the dimensionless entropy generation number with the volume fractions of 0.9 and 1 % were realized below unity up to the Reynolds number of 40000. All of the configurations were thermodynamically advantages up to the Reynolds number of 30000 since the entropy generation number remained under unity. The lowest entropy generation number was achieved as 0.78 with using 1% Graphene-Iron Oxide water nanofluid at lowest Reynolds number of 10000.

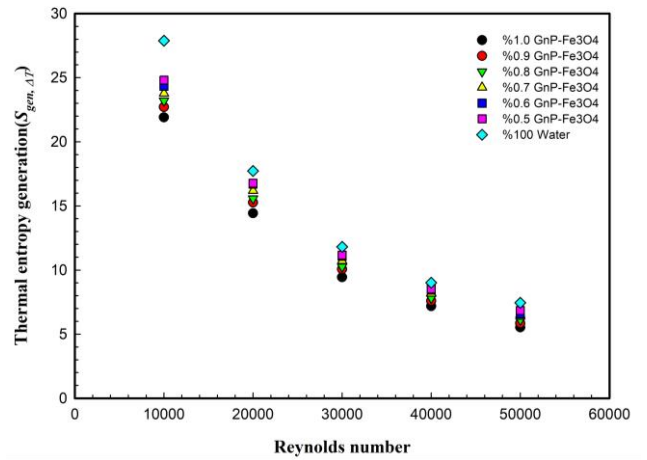


Figure 7. Variation of thermal entropy generation versus Reynolds number

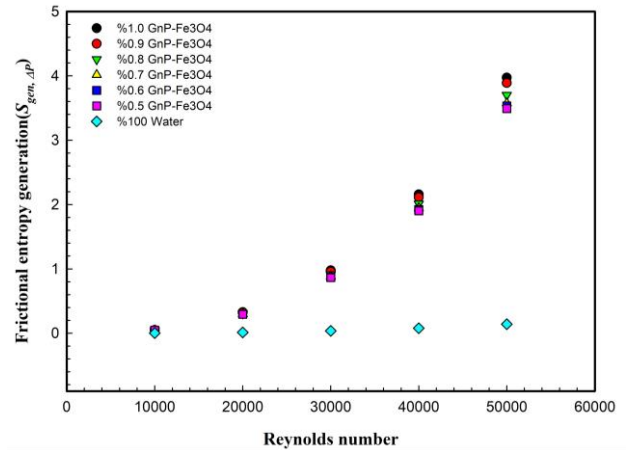


Figure 8. Variation of frictional entropy generation versus Reynolds number

Fig. 6 shows the total entropy generation versus Reynolds number for the case of using hybrid nanofluids and base fluid water. As shown in Fig. 6, using Graphene-Iron Oxide hybrid nanofluids in the heat exchanger tube dramatically reduces the total entropy generation up to the 40000 Reynolds number. The total entropy generation rate increases with the decreasing of volume fraction. As can be understand in Fig. 6, irreversibility arising from heat transfer are overcome by using a higher hybrid nanofluid volume fraction. As in Fig. 7 the thermal entropy generation number decreases with the increasing hybrid nanofluid

volume fraction. This demonstrates that the heat transfer process is enhanced with using hybrid nanofluids. The use of hybrid nanofluids achieve the higher heat transfer rate in the thermal system and reduce the entropy generation over the smooth tube with base fluid. Fig. 8 proves the hybrid nanofluids increase the entropy generation rate due to the fluid friction contrarily to thermal entropy generation.

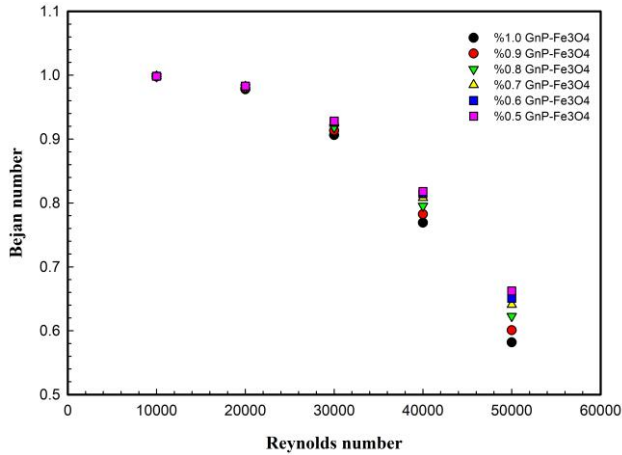


Figure 9. Variation of dimensionless Bejan number versus Reynolds number

The Bejan number another dimensionless number to consider entropy generation in thermal systems. As given in Fig. 9 the Bejan number increased with the decreasing hybrid nanofluid volume fraction. At high Reynolds numbers the frictional irreversibility overcame the irreversibility caused the heat transfer. Particle loading also decreased the total irreversibility as given in Fig. 9.

#### 4. Conclusions and Recommendations

As a result of the study, the important findings listed below were obtained.

- The use of Graphene-Iron Oxide-Water nanofluid in heating and cooling systems is a heat transfer enhancement technique with a thermodynamic advantage. In addition, Graphene-Iron Oxide-Water hybrid nanofluid was not used in a heat exchanger tube under the physical conditions and boundary conditions used in this study, and the importance of this technique was revealed with this study.
- In this study, it has been shown that by using the Graphene nanoparticle with high thermal conductivity coefficient and high cost and the Iron Oxide nanoparticle with relatively low thermal conductivity and cost as a hybrid nanofluids, a balance can be achieved in terms of both thermophysical properties and cost, and lower entropy generation rates can be achieved.
- The dimensionless entropy generation number was below the unity for all configurations up to the Reynolds number of 30000. This demonstrated that the used method thermodynamically advantages especially high particle loading rates.
- The total entropy generation and the Bejan number also effected with using hybrid nanofluid. The increasing volume fraction cause a reduction both total entropy generation and Bejan number. This result indicated that

irreversibility were reduced in heat exchanger tube with using hybrid nanofluid.

- Choosing hybrid nanofluids as heat transfer fluid is important in terms of providing thermodynamic advantage in applications. As can be seen from the results of this study, Graphene-Iron Oxide-Water nanofluid obtains as an effective heat transfer fluid due to its unique thermophysical properties, it has the potential to be evaluated as an economical model compared to mono use.

#### 5. Acknowledge

Orhan Keklikcioglu would like to thank Prof. Dr. Veysel Ozceyhan and Erciyes University for contribution to this study.

#### References

1. Ozerinç, S., Kakaç, S., Yazıcıoğlu, A.G. (2010). Enhanced Thermal Conductivity of Nano-Fluids: A State-of-the-Art Review. *Microfluid Nanofluid*, 8(2), 145-170.
2. Ahammed, N., Asirvatham, L.G., Wongwises, S. (2016). Entropy generation analysis of graphene-alumina hybrid nanofluid in multiport minichannel heat exchanger coupled with thermoelectric cooler. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 103, 1084-1097.
3. Hussain, S., Ahmed, S.E., Akbar, T. (2017). Entropy generation analysis in MHD mixed convection of hybrid nanofluid in an open cavity with a horizontal channel containing an adiabatic obstacle, *Int. J. Heat Mass Transf.*, 114, 1054-1066.
4. Rahimi, A., Sepehr, M., Lariche, M.J., Mesbah, M., Kasaeipoor, A., Malekshah, E.H. (2018). Analysis of natural convection in nanofluid-filled H-shaped cavity by entropy generation and heatline visualization using lattice Boltzmann method, *Physica E: LowDimensional Systems and Nanostructures*. 97, 347-362.
5. Kasaeipoor, A., Malekshah, E.H., Kolsi, L. (2017). Free convection heat transfer and entropy generation analysis of MWCNT-MgO (15% -85%)/water nanofluid using lattice Boltzmann method in cavity with refrigerant solid body-experimental thermophysical properties, *Powder Technol.*, 322,9-23.
6. Mehrali, M., Sadeghinezhad, E., Akhiani, A.R., Latibari, S.T., Metselaar, H.S.C., Kherbeet, A.S., Mehrali, M. (2017). Heat transfer and entropy generation analysis of hybrid graphene/Fe3O4 ferro-nanofluid flow under the influence of a magnetic field, *Powder Technol.*, 308, 149-157.
7. Askari, S., Koolivand, H., Pourkhalil, M., Lotfi, R., Rashidi, A. (2017). Investigation of Fe3O4/Graphene nanohybrid heat transfer properties: Experimental approach. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 87, 30-39.
8. Shahsavari, A., Rahimi, Z., Bahiraei, M. (2017). Optimization of irreversibility and thermal characteristics of a mini heat exchanger operated with a new hybrid nanofluid containing carbon nanotubes decorated with magnetic nanoparticles, *Energy Convers. Manag.*, 150, 37-47.

9. Shahsavari, A., Ansarian, R., Bahiraei, M. (2018). Effect of line dipole magnetic field on entropy generation of Mn-Zn ferrite ferrofluid flowing through a minichannel using twophase mixture model, *Powder Technol.*, 340, 370–379.
10. Bahiraei, M., Heshmatian, S. (2018). Thermal performance and second law characteristics of two new microchannel heat sinks operated with hybrid nanofluid containing graphene–silver nanoparticles, *Energy Convers. Manag.*, 168, 357–370.
11. Bahiraei, M., Mazaheri, N. (2018). Second law analysis for flow of a nanofluid containing graphene–platinum nanoparticles in a minichannel enhanced with chaotic twisted perturbations, *Chem. Eng. Res. Des.*, 136, 230–241.
12. Potenza, M., Cataldo, A., Bovesecchi, G., Corasaniti, S., Coppa, P., Bellucci, S. (2017). Graphene nanoplatelets: Thermal diffusivity and thermal conductivity by the flash method. *AIP Advances*, 7, 1-15.
13. Manikandan, S. P., Baskar, R. (2018). Assessment of the Influence of Graphene Nanoparticles on Thermal Conductivity of Graphene/Water Nanofluids Using Factorial Design of Experiments. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 62(3), 317-322.
14. Yongsheng, F., Haiqun, C., Xiaoqiang, S., Xin, W., (2012). Combination of cobalt ferrite and graphene: High-performance and recyclable visible-light photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 111, 280–287.
15. Fluent (2016). ANSYS Fluent V.17.0 User Guide, Fluent Corporation, Lebanon, New Hampshire.
16. Keklikcioglu, O., (2020). İçerisinde Grafen katkılı nanoakışkan ve konik iç eleman kullanılan boruda termohidrolik performans ve entropi üretiminin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 191s, Kayseri.
17. Krishna V., K.P.V., Kishore, P.S., Durga Prasad, P.V., (2017). Enhancement of Heat Transfer Using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / Water Nanofluid with Varying Cut-Radius Twisted Tape Inserts. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12, 7088-7095.
18. Salim, S.M., Cheah, S.C. (2009). Wall y<sup>+</sup> Strategy for Dealing with Wall-bounded Turbulent Flows. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 18-20 Mart, Hong Kong, 2165-2170.
19. Anjali Devi, S.P., Suriya U.D.S. (2016). Numerical investigation of hydromagnetic hybrid Cu–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid flow over a permeable stretching sheet with suction. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 17, 249–257.
20. Bejan, A., (2001). Thermodynamic optimization of geometry in engineering flow systems, *Exergy, An International Journal*, 1(4), 269 – 277.
21. Ventsislav D. Zimparov, Nikolai L. Vulchanov, (1994). Performance evaluation criteria for enhanced heat transfer surfaces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37, 1807-1816.
22. Haddad, O., Abuzaid, M., ve Al-Nimr, M. (2004). Entropy generation due to laminar incompressible forced convection flow through parallel-plates microchannel, *Entropy*, 6, 413–426.



# BTY Göstergeleriyle Dış Kaynaklı Yazılım Lokasyonlarını Değerlendirmek için Bir Karar Destek Aracı: Pakistan Örneği

Muhammet Ali Kadioğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3402-7362), [kadioglu19@itu.edu.tr](mailto:kadioglu19@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903665)

**ATIF/REFERENCE:** Kadioğlu, M.A. (2021). Dış Kaynaklı Yazılım Geliştirme Süreçleri İçin Lokasyon Değerlendirmesi: Bir Örnek Lokasyon İncelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 405-415.

## Öz

Teknoloji şirketlerinde yöneticiler, gelişen ve büyüyen dünyada her gün şirketleri adına önemli stratejik kararlar verirler. Yazılım geliştirme süreçleri ile çeşitli uygulamalar geliştiren teknoloji şirketleri için birçok alternatif kaynak ve konum bulunmaktadır. Giderlerin büyük çoğunluğunu insan kaynağına yapılan yatırımların meydana getirdiği bu şirketler, dış kaynak kullanımı ile maliyetleri azaltma, nitelikli insan kaynağına ulaşma, pazarda iş ve müşteri odaklı konumlanma, pazara yakın olma vb. nedenler ile yazılım geliştirme süreçlerinde alternatif dış kaynakları kullanmaya yönelebilmektedirler. Bu çalışmada, yöneticilerin BTY (Bilim, Teknoloji ve Yenilik) göstergeleri ile yazılım geliştirme süreçlerinde dış kaynak kullanımı için belirledikleri potansiyel lokasyonları değerlendirebilecekleri bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca, örnek bir lokasyon olarak gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Pakistan incelenmiştir. Değerlendirme için seçilen Pakistan ile hızlı bir gelişim içerisinde olan ve en önemli dış lokasyonlar arasında bulunan BRICS (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika) ülkeleri karşılaştırılmıştır. Çalışma da belirlenen anahtar göstergeler, değerlendirilmesi planlanan alternatif lokasyonlar için özelleştirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Karar Destek Aracı, BTY Göstergeleri, Dış Kaynaklı Yazılım, BRICS, Pakistan.

## A Decision Support Tool to Evaluate Software Outsourcing Locations with STI Indicators: A Case Study, Pakistan

### Abstract

Managers in technology companies make substantial strategic decisions on behalf of their companies every day in the developing and growing world. There are many alternative resources and locations for technology companies that develop various applications with software development processes. These companies, where most of the expenses are made by investments in human resources, are to reduce costs through outsourcing, to reach qualified human resources, to be business and customer-oriented in the market, to be close to the market, etc. For reasons, they may tend to use alternative external resources in software development processes. In this study, a decision support system has been designed where managers can evaluate the STI (Science, Technology, and Innovation) indicators and potential locations they have identified for outsourcing in software development processes. In addition, Pakistan, which is among the developing countries, was examined as an exemplary location. Pakistan was selected for evaluation with BRICS (Brazil, Russia, India, China, South Africa) countries, which are in rapid development and are among the most significant external locations, were compared. Key indicators determined in the study can be customized for alternative locations that are planned to be evaluated.

**Keywords:** Decision Support Tool, STI Indicators, Software Outsourcing, BRICS, Pakistan.

\* Sorumlu Yazar: [kadioglu19@itu.edu.tr](mailto:kadioglu19@itu.edu.tr)

## 1. Giriş

Dış kaynak kullanarak yazılım geliştirme süreçleri, yurt içinde ve dışında olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir. Yurt içi dış kaynak kullanımı, şirketler arasında yürütülen faaliyetlerin ülke sınırları içerisindeki dış kaynaklardan elde edilmesini ifade etmektedir. Bu şirketler coğrafi ve kültürel açının sağladığı avantajları kullanırlar; böylece birbirleriyle daha kolay temas kurarlar, yurtdışına göre daha hızlı adapte olurlar ve genellikle dil ve kültür problemi yaşamadan geliştirme süreçlerine başlayabilirler. Ancak yakın lokasyonların dış kaynaklı yazılım süreçlerinde kullanılması şirketlerin birtakım avantajlardan da yararlanamamalarına neden olabilir. Günümüzde giderek artan ilgi ve talep ile yurtdışı kaynak kullanımı diğer grubu temsil etmektedir. Yurtdışı kaynak kullanımı, bir firmanın başka bir ülkede yazılım geliştirme süreçlerinin bir kısmını veya tamamını gerçekleştirmek için harici bir organizasyon işe alması ve yazılım ihtiyaçlarını yurt dışındaki bir kaynaktan sağlamasıdır. Bu dış kaynak kullanımı, küreselleşen dünyada pazar avantajından yararlanmak isteyen firmaların yükselişinde büyük pay sahibi olmaktadır. Yurtdışından sağlanan dış kaynak kullanımı ile Bilgi Teknolojileri endüstrisindeki rekabet artmıştır. Bu artış; düşük maliyet, yüksek nitelikli personel kullanımı, gelişmiş hizmet kalitesi, müşteriye hızlı teslimat ve yeni pazarlara erişim gibi faydalardan yararlanmak için yazılım geliştiren firmaları dış kaynak kullanımına teşvik etmiştir (Ishenko, 2005). Bu çalışma, teknoloji şirketlerindeki karar vericilere destek olması amacıyla dış kaynaklı yazılım kullanılırken potansiyel lokasyonların değerlendirilmesinde Bilim, Teknoloji ve Yenilik (BTY) göstergelerinin kullanılmasına sistematik bir bakış sunmayı amaçlamıştır.

Yazılım endüstrisi nitelikli insan gücünün yüksek iş bilgisi seviyesi, asıl işine odaklanarak geliştirme süreçlerinde bireysel çalışabilmesi bakımından uzaktan çalışmaya en kolay adapte olan sektörlerden biri olmuştur. İnsan kaynağı için alternatif çözüm arayışı içerisindeki şirketlerin buldukları lokasyon ile dış kaynak kullanılacak lokasyon arasındaki yüksek ücret farkları ve işin tekrarlayan doğası gereği yazılımın yurtdışında geliştirilmesi önemli bir fırsat olarak görülmektedir. Ayrıca, bilgi ve iletişim teknolojilerinde, özellikle bulut teknolojilerinin gelişmesi ile yazılımın hizmet olarak sunulabilmesi, sürekli gelişim ve entegrasyon araçlarının gelişmesi, düşük maliyetlerle lokasyondan bağımsız yazılım geliştirmeye olanak sağlamıştır (Ishenko, 2005). 2018'de dünyada bilgi teknolojilerinde dış kaynak kullanımı 62 milyar \$, operasyonel süreçlerde dış kaynak ise 23,6 milyar \$ olmak üzere toplamda 85,6 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir (Liu, 2019). Firmaların dış kaynak kullanarak iş ihtiyaçlarını karşılarken belirledikleri stratejilerde bilgi teknolojilerinin asıl belirleyici olduğu görülmektedir. Bu kapsamda alternatif lokasyonların analiz edilebilmesi ve değerlendirilmesi ciddi bir ihtiyaç haline gelmektedir. BTY göstergeleri ile dış kaynaklı yazılım geliştirme süreçlerinde olası lokasyonların değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Dış kaynak kullanımı ile yazılım geliştirme hedeflerine ulaşılması şirketler için bir başarı kriteri olarak kabul edilmektedir. Kamu tarafından hayata geçirilen BTY politikaları, özel sektör tarafından gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme faaliyetleri, üniversitelerin sanayi ile kurcağı iş birlikleri gibi bir çok etken bu potansiyeli gerçekleştirmede kritik rol oynamaktadır. Devletler teknolojik ve yenilikçi yeteneklerin geliştirilmesi için çeşitli teşviklerde bulunmaktadır. Gelişmiş

BTY yeteneklerine sahip ülkelerin yaptığı gibi sıklıkla yenilikçiliği teşvik etmek bunlardan biridir. Ayrıca teknolojik ve yenilikçi fırsatların ve pazarların gelişimini desteklemek, dış kaynaklı yazılım lokasyonlarını cazibe merkezi haline getirmektedir. Ülkelerin uygulayacağı BTY politikaları sadece ekonomik büyümeyi desteklemekle ve dış kaynaklı yazılım lokasyonlarını geliştirmekle kalmamakta, aynı zamanda vatandaşların refahını yükselten bilgi, teknoloji ve yeniliklere erişimi de kolaylaştırmaktadır (ESCAP, 2018).

Bu çalışma kapsamında ülkelerin sahip olduğu bilgi teknoloji ve yenilikçilik potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak BTY istatistikleri UNESCO İstatistik Enstitüsü, Dünya Fikri Mülkiyet Organizasyonu (WIPO) ve Dünya Bankası veri tabanlarından toplanmış ve bir veri havuzunda bir araya getirilmiştir. Veri toplama aşamasından sonra çalışmada kullanılan lokasyon analizi açıklanmış, karşılaştırılacak parametrelerin nasıl belirlendiği ifade edilmiştir. Elde edilen verilerin sınıflandırılması ve analiz aşaması için görselleştirme anlatılmıştır. İkinci bölümde oluşturulan karar destek aracı ile Pakistan ve BRICS (Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ülkeleri, belirlenen parametreler ile değerlendirilmiştir. Dış kaynak kullanımı için belirlenen lokasyonun finansal ve insan kaynakları, IP, bilimsel yayın ve ihracatına ait istatistikleri incelenerek değerlendirilen ülkenin profili çıkarılmıştır. Son bölümde çalışma çıktıları ve bulgular değerlendirilmiş, önerilerde bulunulmuş ve yöntemin kullanım alanları paylaşılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Lokasyon Seçimi

Gartner tarafından yapılan araştırmaya göre Asya-Pasifik (APAC) bölgesinde gelişmekte olan pazarlar 2 seviyede incelenmektedir. Ayrıca bu iki gruba ek olarak potansiyel vadeden ülkeler belirlenmektedir. Myanmar ve Pakistan potansiyel vadeden ülkeler arasında yer almaktadır. Her ikisi de daha ucuz ülkelere yatırım yapmayı düşünen şirketler için alternatif bir cazibe merkezi olarak ideal şartlar yaratmaya başlamışlardır ve halihazırda yerel pazarlarının dışında yazılım hizmeti satan servis sağlayıcılar için uygun lokasyonlar olarak değerlendirilmektedir (Longwood ve ark., 2015). Pakistan Yazılım İhracat Kurulu (PSEB) ve Pakistan devleti, ülkelerini bir denizaşırı platform olarak konumlandırmak için çalışmalar yürütmektedirler (Roy ve ark., 2008). Pakistan, birçok denizaşırı lokasyondan daha uygun insan gücü istihdam etme ve ucuz altyapı maliyetleri ile rekabetçi bir pazar olarak ön plana çıkabilir. Bu çalışmada Pakistan'ın dış kaynaklı yazılım kullanmak isteyen şirketler için avantajları değerlendirilmiş ve potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Firmaların dış kaynak kullanarak yazılım geliştirme süreçlerini gerçekleştirecekleri lokasyonu seçerken kullanabilecekleri karar destek aracı Pakistan örneğinde kullanılmıştır.

BRICS ülkeleri (Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin ve Güney Afrika), gelişmekte olan ülkeler arasında hızla yükselen ülkelerdir. BRICS ülkeleri için yenilik endeksi incelendiğinde ortalama puanlarında 2017-2025 yıllarında kayda değer bir artış öngörülmektedir. Bu artışın nedeni olarak ulusal yeniliklerin genel rekabet gücünü sürekli olarak geliştirmesi tahmin edilmektedir (BRICS Innovative Competitiveness Report, 2017). Ayrıca BRICS ülkeleri Gartner tarafından yakın ve uzak dış kaynak lokasyonlarının değerlendirildiği bir çalışmada en önemli 30 dış kaynak lokasyonu arasında

listelenmektedir (Longwood ve ark., 2015). Dış kaynak lokasyonları arasında yakaladıkları başarı ve hızlı gelişim ile BRICS ülkeleri, Pakistan'ın değerlendirilmesinde karşılaştırma yapılacak örnek grup olarak seçilmiştir.

## 2.2. Veri Toplama

UIS Stat, UIS verilerini ve göstergelerini görüntülemek için güçlü ve kullanımı kolay bir tarayıcı sağlar. Veriler konusuna göre ağaç görünümünde düzenlenmiş, basit ve üç boyut formatında (gösterge, ülke veya bölge, yıl) sunulmaktadır. Kullanıcılar kendi özel tablolarını oluşturabilir ve verileri dışa aktarabilir (UIS Stat, 2019). Bu veri tabanı, BTY göstergelerinden finansal ve insan kaynakları hakkında istatistikler elde edilmesinde kullanılmıştır.

Fikri mülkiyet (IP) istatistikleri, dünyadaki politika, işletme ve teknolojiye eğilimleri anlamak için kullanılacak temel araçlardan biridir. Dünya Fikri Mülkiyet Teşkilatı (WIPO), en güncel küresel IP verilerini sağlamak için dünya genelindeki IP ofisleriyle çalışmaktadır. Ayrıca, küresel IP faaliyetleri ve uluslararası IP haklarını korumak için WIPO tarafından yönetilen anlaşmaların kullanımı hakkında istatistiksel raporlar yayınlamaktadır. WIPO Fikri Mülkiyet İstatistikleri Veri Merkezi, WIPO'nun dünya çapındaki fikri mülkiyet faaliyetleri hakkındaki kapsamlı istatistiklere erişim sağlayan ücretsiz bir çevrimiçi hizmet sunmaktadır. Herhangi bir kullanıcı çok çeşitli göstergeler kullanarak arama yapabilir, ihtiyaç duyduğu kısıtlara göre en yeni ve en güncel verilere erişebilir (WIPO, 2019). BTY göstergelerinin bir çıktısı olarak fikri mülkiyet istatistikleri, WIPO Fikri Mülkiyet İstatistikleri Veri Merkezi'nden alınmıştır.

Dünya Bankası, ülkelerin çoğundaki kalkınma durumları hakkında ayrıntılı veri setlerine ücretsiz ve açık erişim sağlamaktadır. Dünya Bankası veri tabanı alt kümeleri ile sunulan veriler ve zaman çizelgeleri ile geniş bir koleksiyonu barındırmaktadır. Dünya Bankası, şeffaflık ve hesap verilebilirliğin kalkınma sürecinde gerekli olduğunu ve Banka'nın yoksullukla mücadele misyonu için gerekli olduğunu farkındadır. Bu verilere daha geniş erişim, politika yapımcıların daha bilinçli kararlar vermelerini ve iyileştirmeleri daha doğru değerlendirmelerini sağlar (The World Bank, 2019). Şirketlerdeki karar vericilerinde bu veri setlerinden yararlanarak dış kaynaklı yazılım lokasyonlarını değerlendirirken kullanabilecekleri karar destek aracı, akademik, finansal kaynaklar ve IP istatistiklerinin takibinde bu veri tabanından nasıl yararlanılabileceği bu çalışma örneklendirilmiştir.

Sorumluluk alanlarına göre belirlenmiş kamu kuruluşları tarafından sağlanan BTY verileri, Pakistan ve BRICS ülkelerinin karşılaştırılabilmesi için işlenerek yeni bir veri tabanı oluşturulmuştur. Benzer şekilde oluşturulacak veri tabanları, karar vericiler için bir araç olarak kullanılabilir ve gelecek dönemde yapılacak değerlendirmeler için bir kaynak teşkil etmektedir.

## 2.3. Veri Analizi

Organizasyonel yapılar ülkeler arasında büyük farklılıklar gösterebildiğinden, sınırlı sayıda gösterge kullanılarak lokasyonların performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu araştırmada, dış kaynak kullanılarak yazılım geliştirme süreçlerinde lokasyon değerlendirmesi için Pakistan örneği ele alınmış ve BRICS ülkeleri ile karşılaştırılmıştır.

- Finansal Kaynaklara ait İstatistikler - BTY Girdileri
  - Ar-Ge Yatırımları

- Ar-Ge Harcamaları
  - Ar-Ge Harcamalarının GSYİH'ye Oranı
  - Kişi başına düşen Ar-Ge Harcaması
  - Sektörler Bazında Ar-Ge Harcamaları
  - Finans Kaynağına Göre Ar-Ge Harcamaları
- İnsan Kaynaklarına ait İstatistikler - BTY Girdileri
  - Ar-Ge Personeli
    - Toplam Ar-Ge personeli sayısı
    - Milyon kişi başına düşen toplam Ar-Ge personeli
    - Bin çalışan başına düşen toplam Ar-Ge personeli
    - Ar-Ge personelinin Sektörlere Göre Dağılımı
  - Araştırmacılar
    - Toplam araştırmacı sayısı
    - Araştırmacıların sektörlere göre dağılımı
    - Meslek grubuna göre Ar-Ge personeli incelendiğinde mühendislik ve teknoloji alanında çalışanların sayısı
- IP İstatistikleri - BTY Çıktıları
  - Patent
    - Patent Başvuruları
    - Alınan Patentler
  - Ticari Markalar
    - Ticari Marka Başvurularında Belirtilen Sınıf Sayısı
    - Marka Tescillerinde Belirtilen Sınıf Sayısı
- Bilimsel Yayın İstatistikleri – BTY Çıktıları
  - Bilimsel ve teknik dergi makaleleri
- İhracat İstatistikleri – BTY Çıktıları
  - Yüksek teknoloji ihracatı
  - Yüksek teknoloji ihracatının yapılan toplam üretim ihracatına oranı

Çalışmada yer alan lokasyonların karşılaştırılmasında son on yıllık trend, değerlendirme için esas alınmıştır. Ayrıca, karşılaştırma yapılan lokasyonların oluşturduğu kümede, BRICS ülkelerinde, herhangi bir ülkeye ait eksik verilerle karşılaşıldığında, mevcut veriler üzerinden ortalama değer hesaplanmış ve karşılaştırma bu şekilde yapılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için her iki inceleme grubunda sahip olduğu ölçümlerden yararlanılmıştır. Değerlendirme yapılacak lokasyonların bir önceki bölümde yer alan veri tabanlarına veri sağlamaları değişkenlik gösterebilmektedir.

Bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR), büyümenin üssel olarak bileşik bir oranda gerçekleştiği varsayılarak, verilen iki yıl arasındaki yıllık ortalama artış veya azalış oranıdır. Verilen iki yıl arasındaki yıl sayısı

$$N = Z - X$$

ile hesaplanır. X ve Z yılları arasındaki veriler trendin doğruluğunu destekleyici nitelikte olması beklenir. CAGR formülü, t1 ile t10 yıllarına ait bileşik yıllık büyüme oranı =  $[(t10 \text{ yılıdaki değer} / t1 \text{ yılıdaki değer})^{(1/N)} - 1]$  olarak Gartner tarafından ifade edilmiştir (Gartner Glossary).

## 2.4. Veri Görselleştirme

BRICS ülkeleri ile Pakistan'ın karşılaştırılması için kullanılan parametreler ve işlenen veriler değerlendirme aşamasında yorumlama sürecinin kolaylaştırılması için görselleştirilmiştir. Veri toplama ve analizi aşamasında

görselleştirme için hazırlanan bu istatistiksel veri, MS PowerPoint üzerinde çalışan Think cell aracı ile görselleştirilmiştir. Oluşturulan “stacked” ve “clustered” grafikleri, elde edilen ortalama değerler arasındaki farkı daha anlaşılır şekilde açıklamak ve yorumlamak için kullanılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Finansal Kaynak İstatistikleri - BTY Girdilerinin Ölçülmesi

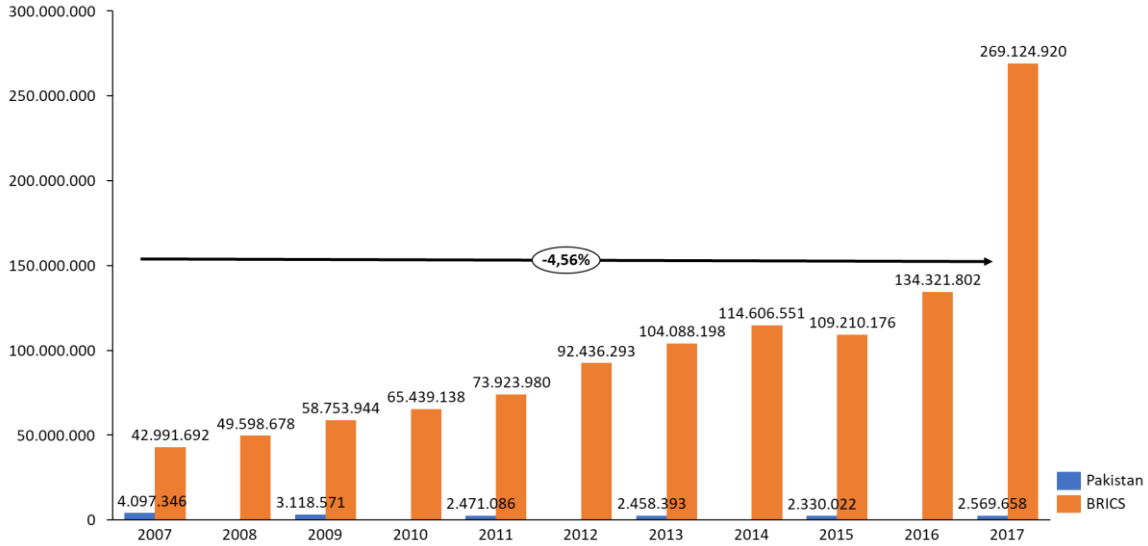
Bilgi üretimi birçok yenilikçi politika aracının temelini oluşturmaktadır. Bu politikaların varlığını sürdürebilmesi ve devamlılığının sağlanabilmesi için bu üretime sahip çıkan ve destekleyen insan kaynağını oluşturmak ve bu insan kaynağının araştırma ve geliştirme kapasitesini artırmak kilit öneme sahiptir. Bir diğer önemli bileşen de yenilikçi süreçler için kamuda, üniversitelerde ve özel şirketlerde bilim ve teknolojiye finansal kaynak ayırmak ve teşvikler sunmak, yenilikçiliğin devamlılığını ve sürdürülebilirliğini geliştirmektir. BTY politikalarının finansal kaynaklarla desteklenmesine ulusal düzeyde, belirli stratejik teknoloji alanlarının geliştirilmesi için ülkelerin ayırdığı özel fonlar gösterilebilir (Schwachula ve ark., 2014). BTY göstergeleri dış kaynaklı yazılım lokasyonları incelenirken mevcut durumun analizinde finansal kaynakların kalkınmaya olan etkisi üzerinde durarak çeşitli içgörüler sağlamamıza zemin oluşturmuştur. Buna paralel olarak, finansal göstergeler BTY girdileri ve çıktılarına doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Bu göstergelere dayanarak, herhangi bir lokasyonun bir yazılım geliştirme merkezi olarak değerlendirilmesine yönelik tasarlanan karar destek aracı, finansal durumun analizinde ve politikaları

ulusal kalkınma gündeminin bir parçası olarak değerlendirmede rol oynayabilmektedir.

#### 3.1.1. Ar-Ge Harcamaları

Araştırma ve geliştirme faaliyetleri başarılı bir yenilikçilik ve dolayısıyla rekabetçilik için ön şarttır. Kamu kuruluşlarındaki Ar-Ge birimleri, uzmanlaşmış devlet destekli araştırma enstitüleri, üniversiteler ve endüstri de dahil olmak üzere birçok kurumda araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir. Bu kurumlar arasında çok sıkı bir örgütsel ve finansal bağ vardır. Ekosistem içerisinde yer alan her bir aktör Ar-Ge harcamalarından beslenir. Bunun yanında Ar-Ge harcamalarının yüksek olması ekonomik büyümenin hızlanmasını da sağlamaktadır. Ekonomik büyümenin yanında araştırma ve geliştirmeyi teşvik etmek ulusal güvenlik, prestij ve bilimsel merak gibi ekonomik getiriden daha fazla politik öneme sahip olabilmektedir (Vithlani, 2019). Şekil 1, Pakistan ve BRICS ülkelerindeki Ar-Ge harcamalarını göstermektedir. 10 yıllık dönemdeki mevcut durum analiz için görselleştirilmiştir. UNESCO 'ya göre, Pakistan'ın 2017'deki toplam Ar-Ge harcaması yaklaşık 2.6 milyar Amerikan doları olarak gerçekleşmiştir. Son on yılda, Pakistan'daki Ar-Ge harcamalarında azalma eğilimi görülmektedir (-% 4,56). Öte yandan, BRICS ülkelerindeki Ar-Ge harcaması ortalama yıllık % 20.13 büyüme oranı ile yaklaşık 270 milyar dolara ulaşmıştır. Pakistan, BRICS ülkelerinde olduğu gibi Ar-Ge yatırımlarında yükseliş trendini yakalamasına yardımcı olacak BTY politikalarını yürütmeli ve ekonomik büyümesini Ar-Ge yatırımları ile destekleyerek sürdürülebilir büyümeyi sağlamalıdır.

Şekil 1: Ar-Ge Harcamaları ('000 \$) (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)

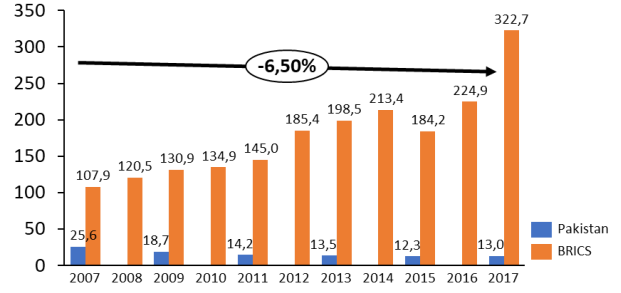
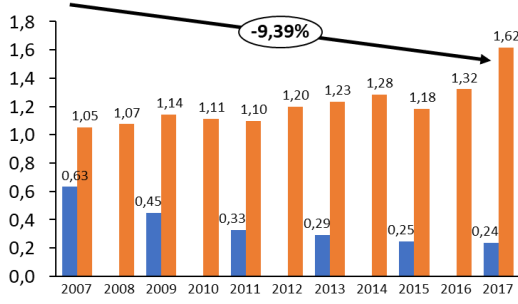


Teknolojik verimliliğin ve Ar-Ge potansiyelinin analizi için kullanılan en yaygın gösterge, Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki oranıdır (Şekil 2). BRICS ülkelerindeki Ar-Ge harcamalarının GSYİH'daki oranı yıllık 4,38% yükseliş ile büyürken, Pakistan'da %9,39 yıllık düşüş ile 2017 yılının sonunda 0,24% seviyesine gerilemiştir. Ayrıca kişi başına düşen Ar-Ge harcaması BRICS ülkelerinde 11,58% ile yıllık gelişme göstererek 322\$'ın üzerine çıkmayı başarmıştır. Pakistan'da ise bu oran, yıllık 6,5% düşüşle 13\$ seviyesine kadar gerilemiştir (Şekil 3). Pakistan'daki Ar-Ge harcamalarında yaşanan düşüş trendi, Ar-Ge harcamalarının GSYİH içerisindeki payı ve kişi

başına düşen Ar-Ge harcaması ile benzer düşüş trendi içerisindeydi. Toplam nüfustaki büyüme oranı, Ar-Ge harcamalarındaki düşüşle karşılaştığı için Ar-Ge harcamaları üzerinde yapılan alternatif göstergelerde kendini derinleşen düşüş trendi ile göstermiştir. Makro ekonomik göstergeler, gelişen ve büyüyen nüfus göz önüne alındığında Ar-Ge yatırımları ile desteklenmezse sürdürülebilir büyümeye yakalanamayacaktır. Büyüyen ekonomi ve nüfus ile orantılı olarak Ar-Ge yatırımları artırılmalı ve BRICS ülkelerinde yaşanan gelişmelere benzer yükseliş trendi yakalanmalıdır.



Şekil 2, 3: Ar-Ge Harcamalarının GSYİH içerisindeki oranı, Kişi Başına düşen Ar-Ge Harcaması (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)



### 3.1.2. Ar-Ge Yatırımlarının Kullanım Alanları

Ar-Ge yatırımlarının yüksek öğrenim ve devlet tarafından gerçekleştirilmesi iki kritik unsurdur. Farklı politik destekler ile şekillenen ve sosyal tanınırlık seviyelerine göre değişen ulusal ekosistemin bu iki farklı unsuru, farklı büyüme oranlarına ve etkinlik seviyelerine yol açmaktadır. Pakistan'da farklı finansman yapılarının ve akışlarının olması, kamu sektöründeki organları sınıflandırmanın karmaşıklaşması nedeniyle Ar-Ge yatırımlarının kullanım alanlarına göre sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Daha ayrıntılı bir değerlendirme yapılabilmesi için ülkedeki BTY finansman yapısının yeniden gözden geçirilmesini gerekmektedir. (Osama, Hassan, Chattha, 2015).

Çalışmada kullanılan veri tabanları incelendiğinde BRICS ülkelerinin Pakistan'a göre BTY sistemine ait istatistiksel verileri ve raporları çok daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde araştırdığı ve paylaştığı görülmüştür. Yüksek öğrenim harcamaları ve kamu harcamalarına ek olarak, BRICS ülkeleri özel sektör şirketleri ve kar amacı gütmeyen kuruluşların Ar-Ge yatırımlarını inceleyerek sınıflandırmayı ayrıntılandırmışlardır. Çalışma Pakistan özelinde tasarlandığı için yüksek öğrenim ve kamu tarafından gerçekleştirilen faaliyetler değerlendirilmiştir. Ancak lokasyon analizi için farklı bir konum kullanılmak istendiğinde ve veriye erişim sağlanabildiğinde daha ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirilebilir.

Pakistan'da yükseköğretim kurumları tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge harcamaları oranı, 2007 yılından itibaren çeşitli dalgalanmalar ile beraber, 2011 yılında yaklaşık 625 milyon Amerikan dolarından, 2017 yılında yaklaşık 1.63 milyar Amerikan dolarına yıllık 17,33% büyüme oranı ile ulaşmıştır (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı). Aynı gösterge BRICS ülkeleri için değerlendirildiğinde yükseköğretim kurumlarının Ar-Ge harcamalarındaki yükseliş trendi, kamu tarafından da benzer bir yükseliş ile desteklenmiştir (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı). Fakat Pakistan'ın Ar-Ge harcamaları içerisinde pozitif etki yaratan yükseköğretim harcamalarındaki etki kamu harcamalarındaki azalış ile toplamdaki düşüş trendine engel olamamıştır. Pakistan benzer şekilde yükseköğretim harcamalarındaki sürekliliği sağlayarak, kamuya ait Ar-Ge harcamalarında da BRICS ülkelerinde gözlenen yükselişe benzer bir trendi yakalamak için çeşitli politikalar geliştirmelidir. Çeşitli kamu kuruluşlarının görevlerini yeniden tanımlamak, teşviklerin yapısını değiştirmek ve BTY

sistemine özel sektör katılımını artırmak alınabilecek önlemler arasında sayılabilir (Osama ve ark., 2015).

### 3.1.3. Ar-Ge Yatırımlarının Kaynaklandığı Alanlar

Pakistan'da, yükseköğretim tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge harcamalarının finansmanındaki artış eğilimi (2017'de 900.894.000 \$), kamu tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge harcamalarının finansmanındaki düşüş eğilimi (2017'de 1.589.310.000 \$) ile karşılaşmaktadır (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı). Ar-Ge yatırımlarının kullanım alanları ve Ar-Ge yatırımlarının kaynaklandığı alanlar incelendiğinde izlenen trendler aynı yönlü ve benzer miktarlarda gerçekleşmektedirler. Ar-Ge performansını ifade eden finansal göstergeler arasındaki ilişki analiz aşamasında net bir şekilde görülmüştür. BRICS ülkelerindeki Ar-Ge harcamalarındaki istikrarlı yükseliş trendi tüm ölçekteki finansal göstergelerde görülmüştür.

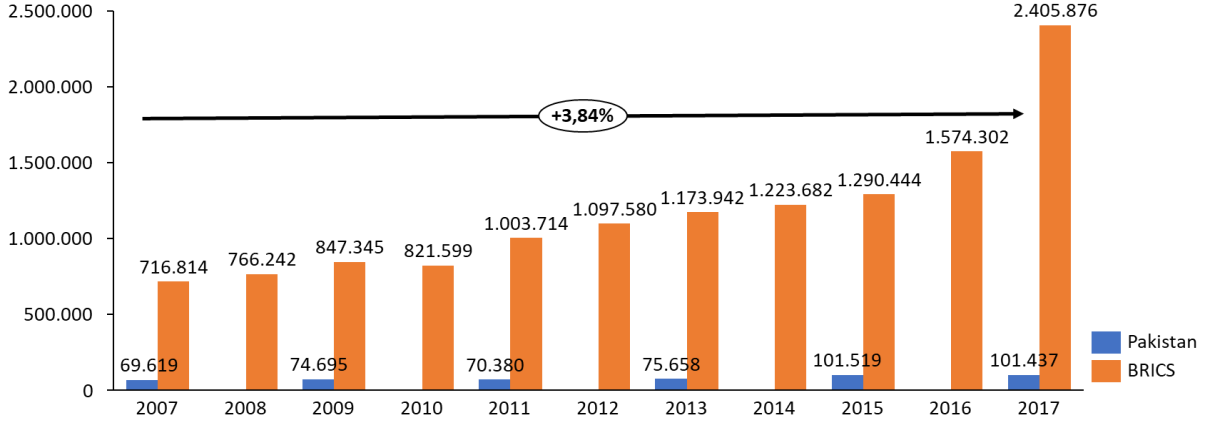
## 3.2. İnsan Kaynakları İstatistikleri – BTY Girdilerinin Ölçülmesi

Bilgi ekonomisi geliştirmek, hızla değişen küresel koşullara kaliteli eğitim ile yanıt vermeyi gerektirir. Bilim, teknoloji, mühendislik, tekstil ve mimarlık / tasarım gibi alanlarda üniversitelere yapılacak yatırımlar, kalifiye insan kaynaklarına olan talebi karşılamak için gereklidir. Üretimdeki verimliliği ve katma değeri artırmak için gerekli insan kaynağı böylece karşılanmış olacaktır. Bu kapsamda Pakistan gelecek yıllarda gerçekleştirmek üzere planladığı yatırımları artırarak insan kaynağının gelişimine katkı sağlanmasını ve eğitim sektörünün teşvikler ile geliştirilmesini planlamaktadır (Pakistan Vision 2025 Report).

### 3.2.1. Ar-Ge Personeli

Pakistan'da toplam Ar-Ge personeli sayısı yıllık 3,84% büyüme oranıyla 101.437 tam zamanlı çalışana (TZÇ) ulaşmıştır. BRICS ülkelerinde ise bu çıkış çok daha yüksek bir büyüme oranı ile 12,87% olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4). Pakistan'ın BTY girdileri içerisinde insan kaynağındaki bu performansı, finansal göstergeler ile karşılaştırıldığında daha olumlu bir içgörü kazanmamıza imkan sağlamıştır. BRICS ülkelerindeki yükseliş, Pakistan'ın hedefleyebileceği örnek bir trend olarak görülebilir.

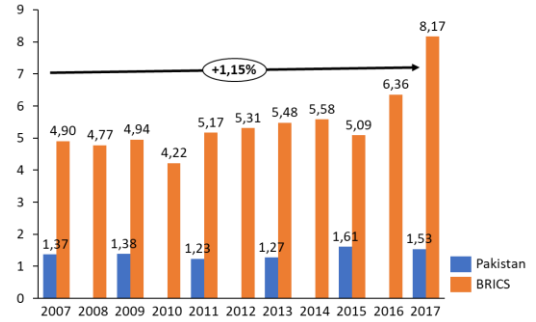
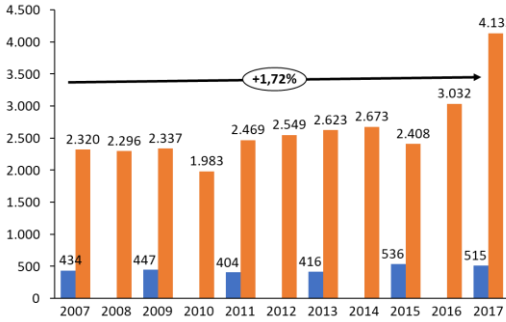
Şekil 4: Toplam Ar-Ge Personeli (Tam Zamanlı Çalışan) (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)



BRICS ülkelerinde milyon kişi başına düşen toplam Ar-Ge personelindeki yıllık büyüme oranı 5,94% olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5). Çalışan bin kişi başına düşen toplam Ar-Ge personeli sayısı ise yıllık 5,23% büyüme oranı ile yükselmiştir (Şekil 6). Benzer yükseliş trendi Pakistan için de geçerlidir, fakat yıllık büyüme oranları daha düşük bir seviyede gerçekleşmiştir.

Milyon kişi başına düşen toplam Ar-Ge personeli sayısı 1,72% yıllık büyüyerek 515 TZÇ; çalışan bin kişi başına düşen toplam Ar-Ge personeli sayısı ise 1,15% büyüme oranı ile 1,53 TZÇ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5,6). Milyon kişi başına düşen Ar-Ge personeli sayısı, toplam Ar-Ge personeli ile benzer bir yükseliş trendi göstermektedir.

Şekil 5,3: Milyon kişi başına düşen Ar-Ge Personeli Sayısı, Bin çalışan başına düşen Ar-Ge Personeli Sayısı (TZÇ) (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)

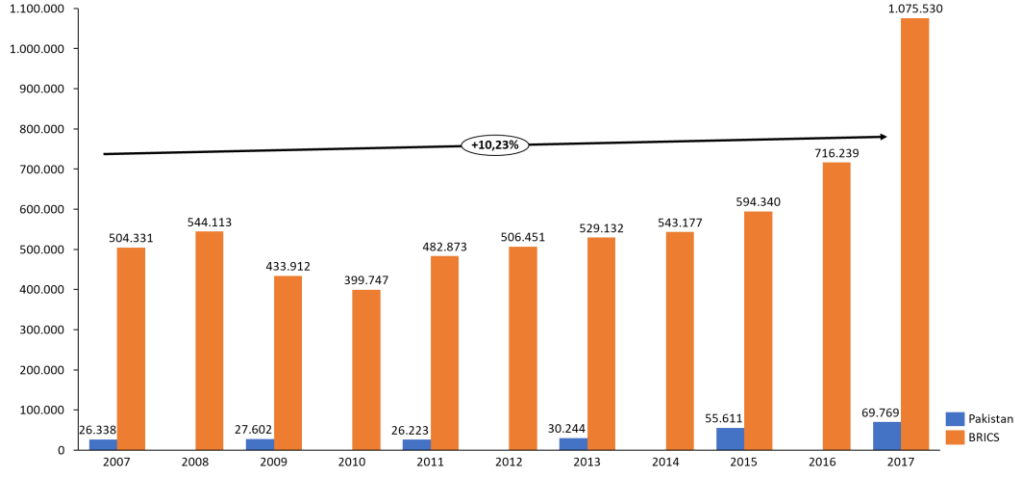


2011 yılından itibaren Pakistan'da yükseköğretim kuruluşlarında çalışan toplam Ar-Ge personeli sayısı yıllık 21,35% artış oranı ile 76.643 TZÇ sayısına ulaşmıştır. Kamuda çalışan toplam Ar-Ge personeli sayısı ise yıllık 5,78% düşüş oranı ile 24.794 TZÇ'a gerilemiştir. BRICS ülkelerinde ise yükseköğretim kuruluşları, kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarında sırasıyla hepsindeki toplam Ar-Ge personeli sayısı yükseliş göstermiştir (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı). Pakistan'da yükseköğretim kuruluşlarında gözlemlenen yükseliş trendi, kamu sektöründeki düşüş ve BRICS ülkelerindeki tüm sektörlerdeki yükseliş, Ar-Ge yatırımlarındaki trendler ile aynı seyri izlemektedir. BTY girdileri içerisindeki finansal kaynaklar ve insan kaynağındaki davranışların arasında doğrudan bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan yatırımlar insan kaynağını etkilediğini söyleyebiliriz.

### 3.2.2 Araştırmacılar

UNESCO İstatistik Enstitüsü'nün açıkladığı BTY istatistikleri; Ar-Ge personeli araştırmacı, teknisyen ve eşdeğer personel, diğer destek personeli olmak üzere üç ana başlık altında incelemektedir. Yazılım geliştirme süreçlerinde en etkili şekilde kullanılan insan kaynağı, araştırmacı olarak sınıflandırabileceğimiz insan kaynağı olacaktır. Bu nedenle çalışmamızda Ar-Ge personeli içerisindeki araştırmacılara ait göstergeler incelenmiştir. Pakistan'da toplam tam zamanlı çalışan araştırmacı sayısı, 10,23% yıllık artış ile 2017'de 69.769 TZÇ'ye ulaşmıştır. BRICS ülkelerinde, Pakistan ile karşılaştırıldığında daha düşük bir yükseliş ile yıllık büyüme 7,87% olarak gerçekleşmiştir (Şekil 7). Yazılım geliştirme süreçlerinde aktif olarak kullanılacak ve şirketlerin dış kaynaklı yazılım lokasyonlarında ihtiyaç duyduğu araştırmacı sayısındaki hızlı yükseliş trendi Pakistan'ın kendisini diğer lokasyonlardan ayırması için kullanabileceği önemli bir BTY göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 7: Toplam Araştırmacı Sayısı (TZÇ) (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)



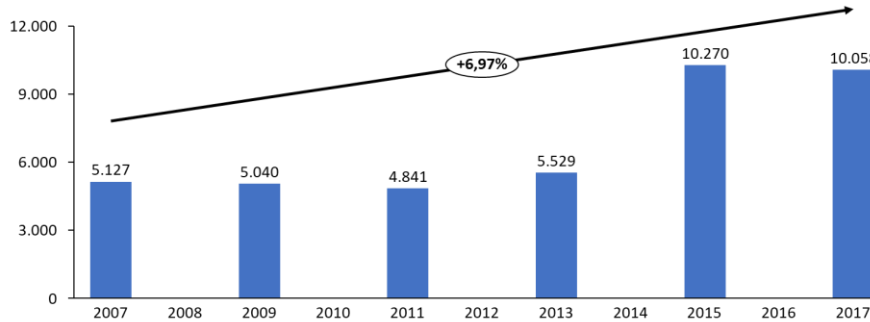
### 3.2.2.1 Sektör bazlı Araştırmacıların Değerlendirilmesi

Pakistan'da kamu sektöründeki toplam Ar-Ge personeli sayısındaki düşüş, benzer şekilde kamu sektöründe çalışan araştırmacılar da 5,4% yıllık küçülme oranı ile 5.138 TZÇ'ye gerilemiştir. Ancak bunun yanında yükseköğretim kuruluşlarında çalışan toplam araştırmacıların 2011 yılından itibaren 24,71% yıllık artış ile 64.631 TZÇ sayısına ulaştığı gözlemlenmiştir. Araştırmacıların 92%'den fazlası yükseköğretim kuruluşlarında çalışmaktadır.

Pakistan'da söz konusu yıllarda, yükseköğretim kurumlarını destekleyici araştırma ortamı oluşturmak için bir destek programları başlatılmıştır. Öğretmenlere yurtdışındaki araştırmacılarla iletişim kurma fırsatı sunmak için yükseköğretim kuruluşları tarafından çok sayıda ortak araştırma işbirliği programı oluşturulmuştur. Ayrıca, 62 adet dijital kütüphane; ülke genelindeki üniversiteleri yabancı üniversitelerle iletişimini sağlayan akademik internet; üniversitelerin yüksek maliyetli ekipman alışverişi yapmalarına imkan sağlayan paylaşım programı; laboratuvarlara ve tesislere yapılan yatırımlar ile yükseköğretim kuruluşlarının BTY girdileri içerisindeki yeri genişletilmeye çalışılmıştır (Osama, Hassan, Chattha, 2015). Pakistan'ın yüksek öğretim kurumlarına yaptığı bu yatırımın etkileri, BTY girdilerinde hem finansal kaynaklarda hem de insan kaynağında görülmektedir.

2011 yılından sonra yaşanan yükseköğretim kurumlarındaki insan kaynağının gelişimi, araştırmacı sayısı ile ilgili

Şekil 8: Ar-Ge Çalışma Alanına Göre Mühendislik ve Teknoloji Alanında Çalışan Toplam Araştırmacı Sayısı (TZÇ) (UNESCO İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı)



Bu çalışmada sırayla istatistikler genelden özele olacak şekilde incelenmiş ve aralarındaki ilişki analiz edilmiştir. Her lokasyon için analiz farklı bir aşamada sonlanabilir. Ayrıca yazılım geliştirme dışında başka bir alanda dış kaynak

göstergelerde çok daha net gözükmektedir. Araştırmacı sayısındaki trendlerin toplam Ar-Ge personeli ve toplam Ar-Ge harcamalarına olan etkisi trendler incelendiğinde açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Bunun yanında karşılaştırma yapılan BRICS ülkelerinde benzer şekilde gözlemlenen büyüme trendleri, araştırmacılar sektörel bazlı incelendiğinde de devam etmektedir.

### 3.2.2.2 Mühendislik ve Teknoloji Alanındaki Araştırmacıların Değerlendirilmesi

BTY politikalarının yazılım geliştirme süreçleri için bir diğer önemli yanı, politka hedefleri doğrultusunda bilim ve teknoloji üzerine çalışan insan kaynağıdır. Politka hedefleri ve yönelimlerinin lokasyonla beraber gelişmişlik derecesine göre de şekillenmektedir (Vithlani, 2019). Çalışma içerisinde farklı ölçeklerdeki göstergelerin yer alması, gelişmişlik düzeyini her seviyede gözlemlememize ve analiz edebilmemize olanak sağlamaktadır. Mühendislik ve Teknoloji alanındaki araştırmacıların incelenmesi diğer göstergelere nazaran daha ayrıntılı bir analiz imkanı sunmakta ve yazılım geliştirme süreçlerine olan etkisinin daha yüksek olduğu düşünülerek değerlendirilmiştir. BTY göstergeleri ile dış lokasyonların değerlendirilmesinde kullanılabilecek bu karar destek aracı organizasyon hedeflerine göre belirlenen ölçekte özelleştirilebilir. Yazılım geliştirme süreçlerinin değerlendirilmesinde, Ar-Ge faaliyetleri çalışma alanlarına göre sınıflandırıldığında, belirlenen kategorilerden Mühendislik ve Teknoloji alanı en uygun gösterge olarak seçilmiştir.

kullanarak lokasyon değerlendirmesi yapmak isteyen karar vericiler genelden özele ihtiyaçlarına göre farklılaştırarak bu analizi gerçekleştirip karar destek aracı olarak kullanmaya devam edebilirler. Pakistan'da 6,97% yıllık büyüme oranı ile

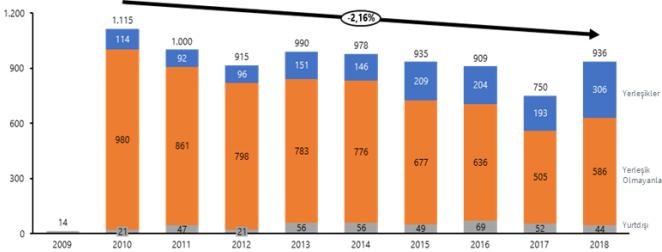
mühendislik ve teknoloji alanında çalışan toplam araştırmacı sayısı 10.058 tam zamanlı çalışana ulaşmıştır (Şekil 8). Mühendislik ve Teknoloji alanında çalışan araştırmacı sayısındaki bu insan kaynağı artışı, dış kaynaklı yazılım lokasyonu değerlendirmemizde Pakistan lehine olumlu bir içgörü sahibi olmamızı sağlamıştır.

BTY girdisi olarak insan kaynağı, ulusal BTY sisteminin Ar-Ge ve yenilik yatırımları ile birlikte en önemli girdisidir. İncelenen on yılda Pakistan'ın Ar-Ge harcamalarında yakalayamadığı yükseliş trendini insan kaynağı açısından sağlayabildiğini görmekteyiz. Yatırım ile insan kaynağının birlikte büyüme gösterdiği BRICS ülkelerinde dış kaynaklı yazılım üssü olarak görülmelerini ve en önemli dış kaynak lokasyonları arasında sayılmalarını BTY göstergeleri ile açıklayabilmekteyiz.

### 3.3. IP İstatistikleri - BTY Çıktılarının Ölçülmesi

Bilimsel araştırma ve teknolojik gelişmenin pratik etkisinin özel bir ölçüsü olarak, bu bir etki için gerekli veya yeterli bir şart olmamasına rağmen, patentleme sayılabilir. Yıllar boyunca,

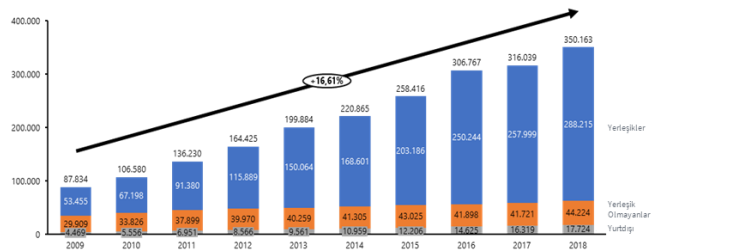
Şekil 9,10: Toplam Patent Başvuru Sayısı – Pakistan, BRICS Ülkeleri (Dünya IP Organizasyonu Veri Tabanı)



yeniliğin doğası sürekli değişmektedir ve gittikçe artan bir şekilde “açık” ve “işbirlikçi” modeller norm haline gelmektedir. Bu nedenle patent ve ticari marka istatistikleri, dış kaynaklı yazılım lokasyonlarını değerlendirirken incelediğimiz BTY göstergeleri arasında yer almıştır.

### 3.3.1 Patent İstatistikleri

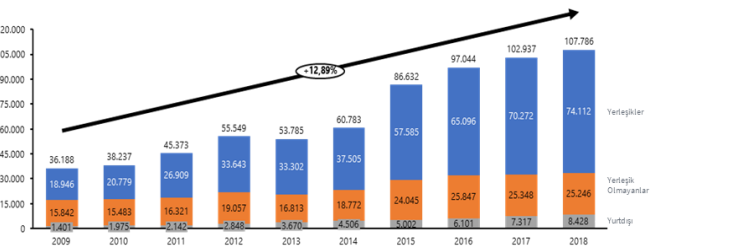
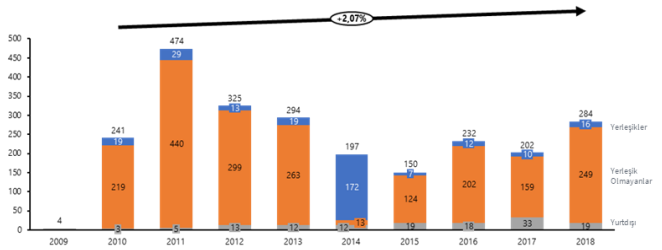
BRICS ülkelerindeki patent başvuru sayısı yıllık 16,61% büyüme oranıyla yerleşiklerde gözlemlenen yükselişin taban oluşturması ile doğrusal bir trend yakalamıştır. Yerleşikler 20,59%, yerleşik olmayanlar 4,44%, yurtdışı kaynaklı olanlar 16,54% yıllık büyüme oranı ile yükselişe katkı sağlamışlardır (Şekil 9). İncelenen 10 yıllık dönemde Pakistan'daki Toplam Patent Başvuruları incelendiğinde yıllık 2,16% küçülme oranı ile dalgalı bir seyir gözlemlenmektedir. Pakistan'daki patent başvurularında yerleşik olmayanların tabanı etkilediği görülmektedir. Yerleşikler 13,14% ve yurtdışı kaynaklı olanlar 9,69% yıllık büyüme oranıyla büyürken, baz etkisi oluşturan yerleşik olmayanlar 6,23% yıllık küçülme oranıyla toplam patent sayısındaki düşüşün ana neden olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 10).



Pakistan'daki verilen patent sayısı istikrarlı bir seyir izlememektedir, ancak son 10 yılda 2,07%'lik bir yıllık büyüme oranı göstermiştir. Patent başvurularında olduğu gibi verilen patent sayısında da yerleşik olmayanlar büyük çoğunluğu sağlamakta ve toplamda görülen azalışı etkilemektedir. Pakistan'daki patent başvurusu ve verilen patent sayılarının temeli çok uluslu şirketler gibi yabancı köklere sahip kişi ve kurumlara dayanmaktadır. Yerleşik olmayanların, yurtdışındaki talep sahiplerinin, Pakistan'da toplam verilen patent sayısında önemli bir yer alması dış kaynaklı geliştirme süreçlerinde Pakistan'ın mevcut durumu hakkında fikir sahibi olmamızı

sağlamıştır. Ulaşılabilirlik ve maliyet nedeniyle patent sayısı Pakistan'da inovasyon derecesini doğru şekilde yansıtmayabilir ancak karar destek sistemimizde nedenselleştirebileceğimiz birtakım görüşler sağlayabilir. (Osama, Hassan, Chattha, 2015). Bu dalgalı ve düzensiz seyrinde veri toplama aşamasında yaşanabilecek sorunlar göz önünde bulundurulmalı ve bu göstergenin kritik öneme sahip olduğu, iş ihtiyaçları ve lokasyonlarda ayrıca bir araştırma gereksinimi olabileceği unutulmamalıdır. Diğer taraftan, BRICS ülkeleri ise yıllık %12,89 artış oranıyla düzenli büyüme ivmesini sürdürmüştür.

Şekil 11,4: Toplam Verilen Patent Sayısı – Pakistan, BRICS ülkeleri (Dünya IP Organizasyonu Veri Tabanı)

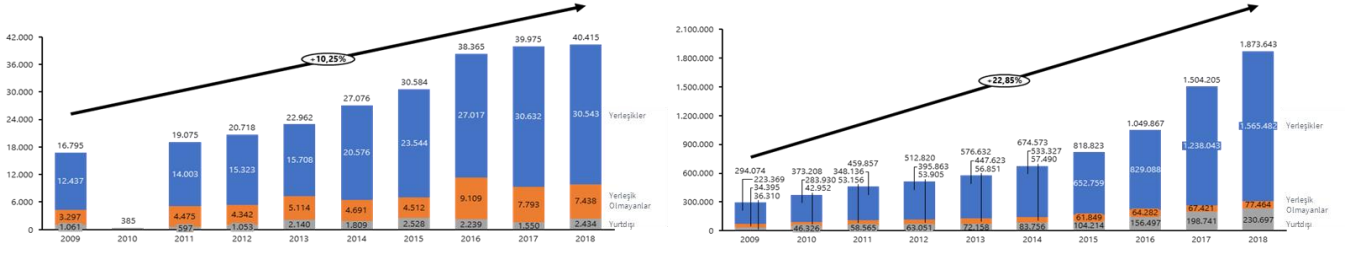


### 3.3.2 Ticari Marka İstatistikleri

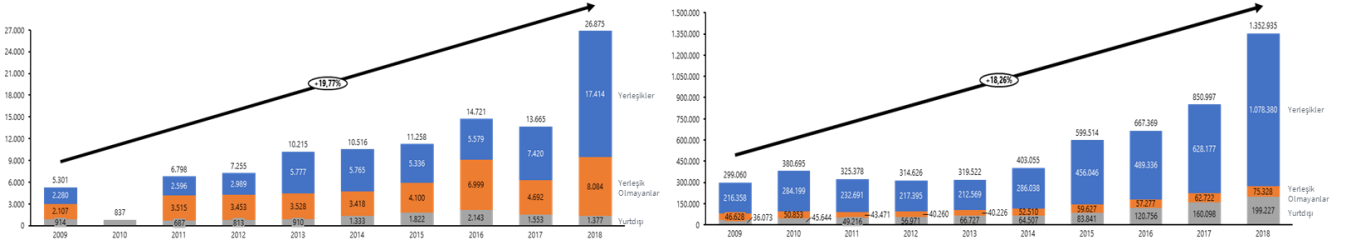
Toplam Ticari Marka Uygulamalarında Pakistan yıllık 10,25% büyüme oranı ile 40.415 sınıf sayısına ulaşmıştır. Benzer yükseliş trendi BRICS ülkelerinde de gözlemlenmiştir (yıllık 22,85% büyüme oranı). Ayrıca Pakistan'da son on yıllık periyotta yerleşiklerde 10,5%, yerleşik olmayanlarda 9,46%, yurtdışı kaynaklı olanlarda ise 9,66% yıllık büyüme oranı

toplamdaki yükseliş trendini desteklemiştir (Şekil 13). Marka başvuru istatistikleri ayrıntılı incelendiğinde bileşenlerde gözlemlenen yükseliş BRICS ülkelerinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir. BRICS ülkelerinde yıllık 22,85% artış oranı ile net bir büyüme görülmektedir (Şekil 14). Marka başvuruları incelendiğinde Pakistan'ın, BRICS ülkelerindeki yükseliş trendini yakaladığını ve söz konusu BTY çıktısında iyimser bir tablo çizdiğini söyleyebiliriz.

Şekil 5,14: Ticari Marka Başvurularında Belirtilen Sınıf Sayısı – Pakistan, BRICS ülkeleri (Dünya IP Organizasyonu Veri Tabanı)



Şekil 15,16: Ticari Marka Kayıtlarında Belirtilen Sınıf Sayısı – Pakistan, BRICS ülkeleri (Dünya IP Organizasyonu Veri Tabanı)



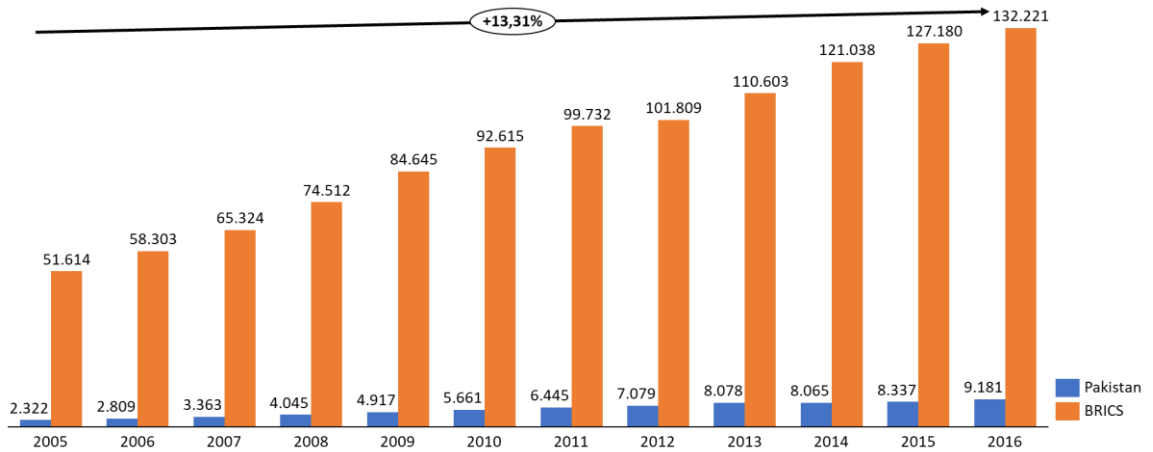
BRICS ülkelerinde IP istatistikleri doğrudan ve bölge ofisleri aracılığıyla elde edilmektedir. Ancak Pakistan'da fikri mülkiyet hakları ile ilgili kurumlar ve organizasyonlar BRICS ülkelerinde ve gelişmiş ülkelerde olduğu şekilde aktif ve doğru bir işleyiş şekline sahip değildir. Bu nedenle, yalnızca patent ve ticari marka verileri karşılaştırılabilmektedir.

### 3.4 Bilimsel Yayın İstatistikleri – BTY Çıktılarının Ölçülmesi

Yazılım geliştirme süreçleri için lokasyon değerlendirmesinde mühendislik ve teknolojiye dayalı ölçümler en ayrıntılı BTY göstergeleridir. Bilimsel ve teknik dergi makaleleri, fizik, biyoloji, kimya, matematik, klinik tıp,

biyomedikal araştırma, yer ve uzay bilimlerinin yanında mühendislik, teknoloji alanlarında yayınlanan bilimsel ve teknik makaleleri içerir. Ayrıca çeşitli alanlardaki bilimsel yayımlar doğrudan ya da dolaylı olarak birbirlerini destekler yapıdadırlar. Bu bilgilerin ışığında Pakistan'da bilimsel yayın istatistikleri incelendiğinde yıllık 13,31% büyüme oranı ile 9181 makale yayımlandığı görülmektedir (Şekil 17). BRICS ülkelerindeki yükseliş Pakistan'ın gerisinde yıllık 8,93% büyüme oranı ile gerçekleşmiştir. BTY girdilerinde yer alan insan kaynağındaki olumlu gelişmeler ve yükseliş trendlerinin, BTY çıktılarından biri olan bilimsel yayınlardaki büyüme oranlarını desteklediği görülmektedir.

Şekil 17: Bilimsel ve Teknik Dergi Makaleleri (Dünya Bankası Veri Tabanı)

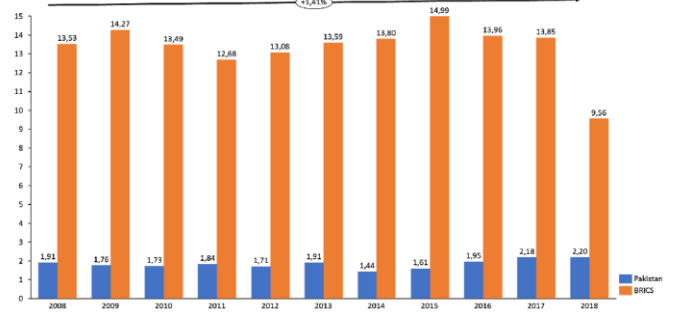
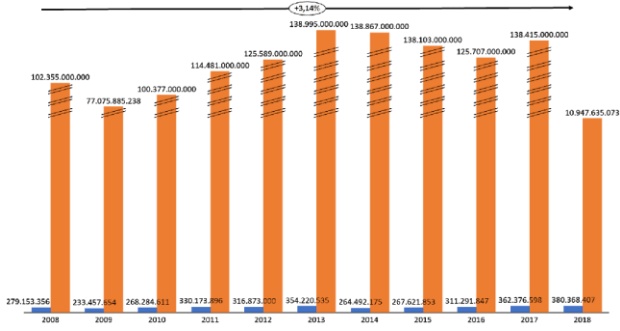


### 3.5 İhracat İstatistikleri – BTY Çıktılarının Ölçülmesi

Pakistan ve BRICS ülkelerinin son on yıllık yüksek teknoloji ihracatı incelendiğinde, dalgalı bir seyir gözlemlenmektedir. Bu dalgalı seyre rağmen Pakistan, yüksek teknoloji ihracatında 3,14% yıllık artış oranı yakalayabilmiştir.

Bunun yanında yüksek teknoloji ihracatının toplam üretimdeki payı 1,41% yıllık artış göstermeyi başarmıştır. BRICS ülkelerinde ise yüksek teknoloji ihracatı 20,03% yıllık azalış göstermiştir, fakat ihracat büyüklüğü incelendiğinde arada ciddi bir potansiyel farkı görülmektedir. Ayrıca toplam üretimdeki yüksek teknoloji ihracatı payı da 3,41% düşüş göstererek 9,56 seviyesine gerilemiştir (Şekil 18,19).

Şekil 18,19: Yüksek Teknoloji İhracatı (\$), Yüksek Teknoloji İhracatının Toplam Üretim içindeki payı (%) (Dünya Bankası Veri Tabanı)



Yazılım geliştirme süreçlerinin yüksek teknoloji ihracatı olarak değerlendirilmesi ve altyapısal olarak benzer ürünlerin yer aldığı yüksek teknoloji verilerinin Pakistan lehine olumlu sonuçlar vermesi, karar vericilerin yazılım geliştirme süreçlerinde dış kaynak kullanırken potansiyel lokasyon değerlendirmelerinde Pakistan'ı avantajlı bir konumda görmemize olanak sağlayacaktır.

#### 4. Sonuç

Bilim ve teknolojiyi desteklemek, Ar-Ge potansiyelinin ve dolayısıyla ulusal inovasyon sistemine yönelik politikaların geliştirilmesi, Pakistan'ı diğer ülkeleri taklit eden bir konumdan yeniliği getiren ve yüksek teknoloji ihracatını destekleyen bir konuma ulaştıracaktır. Belirli kilit sektörlerde teknolojiler doğru bir şekilde tatbik edilerek uzmanlaşma yoluna gidilebilir. Sonuç olarak, Pakistan ulusal bir teknoloji ve inovasyon sistemini yürütebilir. Bununla birlikte ulusal bir inovasyon sistemi bağlamında bu fırsatların geliştirilmesine rehberlik etmek için, politik bir temel şeklinde, devlet müdahalesi gereklidir (Khattak, Baseer, Bajwa, 2009). Bilim, teknoloji ve yenilikçilik yeteneklerindeki gelişimin yalnızca yükseköğretimin takdirine bırakılmayacağı görülmeli ve kamu, yükseköğretim ve sanayi işbirliklerinden doğabilecek fırsatlar değerlendirilmelidir.

Yazılım geliştirme süreçleri sonunda elde edilen yüksek teknoloji ürünlere ait verilerinin Pakistan lehine olumlu sonuçlar vermesi, karar vericilerin yazılım geliştirme süreçlerinde dış kaynak lokasyonlarını değerlendirirken Pakistan'ı olumlu değerlendirmelerine vesile olmuştur. Özellikle mühendislik ve teknoloji alanında çalışan araştırmacı sayısındaki önemli artış yazılım geliştirme sürecinin dış kaynak kullanımı ile Pakistan'da gerçekleştirilmesi için bizlere olumlu bir içgörü sağlamaktadır. Pakistan'da dış kaynak kullanımını değerlendirirken, doğru stratejiler izlenerek kilit alanlardaki teknolojilerde uzmanlaşma yoluna gidilebilir. Pakistan'ın ulusal teknolojik sisteminin yanında ulusal yenilikçilik sistemindeki güncellemeler düzenli takip edilmelidir.

Çalışmada yer alan istatistikler ve analizler, insan kaynağının ve finansal kaynakların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için BTY politikasının başarılı bir şekilde yürütülmesinin önemini göstermektedir. İncelenen dönem göz önüne alındığında Pakistan, BTY performansı ve çıktılar üzerindeki olumlu etkisini devam ettirmek için Ar-Ge yatırımlarını ve Ar-Ge personeli sayısını artırmalıdır. Bilimsel yayınlar ve patent sayılarındaki önemli ilerlemeler, sürdürülebilirlik için BTY girdileri ile desteklenmelidir. Pakistan'ın ve BRICS ülkelerinin karşılaştırılmalı BTY göstergelerindeki performans eğilimlerinden anlaşıldığı üzere,

bir BTY atılımı yapılabilmesi için Ar-Ge yatırımları ve insan kaynağında yukarı yönlü trend yakalanmalıdır. BRICS ülkelerinden elde edilen ortalama değerler bu yukarı yönlü çıkışın ulaşılabilir bir hedef olduğunu göstermektedir. Bu ülkelerdeki benzer politikalar Pakistan'a göre özelleştirilmeli ve kamu öncülüğünde özel sektörün de desteği alınarak hayata geçirilmelidir. Pakistan'ın BTY çıktılarında yakaladığı performansı devam ettirebilmesi için BTY girdilerinin iyileştirilmesine yönelik aksiyonlar alması gerekmektedir.

Tüm bu analiz, öneri ve bulguların sonucunda Pakistan'ın bir dış kaynaklı yazılım geliştirme lokasyonu olarak potansiyeli ortaya konmuştur. Bu çalışma, İngilizce dilinde Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi tarafından düzenlenen Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu (ISSRIS'21)'nda sunulan bildirinin genişletilmiş ve Türkçe dilinde hazırlanmış halidir. BTY göstergelerinin çeşitli ölçeklerde özelleştirilmesi ve lokasyon seçiminin şirket planlarında yer alan alternatif lokasyonlar özelinde revize edilmesiyle bu karar destek aracı yeniden tasarlanabilir.

#### Kaynakça

- Ansal, H., Yıldırım, N., & Yıldırım, H., (2012). An Agenda For Developing Countries For Improvement Of Innovation Related Statistics: Comparison Of Turkey With Developed Countries' Statistics. IAMOT 2012, Hsinchu, Taiwan
- Gartner Inc. (n.d.). Compound Annual Growth Rate (CAGR). 1 Aralık 2019 tarihinde <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/cagr-compound-annual-growth-rate> adresinden erişildi.
- Ishenko, O., (2005). Outsourcing Of Software Development. 26 Ekim 2019 tarihinde <https://pdfs.semanticscholar.org/75f9/0e856137843bd4bca5f7300fb85e5e58ce1e.pdf> adresinden erişildi.
- Khattak M., Baseer M., & Bajwa M., (2009). National Innovation System and the Need for an Upgradation Policy for Innovative and R&D Capabilities in Pakistan, Journal of Quality and Technology Management.
- Liu, S., (2019). Topic: IT Outsourcing Industry - Statistics & Facts. 26 Ekim 2019 tarihinde erişildi.
- Longwood J., Ng F., Lo T., Roy A., Mishra D., Tang T., ve ark. (2015). Leading Offshore Services Locations in Asia/Pacific Smaller Countries Gain Traction. Gartner Inc. 28 Ekim 2019 tarihinde erişildi.
- Longwood, J., Barton, N., Stanley, A., & Karamouzis, F. (2017). Evaluate Offshore/Nearshore Countries for Outsourcing, Shared Services and Captives Worldwide. Gartner Inc. 24 Ekim tarihinde erişildi.

- Osama A., Hassan S., & Chattha K., (2015). The Pakistan Development Review, 54(2). doi: 10.30541/v54i2
- Roy A., Longwood J., & Huntley H., (2008). Analysis of Pakistan as an Offshore Services Location. Gartner Inc. 24 Ekim tarihinde erişildi.
- S. Islam, M. M. A. Joarder and S. H. Houmb, "Goal and Risk Factors in Offshore Outsourced Software Development from Vendor's Viewpoint," 2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering, Limerick, 2009, sayfa: 347-352, doi: 10.1109/ICGSE.2009.54.
- S. U. Khan, M. Niazi and R. Ahmad, "Critical Success Factors for Offshore Software Development Outsourcing Vendors: A Systematic Literature Review," 2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering, Limerick, 2009, sayfa: 207-216, doi: 10.1109/ICGSE.2009.28.
- Schwachula, A., Seoane, M. V., & Hornidge, A. K. (2014). Science, technology and innovation in the context of development. Bonn: Department of Political and Cultural Change Center for Development Research, University of Bonn.
- Secretariat Ministry of Planning, Development & Reform Government of Pakistan. (n.d.). Pakistan Vision 2025 Report. Islamabad.
- Sedera, D., Lokuge, S., Krcmar, H., Srivastava, S. C., & N., R. M. (2014). The Future of Outsourcing in the Asia-Pacific Region: Implications for Research and Practice—Panel Report from PACIS 2014. Communications of the Association for Information Systems, 35
- The World Bank Data Bank. (n.d.). 26 Ekim 2019 tarihinde <https://databank.worldbank.org/> adresinden erişildi.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı. (2011). Türkiye Bilim, Teknoloji ve Yenilik Sistemi ve Performans Göstergeleri Raporu.
- UNESCO Institute for Statistics (n.d.). UIS Statistics. 26 Ekim 2019 tarihinde <http://data.uis.unesco.org/> adresinden erişildi.
- United Nations, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP). (2018). Evolution of Science, Technology and Innovation Policies for Sustainable Development: the Experiences of China, Japan, the Republic of Korea and Singapore.
- Vithlani, H. (n.d.). An empirical study of THE UK INNOVATION SYSTEM. [Available online at: <http://www.oecd.org/science/inno/2380078.pdf>], 24 Ekim 2019 tarihinde World Intellectual Property Organization. (n.d.). <https://www3.wipo.int/ipstats/> adresinden erişildi.
- Zhao, X., Wang, D., Xiao, Y., Dong, Q., Huo, H., Ma, Z., et.al. (2018). Forecast and Evaluation of Innovation Capabilities and Review of STI Cooperation of BRICS. Research Series on the Chinese Dream and China's Development Path BRICS Innovative Competitiveness Report 2017, sayfa: 3–30. doi: 10.1007/978-981-10-8078-4\_1x”



# Kesintisiz Güç Kaynağı Çıkış Gücü Düzenlemesi için Bulanık Mantık ve Kazanç Çizelgesi Uyarlanı Tabanlı PI Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılması

Vedat Gül<sup>1\*</sup>, Savaş Şahin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Tescom Elektronik A.Ş., Department of Research and Development, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3980-2118), [vedatgul2013@gmail.com](mailto:vedatgul2013@gmail.com)

<sup>2</sup> İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4165-3441), [sahin.savas@yahoo.com](mailto:sahin.savas@yahoo.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903268)

**ATIF/REFERENCE:** Gul V, Sahin S, Kesintisiz Güç Kaynağı Çıkış Gücü Düzenlemesi için Bulanık Mantık ve Kazanç Çizelgesi Uyarlanı Tabanlı PI Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılması, Mart 2021, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 416-420.

## Öz

Bu çalışmada, kesintisiz güç kaynağı (KGK) çıkış gücü düzenlemesi için geleneksel oransal-integral (PI) kontrolör, bulanık mantık (BM) ve kazanç çizelgesi uyarlanı (KÇU) tabanlı PI kontrolörlerin tasarımları ve performansları sunulmaktadır. KGK'larda evirici için kontrolör tasarımında yaygın olarak sabit katsayılı geleneksel PI kontrolör kullanılmaktadır. Ancak sabit katsayılı kontrolör yerine katsayıları güncellenen kontrolörler daha iyi performans sağlayabilirler. Bu nedenle, evirici çıkış gücü düzenlemesi için kontrolör katsayılarını güncelleyen, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör tasarımları gerçekleştirilmiştir. Benzetim ve deneysel çalışmalarda, 5kW KGK sisteminin performans sonuçları sistem çıkış geriliminin toplam harmonik bozulma ve ortalama mutlak hata değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, en iyi sonucu KÇU tabanlı PI kontrolör sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kesintisiz güç kaynağı, Bulanık mantık, Kazanç çizelgesi uyarlanı, PI kontrolör

## Performance Comparison of Fuzzy Logic and Gain Scheduling Adaptive Based PI Controllers for Uninterruptible Power Supply Output Power Regulation

### Abstract

In this study, the designs of the conventional proportional-integral (PI) controller, fuzzy logic (FL), and gain scheduling adaptive (GSA) based PI controllers and their performances are presented for uninterruptible power supply (UPS) output power regulation. The conventional PI controller having constant parameters is commonly used for the inverter in UPS. However, controllers whose parameters are updated instead of using fixed parameters one might provide better performance. Hence, FL and GSA based PI controller designs, which update the controller parameters for the inverter output power regulation, have been implemented. In simulation and experimental studies, the performance results of the 5kW UPS system have been compared in terms of total harmonic distortion and mean absolute error values of the system output voltage. According to the obtained results of the experimental study, the best result was obtained by the GSA based PI controller.

**Keywords:** Uninterruptible power supply, Fuzzy logic, Gain scheduling adaptive, PI controller.

\* Sorumlu Yazar: [vedatgul2013@gmail.com](mailto:vedatgul2013@gmail.com)



## 1. Giriş

Güç sistemlerinin önemli bir parçası olan kesintisiz güç kaynakları (KGK) elektrik şebekesinin kesildiği veya düzensiz olduğu yerlerde kullanılır ([1], Rahman ve ark [2]). KGK sisteminde arzu edilen güç düzenlemesi ve düşük toplam harmonik bozulma (THB) için gerilim düzenlemeli evirici tasarımı geliştirilmiştir (Yeh ve Manjrekar [3]). Eviricilerde çıkış gücü düzenlemesinin geleneksel oransal-integral (PI) kontrol ile yapıldığı birçok çalışma mevcuttur ancak sabit katsayılı PI kontrolörün değişken yüklerle karşı sistem performansı kısıtlıdır [4-6]. Daha iyi sistem performansı elde etmek için kontrolör parametreleri güncellenebilen bulanık mantık (BM) tabanlı kontrolörler geliştirilmiştir ([7], Mir ve ark. [8], Jian ve ark. [9], Ding ve ark. [10], Thao ve ark. [11], Li ve ark. [12]). Sayısal işaret işlemci tabanlı PID kontrolör ile eviricinin doğrusal olmayan yüklerle karşı performansı dinamik olarak güncellenen BM yöntemi ile bütünleştirilmiştir (Jian ve ark. [9]). 20 kW bir evirici BM tabanlı kontrolörle gerçekleştirmişlerdir (Ding ve ark. [10]). Elektrik şebekesine bağlı fotovoltaik bir evirici için BM tabanlı kontrolörle başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Thao ve ark. [11]). Bir başka çalışmada eviricinin BM tabanlı PID kontrolör yöntemi performansının daha iyi olduğu yayımlanmıştır (Li ve ark. [12]). Diğer yandan, uyarlanabilir kontrolör ile yapılan evirici tasarımı çalışmaları da bulunmaktadır (Chen ve ark. [13], Jiao ve ark. [14], Yılmaz ve ark. [15]). Tasarlanan bir evirici için çeşitli çalışma yüklerine karşılık gelen kontrol kazanç katsayıları hesaplanmış ve kullanılmıştır (Chen ve ark. [13]). Şebekeye bağlı tek fazlı eviricinin şebeke empedans değişikliklerine karşı sistemi gürbüz yapabilmek için kontrolör parametrelerini ayarlayabilen kazanç çizergelemeli uyarlanabilir (KÇU) kontrolör geliştirmişlerdir (Jiao ve ark. [14]). Bir eviricinin kontrolünde geleneksel PID yerine KÇU tabanlı PI kontrolör kullanımının daha uygun olduğu gösterilmiştir (Yılmaz ve ark. [15]).

Bu çalışmada, tasarlanan 5 kW'lık bir KGK tek fazlı yarım köprü evirici devresinin çıkış gerilimi düzenlemesi için geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolörler tasarlanmıştır. Çıkış gücü düzenlemesi performansları THB ve ortalama mutlak hata (MAE) açısından karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında ve gerçek sistem testleri deney düzeneği üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen kontrolörlerden elde edilen sonuçlara göre tam yükte KÇU tabanlı PI kontrolör performansının diğer kontrolör yöntemlerine göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Çıkış gerilimi THB ve MAE değerleri sırasıyla %0.9 ve 2.7047 olarak elde edilmiştir.

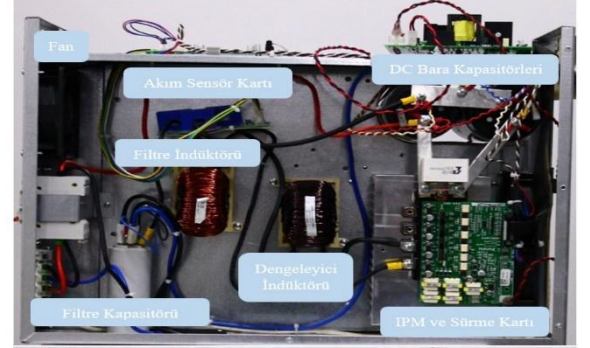
Çalışmanın geriye kalan bölümleri: Bölüm 2'de KGK evirici çıkış devresi tasarımı, kontrol yöntemleri ve çıkış gerilimi düzenlemesi için tasarlanan geleneksel PI, BMK ve KÇU tabanlı PI kontrolör algoritmaları sunulmuştur. Bölüm 3'te benzetim çalışmaları ve gerçekleştirilen deney sonuçları verilmiştir. Bölüm 4'te sonuçlar ve olası gelecek çalışmalar açıklanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

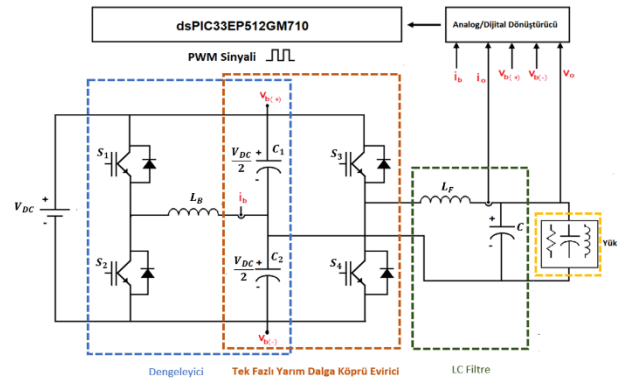
### 2.1. Tasarlanan KGK Evirici

5 kW KGK tasarımı tek fazlı yarım dalga köprü evirici, dengeleyici, akım ve gerilim algılayıcılar ve mikrokontrolör tabanlı anakart kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 1). Evirici tasarımında, 12868 Hz frekansla uyumlu anahtarlama elemanları olarak yalıtılmış iki kapılı transistör kullanılmıştır. Tasarlanan

eviricide güç kontrolü gerilim ve akım değişkenlerinin algılayıcılar aracılığı ile yapılır. Ölçülen akım ve gerilim değişkenleri dsPIC akım ve gerilim kontrol algoritması içerisinde geri-bildirim olarak kullanılır. Tasarımda sayısal işaret işlemcisi olarak dsPIC33EP512GM710 kullanılmıştır (Şekil 2) [16].

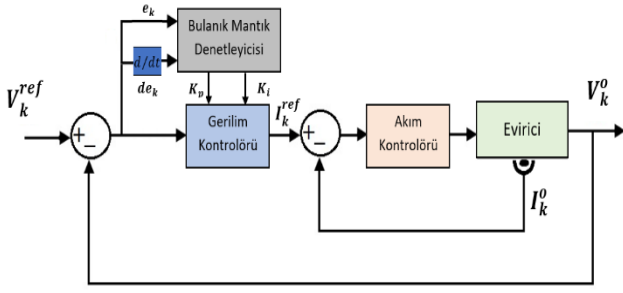


Şekil 1. Tasarlanan 5kW KGK donanımı



Şekil 2. Tasarlanan evirici devresi

Eviricide kullanılan geleneksel PI kontrolör  $u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$  ait kazanç parametreleri gerçek sistem üzerinden Ziegler-Nichols titreşim yöntemi ile bulunmuştur [17]. Sistem için referans gerilim değeri 220  $V_{RMS}$  olarak alınmıştır. Elde edilen kontrolör parametreleri  $K_p = 50$  ve  $K_i = 30$  olarak bulunmuştur. Evirici için tasarlanan BM tabanlı PI kontrolör yapısı Şekil 3'de verilmiştir. İç döngüde akım kontrolü ayrı bir PI kontrolör ile yapılmış, gerçek çıkış akımı  $I_k^o$  referans akım ise 22A'dir. İç döngüde kullanılan akım kontrolü için PI kontrolör parametreleri titreşim yöntemine göre  $K_p = 5000$  ve  $K_i = 400$  olarak bulunmuştur. Evirici dış döngüde çıkış gerilim düzenlemesi için kullanılan BM tabanlı PI kontrolörde gerçek çıkış  $V_k^o$  olarak alınmıştır. BM girişinde çıkış gerilim  $V_k^o$  ve arzu edilen çıkış gerilim  $V_k^{ref}$  farkı ve farklar arasındaki değişim dikkate alınmıştır.



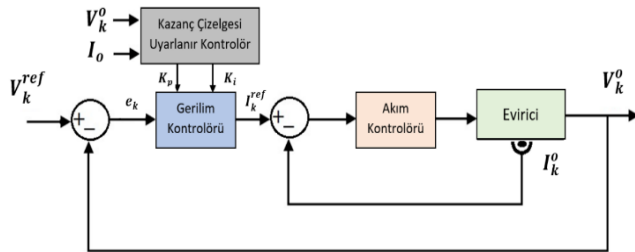
Şekil 3. Çıkış gerilimi düzenlemesi için BM tabanlı PI kontrolör

Hata, hatanın değişimi, BM çıkış değerleri  $K_p$  ve  $K_i$  için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.  $K_p$  ve  $K_i$  katsayılarına ait kural tablosu Tablo 1’de uzman görüşü ve deneme yanılma ile oluşturulur. Burada sıfır (S), negatif büyük (NB), negatif orta (NO), pozitif büyük (PB), pozitif orta (PO), küçük (K), küçük orta (KO), orta (O), büyük orta (BO) ve büyük (B) olarak belirlenmiştir [18] [19]. Tasarlanan BM’de  $e$  ve  $de$  giriş değerleri ((-220) -(+220)),  $K_p$  ve  $K_i$  çıkış değerleri ise sırasıyla (40-60) ve (20-40) olarak alınmıştır. Mamdani çıkarım yöntemine göre en küçük operatör ve durulaştırma için ağırlıklı ortalama kullanılmıştır.

Tablo 1.  $K_p$  ve  $K_i$  için kural tablosu

		Hatanın Değişimi ( $de$ )				
		NB	NO	S	PO	PB
Hata ( $e$ )	NB	B	B	B	B0	O
	NO	B	B	BO	O	KO
	S	B	BO	O	KO	K
	PO	BO	O	KO	K	K
	PB	O	KO	K	K	K

KÇU tabanlı PI kontrolör tasarımı Şekil 4’te verilmiş, eviricinin farklı çalışma koşullarında uygun parametre seçimleri evirici çıkış gücü kontrolör katsayıları için yapılmıştır (Tablo 2). Bu tabloda verilen yük değerleri evirici çıkış gerilimi THB değerleri ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 4. Çıkış gerilimi düzenlemesi için KÇU tabanlı PI kontrolör

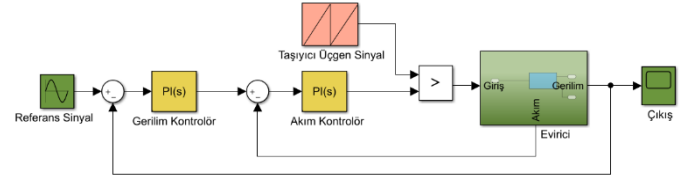
Tablo 2. KÇU tabanlı PI kontrolör katsayıları

Yük oranı (%)	Güç (W)	$K_p$	$K_i$
20	1000	44	36
40	2000	48	32
60	3000	52	28
80	4000	56	24
100	5000	60	20

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

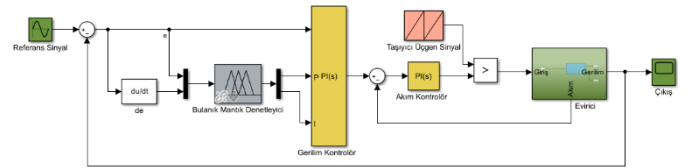
#### 3.1. Benzetim Çalışmaları

Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan evirici ile yapılmıştır. Geleneksel PI kontrolör yöntemi test edilmiştir (Şekil 5). Referans sinyali ( $220V_{RMS}/50Hz$ ) sinüs biçiminde seçilmiştir. Ayrıca sinüzoidal PWM uygulamak için taşıyıcı üçgen sinyal kullanılmış ve örnekleme frekansı  $f_s = 12868Hz$  olarak belirlenmiştir. Önceki bölümde açıklandığı gibi PI kontrolör parametreleri  $K_p = 50$  ve  $K_i = 30$  olarak alınmıştır.



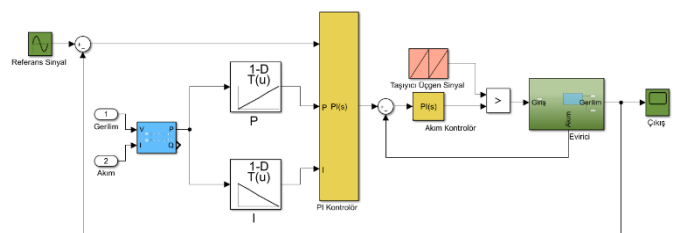
Şekil 5. Geleneksel PI kontrolör simulink tasarımı

BM tabanlı PI kontrolör benzetim çalışmaları Şekil 6’daki gibi yapılmıştır. Evirici çıkış gerilimi ve referans gerilim farkı ile hata değeri elde edilir. Hata ve hatanın değişimi BM aracında giriş değerleri olarak kullanılır. BM işlemleri sonucunda  $K_p$  ve  $K_i$  katsayıları elde edilmiştir.



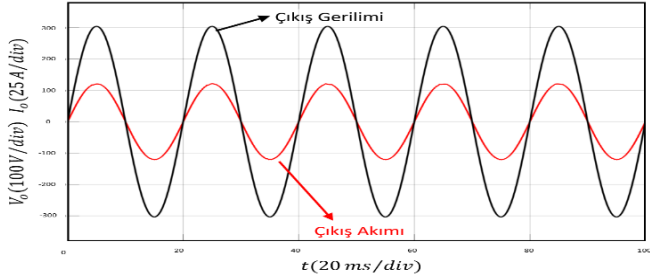
Şekil 6. BM tabanlı PI kontrolör tasarımının simulink modeli

KÇU tabanlı PI kontrolör için Tablo 2’de elde edilen parametre değerleri ile  $K_p$  ve  $K_i$  kazanç çizelgesi kullanılmıştır. Bu tablo ile  $K_p$  ve  $K_i$  kazanç katsayıları ve kapalı döngü sistemi hata değeri ile PI kontrolör çıkışı eviriciye uygulanır (Şekil 7).



Şekil 7. KÇU tabanlı PI kontrolörün simulink modeli

Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen zaman düzlemi çıkış gerilimi ve çıkış akımı değerleri birbiri ile aynıdır, Şekil 8’de sunulmuştur. Simulink benzetim ortamında tasarlanan evirici üzerinde geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör performansları karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Rezistif tam yükte (%100) yapılan performans testleri sonucunda KÇU tabanlı PI kontrolör yöntemi çıkış gerilim THB ve MAE değerleri sırasıyla %0.60 ve 1.6698 olarak elde edilmiştir. Çıkış gerilim THB ve MAE sırasıyla Denklem 1 ve 2’de verilmiştir. Burada  $V_h$  çıkış gerilimini  $e_k$  kapalı döngü kontrol sistemi hatasını gösterir.



Şekil 8. Çıkış gerilimi ve akımı

Tablo 3. Benzetim ortamında kontrolör performansları

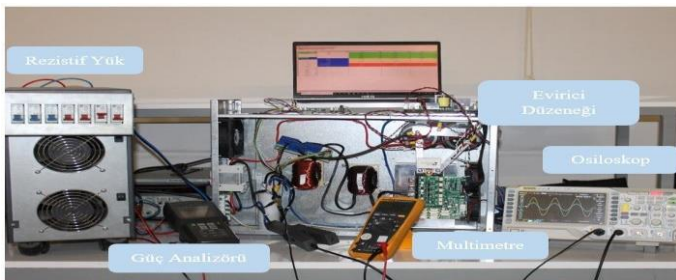
Kontrolör	(Rezistif Yük 100%)	
	THB (%)	MAE
Geleneksel PI	1.05	1.7121
BM tabanlı PI	0.75	1.6805
KÇU tabanlı PI	0.60	1.6698

$$THB = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |e_k| \quad (2)$$

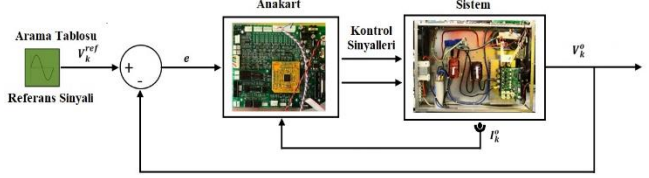
### 3.2. Deneysel Çalışmalar

Deney düzeneği için dsPIC33EP512GM710 işlemcinin kullanıldığı anakart, evirici devresi, akım ve gerilim algılayıcı devreler, evirici devresi üzerinde kullanılan akıllı güç modülü ve sürücü kartı tasarlanmıştır (Şekil 9).



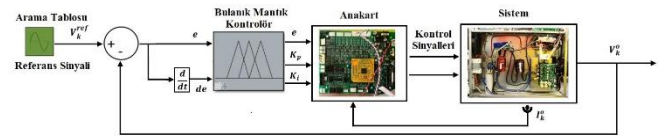
Şekil 9. Deney düzeneği tasarımı

Gerçek sistem çalışmaları tasarlanan evirici ile yapılmıştır. Geleneksel PI kontrolör yöntemi test edilmiştir (Şekil 10). Referans sinyali  $V_k^{ref} = 220V_{RMS}$  sinüs biçiminde seçilmiştir. Ayrıca dijital olarak sinüzoidal PWM tekniğini uygulayabilmek için örnekleme frekansı  $f_s = 12868Hz$  ve bara gerilimi  $360 V_{AC}$  olarak belirlenmiştir. PI kontrolör parametreleri  $K_p = 50$  ve  $K_i = 30$  olarak alınmıştır.



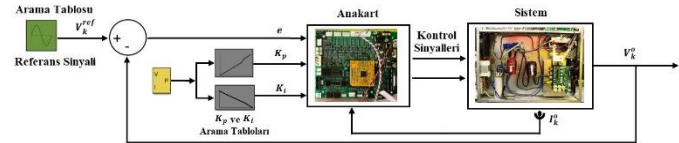
Şekil 10. Geleneksel PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

BM tabanlı PI kontrolör Şekil 11’deki gibi gerçekleştirilmiştir. Evirici çıkış gerilimi ve referans gerilim farkı ile hata değeri elde edilir. Hata ve hatanın değişimi BM aracında giriş değerleri olarak kullanılır. BM işlemleri sonucunda  $K_p$  ve  $K_i$  katsayıları elde edilmiştir.



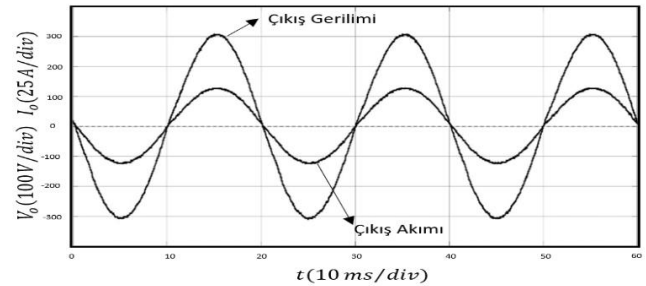
Şekil 11. BM tabanlı PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

KÇU tabanlı PI kontrolör için Tablo 2’de elde edilen parametre değerleri ile  $K_p$  ve  $K_i$  kazanç çizelgesi kullanılmıştır. Bu tablo ile  $K_p$  ve  $K_i$  kazanç katsayıları ve kapalı döngü sistemi hata değeri ile PI kontrolör çıkışı eviriciye uygulanır (Şekil 12).



Şekil 12. KÇU tabanlı PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

Gerçek sistem testleri sonucunda elde edilen zaman düzlemi çıkış gerilimi ve çıkış akımı değerleri neredeyse aynıdır, Şekil 13’de sunulmuştur. Tasarlanan evirici üzerinde geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör performansları karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Rezistif tam yükte (%100) yapılan performans testleri sonucunda KÇU tabanlı PI kontrolör yöntemi çıkış gerilim THB ve MAE değerleri sırasıyla %0.9 ve 2.7047 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. Çıkış gerilimi ve akımı

Tablo 4. Deney düzeneğinde kontrolör performansları

Kontrolör	(Rezistif Yük 100%)	
	THB (%)	MAE
Geleneksel PI	1.7	3.0719
BM tabanlı PI	1.2	2.7888
KÇU tabanlı PI	0.9	2.7047

#### 4. Sonuç

Bu çalışma ile tasarlanan 5 kW KGK ve evirici için tasarlanmış geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör algoritmalarının benzetim ve gerçek sistem sonuçları sunulmaktadır. Yapılan testler sonucunda tam yükte KÇU tabanlı PI kontrolör performansının diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Çıkış gerilim THB ve MAE değerleri tam yük altında karşılaştırılmıştır. İleriye dönük çalışmalarda değişken ve doğrusal olmayan yük altında kontrolör yöntemleri denenebilir ve başarılı sonuçlar elde edilebilir.

#### 5. Teşekkür

Laboratuvar ve deney düzeneği kurulumu için sağladığı imkanlardan dolayı TESCOM A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- Deng H, Omganti R, Srinivasan D. Digital control of single-phase UPS inverters with modified PWM technique. IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference. 2004 June; 1365-1371.
- Rahman MA, Quaicoe JE, Esmail AR, Choudhury MA. Delta Modulated Rectifier-Inverter for Uninterruptible Power Supplies. 1986; 445-449.
- Yeh C-C, Manjrekar MD. A reconfigurable uninterruptible power supply system for multiple power quality applications. Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. 2005 March; 1824-1830.
- Rech C, Pinheiro H, Grundling HA, Hey HL, Pinheiro JR. Analysis and design of a repetitive predictive-PID controller for PWM inverters. IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference. 2001; 986-991.
- Ding X, Qian Z, Yang S, Cui B, Peng F. A PID Control Strategy for DC-link Boost Voltage in Z-source Inverter. APEC 07 - Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. 2007; 1145-1148.
- Tehrani K-A, Capitaine T, Barrandon L, Hamzaoui M, Rafiei SMR, Lebrun A. Current control design with a fractional-order PID for a three-level inverter. Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications. 2011 September.
- Bolat ED, Ertunc HM. Implementation of Current Mode Fuzzy Tuning-PI Control of Single Phase UPS Inverter Using DSP. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. 2005 August; 600-607.
- Mir SA, Zinger DS, Elbuluk ME. Fuzzy controller for inverter fed induction machines. Conference Record of the

- 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. 1994 Jan.-Feb.; 30(1): 78-84.
- Jian L, Yong K, Jian C. Fuzzy-tuning PID control of an inverter with rectifier-type nonlinear loads. Third International Power Electronics and Motion Control Conference. 2000; 381-384.
- Ding X, Qian Z, Yang S, Cui B, Peng F. A direct DC-link boost voltage PID-like fuzzy control strategy in Z-source inverter. 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference. 2008 June; 405-411.
- Thao NGM, Dat MT, Binh TC, Phuc NH. PID-fuzzy logic hybrid controller for grid-connected photovoltaic inverters. International Forum on Strategic Technology. 2010 October.;
- Li JD, Wei SZ, Qiong W, Peng X. A Switching-inverter power controller based on fuzzy adaptive PID. Proceedings of 2011 6th International Forum on Strategic Technology. 2011 August; 695-699.
- Chen W-L, Chiu Y-M, Li Z-C, Yen C-S, Wu D. A novel gain scheduling application for voltage-sourced inverters control based on internal model principle. 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON). Auckland 2012.
- Jiao J, Hung JY, Nelms RM. Gain scheduling control strategy for a single-phase grid-connected inverter. IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). 2017 June; 723-728.
- Yilmaz AR, Erol B, Delibaşı A, Erkmen B. Design of gain-scheduling PID controllers for Z-source inverter using iterative reduction-based heuristic algorithms. Simulation Modelling Practice and Theory 94. 2019 February; 162-176.
- Datta A, Mukherjee D, Debbarma S, Saha H. A dsPIC based efficient single-stage grid-connected photovoltaic system. TENCON IEEE Region 10 Conference. 2014 October.
- Ogata K. Modern Control Engineering; Pearson; 2009.
- Arınç R. Bulanık Mantık Yöntemiyle Asenkron Motor Hız Kontrolü ve Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2003.
- Yu K-W, Hwang R-C, Hsieh J-G. Automatic ship handling of maritime search mission by using self-tuning fuzzy gain scheduling PD controller. Journal of Navigation. 1999 September; 52(3): 378-387.



# Electre Yöntemi ile Otomotiv Sektöründe Tedarikçi Seçimi: Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması

Hikmet Erbyık<sup>1\*</sup>, Gizem Alkan Kabakçı<sup>2</sup>, Ayşenur Erdil<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1997-4628), [hikmeterbiyik53@gmail.com](mailto:hikmeterbiyik53@gmail.com)

<sup>2</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Öğrencisi, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3676-0760), [gizem.alkan@renault.com](mailto:gizem.alkan@renault.com)

<sup>3</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İşletme Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6413-7482), [runesyalidre61@gmail.com](mailto:runesyalidre61@gmail.com)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.903952)

**ATIF/REFERENCE:** Erbyık, H., Alkan Kabakçı, G. & Erdil, A. (2021). Tedarikçi Seçimi Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 421-429

## Öz

Bu çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet gösteren 3 tedarikçinin yapılan performans değerlendirme sonuçları incelenmiştir. Her bir tedarikçi 5 farklı ana kriterde incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu kriterler; kalite yeterlilikleri, mühendislik yetkinlikleri, yeşil lojistik yönetimi, maliyet performansları ve yönetim stratejileri olarak belirlenmiştir. Yeşil lojistik yönetimi değerlendirme sonuçları için çalışma da 5 anket sorusu paylaşılmıştır. Bu anket sonuçları ışığında tedarikçilerin yeşil tedarikçi ve yeşil tedarik zinciri prensiplerine uyumları sınanmıştır ve uzman görüşleri olarak tedarikçi seçim çalışmasına dahil edilmiştir. Kalite yeterlilikleri, mühendislik yetkinlikleri, yeşil lojistik yönetimi, maliyet performansları ve yönetim stratejileri olarak belirlenen farklı uzman görüşleri alınmıştır. Bu uzman görüşleri dikkate alınarak kriterlere SWARA kriter ağırlık analizi uygulanmıştır. Tedarik seçimi yöntemi olarak Electre yöntemi seçilmiştir. Sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tedarikçi seçimi, yeşil tedarikçi seçimi, Electre yöntemi, SWARA kriter ağırlık analizi, performans değerlendirme

## Supplier Selection in the Automotive Sector with the Electre Method: An Application for Green Supplier Selection

### Abstract

In this study; the performance evaluation results of suppliers that are active in automotive sector were examined. Each supplier has been examined and evaluated on different 5 main criteria. These criterias are quality competencies, engineering competencies, green logistic management, cost performance and management strategies. For the green logistic management evaluation results 5 question were addressed in survey. Different expert opinions were taken into considerations which were determined as quality competencies, engineering competencies, green logistic management, cost performance and management strategies. SWARA criteria weighted assessment was applied in order to weight each criterion. Electre methodology has been chosen as the supplier selection method.

**Keywords:** Supplier selection, green supplier selection, Electre methodology, SWARA criteria weighted assessment, performance evaluation.

\* Sorumlu Yazar: [hikmeterbiyik53@gmail.com](mailto:hikmeterbiyik53@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzün hızla değişen, git gide zorlaşan hayat ve çalışma koşulları, insanları, kurum, kuruluş ya da işletmeleri sürekli olarak "iyi" ve "başarılı" karar vermeye itmektedir. Ayakta kalabilmek, rekabet avantajı kazanmak ve bunu sürdürmek için sağlıklı karar verme bir gereklilik olmaktadır. Kişilerin, yöneticilerin, kurum, kuruluş ya da işletmelerin en temel görevleri farklı konularda kararlar vermektir. Geleneksel olarak bir karara ulaşılrken, karar süreci ile ilgili veriler toplanır ve sezgisel olarak o anki koşullar ve faktörler dikkate alınıp analiz edilerek sonuca varılır. Ancak artık birçok durumda başarılı kararlar verebilmek için alternatif davranış yolları bilimsel karar verme tekniklerinin desteği ile değerlendirilmektedir.

Karar vericiye bu tür problemlerin üstesinden gelmede - onun kişisel değer yargılarından da faydalanarak- yardımcı olan bilimsel teoriler ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Daha önceki dönemlerde kararlar; tecrübeler, sezgilere ve sınırlı bilgilere dayandırılarak verilirdi. Fakat zaman içerisinde artan rekabet, maliyet ve ilişkilerin karmaşıklaşması vb. nedenlerden dolayı rasyonel karar almak için tecrübeler, sezgiler, ve sınırlı bilgilerin yanı sıra karar sürecinin analitik olarak da değerlendirilmesi gerekir. Modern ve analitik karar destek yöntemlerini kullanan organizasyonlar, giderek kompleks bir hal alan iş ortamında önemli bir rekabet avantajı kazanmaktadırlar. Yönetim bilimi literatüründe son yıllarda giderek artan bir ilgi ile Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) alanı, bir karar durumu ile ilgili olarak birbiri ile çatışan birden fazla kriteri uzlaştıran mümkün olan "en iyi /uygun" çözüme ulaşmaya çalışan yaklaşım ve yöntemlerin bütünüdür. Genel olarak kara vermede sürecin aşamaları;

- Amaç belirleme ve sorunun tanımlanması,
- Amaç ve sorunları irdeleme, öncelik belirleme,
- Alternatif belirleme,
- Alternatifleri belirleme,
- Alternatifleri irdeleme ve değerlendirme,
- Seçim kriterlerini belirleme ve seçim yapma şeklinde sıralanabilir.

Karar, mevcut en az iki alternatif arasından seçim yapılmasıdır. Herhangi bir karar eylemi için gerekli olan elemanlar aşağıdaki gibidir.

1. Karar Verici: Mevcut seçenekler arasından seçim yapan kişi yada grup
2. Amaç: Karar verici ve vericilerin faaliyetleri ile ulaşılabilecek amaçlardır.
3. Karar Kriterleri: Karar verici/ vericilerin seçimini oluşturmada kullanacağı değerler sistemidir.
4. Seçenekler: Karar verici/ vericilerin seçebileceği alternatifler olup, kontrol edilebilir değişkenlerdir.
5. Olaylar: Kontrol edilemeyen değişkenler olup, karar verici/ vericilerin seçimlerini etkileyen çevre şartlarıdır.
6. Sonuç: Her bir seçenek ve olaydan ortaya çıkan değeri yansıtır.

Bu çalışma; bir ÇKKV problemi olarak ele alınmış bir tedarikçi seçim sürecini anlatmaktadır. Literatürde sıkça kullanılan yöntemlerden bir olarak tedarikçi seçim probleminin analizinde Electre yöntemi kullanılmıştır. Beş farklı uzman görüşü dikkate alınarak 3 farklı tedarikçinin performans değerlendirme sonuçları alınmıştır. Bu uzman görüşleri 3 farklı tedarikçi için 5 farklı ana kriterde değerlendirilmiştir. Uzman görüşleri alınırken anket metoduna başvurulmuştur. Bu ana kriterler; kalite, mühendislik yetkinlikleri, yeşil lojistik, maliyet ve yönetim olarak dikkate alınmıştır. Makalede özellikle yeşil lojistik anket soruları ve değerlendirme metodolojisi detaylandırılmıştır. Günümüzde oldukça dikkat çeken ve giderek önemi anlaşılan bir konu olarak yeşil tedarikçi seçimine bir örnek olması açısından bu anket detayının irdelenmesi oldukça yararlı bir noktaya parmak basacaktır. Her bir kriter kendi içerisinde uzman değerlendirmeleri ışığında SWARA metodu ile ağırlıklandırılmış ve Electre yöntemi için girdi oluşturmuştur.

## 2. Literatür Taraması

Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2011) yılında; bir işletme için dizüstü bilgisayar seçimi probleminde ELECTRE ve Bulanık AHP Yöntemlerini kullanmıştır. İşletmelerde karar vermeye yardımcı olmak için ELECTRE ve Bulanık AHP yöntemlerine göre bilgisayar seçimi yapılmak istendiğinde önem derecesine göre marka güvenilirliği, işlemci hızı, fiyat, sistem belleği, ekran kartı, ağırlık, pil ömrü ve sabit disk kapasitesi önceliklerine göre tercih yapılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

Atıcı ve Ulucan (2009) yılında yaptıkları araştırmada; Türkiye enerji sektörü kapsamında karar analizi yöntemlerinin kullanılmasına yönelik iki adet uygulama yapmıştır. Birinciuygulama, çeşitli hidroelektrik santral projelerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmadır. İkinci uygulama da seçilen rüzgar santrali projeleri değerlendirilmesine yöneliktir. Projeler çeşitli kriterlere bağlı olarak ELECTRE ve PROMETHEE çok kriterli karar verme yöntemlerini uygulayarak sıralanmaktadır.

Eryürek ve Tanyaş (2003) yılında, basit toplamli ağırlıklandırma ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak hata analizi tanımlamışlardır ve hata analizinin karar verme bölümü daha objektif hale getirilmiştir.

Karacasu, (2006) yılında yaptığı çalışmasında, kent içi toplu taşıma yatırımlarının değerlendirilmesinde karar destek modelinde ELECTRE ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi için karar destek modelini ELECTRE yöntemi ile oluşturmuş ve sonuçlar ortaya konulmuştur. Çıkan sonuçlara göre kullanıcılar ve işletmeciler özel halk otobüslerini, uzmanlar ise kamu otobüslerini tercih etmişlerdir.

Soner ve Önüt, (2006) yılında yaptıkları araştırmada, nitel ve nicel kriterleri dikkate alarak en uygun tedarikçinin seçimi amaçlamıştır. Tedarikçileri değerlendirmesinde iş kapsamındaki iş masrafları, ortalama fırsat maliyetleri, mesafe, uzaklık, ömür, hayat döngüsü, teknoloji odaklılık, teknoloji kullanımı, hız, verimlilik, kalite gibi kriterlerin öncelikli olduğu tespit edilmiştir.

Yürekli, (2008) yılında taarruz helikopterleri seçiminde ELECTRE yöntemini kullanmıştır. Çalışmada belirlenen kriterlere göre 6 ayrı alternatif arasından, Türk Silahlı Kuvvetlerinin ihtiyacını karşılayacak en uygun taarruz helikopterinin bu metotla seçilmiştir (Yürekli, 2008; Akyüz ve Soba, 2013).

Çağıl (2008) yılında yaptığı çalışmada, Türk Bankacılık Sektöründe 2006-2010 dönemlerine ait kamu ve özel sermayeli mevduat bankaları ile Türkiye’de kurulan yabancı sermayeli bankalarda finansal performans analizini her bir yıl için ELECTRE yöntemi kullanarak yapmayı hedeflemiştir. Bankaların performanslarının sıralaması değerlendirildiğinde ise kriz dönemlerinde bazı bankalar için sıralama sapması yaşandığı saptanmıştır.

Bai ve Sarkis (2010) yılında üç ana nitelik arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Kurumsal nitelik, tedarikçi geliştirme programlarının niteliği ve performans çıktıları gibi üç ana ilişkiyi incelemek için sıkı küme teorisini kullanmışlardır.

Blome ve diğerleri (2014) yılında yeşil tedarikçi geliştirme sonuçları olarak üst yönetim desteği ve firma performansı değerlendirmesinde karşıt görüşleri beraber değerlendirmişlerdir. Dou ve diğerleri (2014) yılında yaptıkları çalışmada, bulanık AHP yöntemi ile Çin’de sulama ekipmanları sektöründe lider konumunda bulunan bir işletme olarak tedarikçilerinin çevresel performanslarının gelişmesine etki sağlayacak programları belirlemişlerdir.

Fu ve diğerleri (2007) yılında yeşil tedarikçi geliştirme programlarını değerlendirmek amacıyla telekomünikasyon hizmet sağlayıcılarına gri tabanlı DEMATEL yöntemini uygulamışlardır.

Tunçel, Belbağ ve Çimen (2017) yılında yaptıkları çalışmada, otomobil markalarının çeşitli satın alma kriterlerine bağlı olarak sıralanmasını yapabilmek için bulanık mantık içeren ÇKKV yöntemlerinden Bulanık ELECTRE I yöntemini kullanmıştır. Sonuçların karşılaştırılmasına yönelik markaların sıralaması, geleneksel ağırlıklı ortalama yöntemi uygulanarak da elde edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı geleneksel ağırlıklı ortalama sıralaması ile yapılmış sıralama ile Bulanık ELECTRE yöntemi ile yapılmış sıralamanın karşılaştırılmasıdır.

Wang ve diğerlerinin yaptıkları çalışma (2020) kapsamındaki ampirik-deneye dayalı sonuçlar, dahili KSS'nin (kurumsal sosyal sorumluluk)(çalışanlara yönelik yönetim uygulaması) ve dış KSS'nin (dış paydaşlara yönelik yönetim uygulaması) yeşil tedarik zinciri yönetimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY), işletme performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ve büyük veri analitiği yeteneği, dış KSS ile yeşil tedarik zinciri yönetimi arasındaki ilişki üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma da teorik katkılar ve pratik çıkarımlar da tartışılmıştır.

RezaHoseini ve diğerlerinin makale çalışmasında, önerilen yeşil tedarik zincirinde tedarikçi seçimi ile proje planlama ve çözelgeleme arasındaki sinerjiyi tartışılmıştır. Çalışmada ayrıca inşaat sektöründe gerçek bir operasyonel zorluk haline gelen

tedarikçi seçiminin dengelenmesi, filo tipinin seçilmesi ve proje zaman planlaması konuları da proje gecikmelerini en aza indirerek lojistik maliyetler ve sera gazlarının yayılması da en aza indirilebildiğini belirtilmiştir. Ayrıca, sonuçları daha gerçekçi hale getirmek için üretim kapasitesi ve maliyetleri, karamsar, normal ve iyimser olmak üzere üç ekonomik koşul altında belirsiz (bulanık-olasılıklı) bir ortamda değerlendirilmiştir.

Lamba ve Thareja (2020)’ nin çalışmasında, YTZY ‘nin yavaş uygulanmasından sorumlu olan engeller, sorunlar tartışılmıştır. Ayrıca, TOPSIS yönteminin yardımı ile bu engelleri doğrulamak ve sıralamak için bir girişimde bulunulmuştur. Çalışmada, Hindistan bağlamında YTZY 'nin yavaş uygulanmasına neden olan en çok etkilenen engelin hükümet politikaları ve düzenlemeleri olduğu sonucuna varılmıştır.

Mojumder ve Singh (2021) çalışmasında, literatürde yeşil tedarik zinciri uygulamalarının benimsenmesi için çeşitli itici güçler, kolaylaştırıcılar ve engeller rapor edilmiştir. Bu yöndeki gerçekler ışığında, mevcut araştırma çalışmasının temel amacı, yeşil tedarik zinciri uygulamalarının çeşitli kategorilerdeki Hint inşaat şirketleri tarafından uyarlanabilirliğini araştırmak ve ardından ölçütlerin, kolaylaştırıcıların ve engellerin inşaat endüstrisinin hazırlığı ile ilişkisini belirlemek olmuştur. Çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemini kullanılarak önceliklendirme yapılmıştır. Değerlendirme ölçütlerinin, etkinleştiricilerin ve engellerin öncelikli yapısı da AHS yöntemini kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuçlar kurumsal teorinin, karmaşıklık teorisinin, ekolojik modernizasyon teorisinin, kaynak temelli görüşün ve kaynak bağımlılığı teorisinin olumlu yönde desteklendiğini göstermiştir.

### 3.Tedarikçi Seçimi

#### 3.1. Tedarikçi Seçiminde Yöntemler

Günümüzde tedarikçi seçimi başarılı projelerin ve başarılı satın alma süreçlerinin temeli olarak kabul edilmektedir. Doğru karar verilmiş bir tedarikçi seçimi ile şirketler pazarda kendilerinin maksimum rekabetçilik ve kazanç minimum kalitesizlik ve maliyet üstünlüğü kazandırmaktadır.

Kalite, maliyet, transfer, garanti, teknik özellikler ve fiyat gibi faktörler tedarikçi performansını birebir etkilemektedir. Açıklamada belirtildiği üzere tedarikçi seçimi, aralarında çelişki bulunan, sayılabilen ve değerlendirilebilen faktörler ve sayılamayan ve değerlendirilemeyen faktörlerin denge içerisinde olmasını amaçlayan çok ölçütlü bir karar problemi olarak tanımlanabilir. Sürekli yenilenen rekabet koşulları ve gelişimine devam eden pazar ve teknolojiyle birlikte seçim yapılacak olan tedarikçi sayısında artış görülmektedir. Bu durum seçim işlemini zorlaştırmaktadır. Firmalar belirledikleri ölçütlere göre tedarikçilerin performans verilerini oluşturmaktadır ve bu verileri dikkate alarak karar modelleri yardımıyla değerlendirme yapmaktadır. Amaç birçok ölçütü aynı anda maksimum seviyede karşılayabilen tedarikçiyi bulabilmektir. Temelde iki farklı tedarikçi seçim problemine rastlanılmaktadır.

Tedarikçi seçimi, genel olarak iki gruba ayrılabilir. Bunlar çalışılan tedarikçi durumuna göre tek ve çok kaynaklı

tedarikçiyle çalışma olarak ifade edilebilir. İşletmeler belirli dönemlerde ve durumlarda tedarikçileriyle uzun süreli anlaşmalar yaparak sürekli aynı tedarikçiyle çalışmayı tercih edebilir. İşte yapılan bu tarz çalışma tek kaynaklı çalışma olarak tanımlanabilir.

Tek bir tedarikçiyle çalışmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Uzun süreli ve yüksek hacimde devam eden ilişkilerin müşteri ile tedarikçi arasındaki bağı ve ilişkiyi güçlendirmesi,
- Aynı sorumluluk ve teyitleri tüm ürün partilerinde sağlanıyor olması,
- Malzeme farklılığının azalması,
- Satın alma hacmi arttığı durumlarda indirim imkanının ortaya çıkması
- Müşteri ve tedarikçi arasındaki uzun soluklu ilişkinin iletişimi hızlı ve verimli hale getirmesi.

Birden fazla tedarikçi ile çalışmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Piyasayı daha iyi analiz etmek ve rekabetçilikten maksimum düzeyde yararlanabilmek
- Tedarikçiler arasındaki rekabetten faydalanarak fiyat avantajı sağlamak,
- Sadece tek bir tedarikçiye bağımlı olmamak ve olumsuz bir durumda diğer tedarikçi ile iletişime geçebilmeye imkân sağlamak,
- Birden çok miktarda ve farklılıkta talebe minimum sürede yanıt verebilme imkânı sağlamak.

Literatürde tedarikçi seçimi problemlerinde aktif olarak kullanılabilen birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır (Zeger. Et al., 1999; Luitzen ve Eva, 2001 ve tedarik zinciri seçim odaklı literatürden derlenmiştir) Bunlardan bazıları;

(i) *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)*; Tüm kriterler ile göreceli önem derecelerinin belirlenmesinde karar vericinin görüşlerine ihtiyaç duyan bir tekniktir.

(ii) *Analitik Ağ Süreci (AAS)*; AHS 'nin geliştirilmiş halidir. Bu gelişim AHS 'nin hiyerarşik yapılanma gerekliliğinden kurtulmak amaçlı yapılmıştır.

(iii) *VİKOR (Vİse Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) Yöntemi*; Alternatifleri arasından birden fazla sayıda ve aynı anda uygulanabilen kriterlere bağlı olarak en iyi tercihin seçilmesine imkân sağlayan araçtır.

(iv) *TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) Yöntemi*; Alternatifler arasından en iyi seçimin yapılmasına imkan sağlayan tekniktir. Optimal alternatife olan uzaklığın değerlendirilmesi mantığı üzerine kuruludur.

(v) *ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) Yöntemi*; Kriterler için alternatifler arasındaki ikili üstünlük karşılaştırmalarına dayanmaktadır.

(vi) *PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod fo rEnrichment of Evaluations) Yöntemi*; Mevcut ÇKKV yöntemlerinin uygulamadaki zorluklarından yola çıkarak ortaya atılmış bir önceliklendirme yöntemidir.

(vii) *Veri Zarflama Analizi*; Benzer yapıdaki karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini ölçmeyi amaçlayan doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir ölçme yöntemidir.

e-ISSN: 2148-2683

(viii) *Gri İlişkisel Analiz*; Karar analizlerinde belirsizliğin sayısallaştırılmasında kullanılan alternatif yöntemdir.

(ix) *MOORA (Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis) Yöntemi*; Ayrık alternatiflerle çok amaçlı optimizasyon için önerilmiştir.

(x) *MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) Yöntemi*; Karar vericilerin kalitatif yargılardan yola çıkarak bir kantitatif karar verme tekniği oluşturma amacıyla ortaya çıkmıştır.

(xi) *UTA (UTilités Additives) Yöntemi*; Karar vericinin tercihleri ile uyumlu optimal fayda fonksiyonları elde etmek için lineer programlama yöntemlerini kullanmaktadır.

(xii) *STEM (Step Method) Yöntemi*; Karar vericinin amaç fonksiyonlarının göreceli önem dereceleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı durumlarda kolayca kullanılabilir. (xiii) *PAPRIKA (Potentially All Pairwise Rankings of All Possible Alternatives) Yöntemi*; Kriterlere ve öz niteliklere göre belirlenmiş ağırlık değerleri hesaplanarak, derecelendirme, alternatifler arasında seçim yapma ya da önceliklendirme konusundaki karar problemlerinin çözümünde kullanılır.

**3.2. Yeşil Tedarikçi Seçimi Değerlendirme ve Yöntemler**

### 3.2. Yeşil Tedarikçi Seçimi Değerlendirme ve Yöntemler

Yeşil Tedarik Zinciri yönetimi sayesinde kaynak kullanımında tasarruf, nihai ürünlerde değer artışı, geri dönüşüm ile enerji tasarrufu gibi kazanımların elde edilebileceği araştırmacılar tarafından savunulmaktadır. Rekabet ortamının sürekli olarak artması, işletmeleri kendilerine en çok fayda sağlayacak tedarikçiler ile çalışmaya zorlamaktadır. Tedarikçilerin veya işletme içi bazı üretim seçeneklerinin değiştirilmesi gibi seçeneklerin yanında tedarikçi performansının geliştirilmesi gibi farklı alternatif yöntemler de değerlendirilmektedir. Tedarikçi geliştirme, işletmeye fayda sağlayacak tedarikçileri tanımlamak, sisteme daha iyi entegre etmek, etkinliklerini artırmak ve geliştirmek için harcanan çabaları ortaya koymaktadır. Bu sayede düşük maliyet, güvenilir ve hızlı teslimat, müşteri memnuniyeti, yüksek kalite, esneklik, kaliteli hizmet, kısa ürün hayat çevrimi, operasyonlarda verimlilik gibi performans temelli bazı yararlar elde edilebilmektedir.

Son yıllarda yüksek kalitede hizmet verebilmek, çevresel standartlara uyum sağlayabilmek ve yeşil performanslarını artırabilmek maksadıyla işletmeler tedarikçi geliştirme programlarını uygulamaktadırlar. Literatürde ise yeşil tedarikçi geliştirme üzerine yapılan ve işletmelere yardımcı olabilecek nitelikte çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Literatürde sıkça kullanılan yeşil tedarikçi değerlendirme kriterleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1: Yeşil Tedarikçi Değerlendirme Kriterleri

Yazarlar	Kriter
Humpreys ve diğerleri (2003)	Çevre kirliliği, Üst yönetim desteği, Yeşil imaj, Çevresel yetkinlikler
Curkovic ve diğerleri (2005) Christian (2007).	Çevresel ölçütler, ISO 14000, Çevresel yetkinlikler, Çevresel Planlama, çevresel yönetim sistemi, Çevresel performans



Büyüközkan ve Çiftçi (2012)	Tedarikçi kalitesi, Maliyet, Teslimat zamanı, Esneklik, Yeşil lojistik, Yeşil operasyonlar
Shen ve diğerleri (2013)	Kaynak tüketimi, Çevresel üretim, Yeşil tasarım, Yeşil imaj, Çevresel yönetim sistemi, Üst yönetim taahhüdü, Çevre dostu teknoloji, malzeme kullanımı, çalışanların çevresel eğitimi.
Govindan ve diğerleri (2014)	Yeşil Tedarik Zinciri, Analitik Hiyerarşi Süreci, Değerlendirme Ölçütleri, Yeşil üretim, Kaynak kullanım
Wang ve diğerleri (2020)	Kurumsal sosyal sorumluluk, dış paydaşlar, Yeşil tedarik zinciri yönetimi, büyük veri analitiği
Lamba ve Thareja (2020)	Yeşil tedarik zinciri yönetimi, TOPSIS yöntemi, hükümet politikaları ve düzenlemeleri
Mojumder ve Singh (2021)	Yeşil Tedarik Zinciri etkenleri ve engelleri, AHP metodolojisi kullanılarak önceliklendirme, değerlendirme kriterleri, inşaat sektörü
RezaHoseini ve diğerleri (2021)	Yeşiltedarik zinciri, tedarikçi seçimi ile proje planlama ve çizelgeleme arasındaki sinerji, tedarikçi seçiminin dengelenmesi, filo tipinin seçilmesi ve proje zaman planlaması, proje gecikmeleri lojistik maliyetler; sera gazlarının yayılması

Zaidve diğerlerinin 2018'de yaptıkları çalışma, yeşil insan kaynakları yönetimi paketi uygulamaları ile yeşil tedarik zinciri yönetimi (yani harici ve dahili uygulamalar) arasındaki bağlantıyı ve bunların üç alt sürdürülebilirlik performansı (yani çevresel, sosyal ve ekonomik performans) üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Filistin'de en kirletici üretim sektörlerinde (yani gıda, kimya ve ilaç sektörlerinde) faaliyet gösteren 121 firmanın katıldığı özelleştirilmiş bir anketten verilerin toplandığı nicel bir yöntem uygulanmıştır.

Li ve Huang (2017) yaptıkları çalışmada, ilişkisel bağı potansiyel bir moderatör olarak belirlemeye çalışmakta ve yeşil tedarik zinciri uygulamaları, ilişkisel bağ ve yeşil inovasyon performansı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Sonuçlar, yeşil tedarik zinciri uygulamalarının ve ilişkisel bağın, yeşil inovasyon performansı ile olumlu bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir. İlişkisel bağ, yeşil tedarik zinciri uygulamaları ile yeşil inovasyon performansı arasındaki ilişkiyi yönetir. Bu

çalışma kapsamında, ilişkisel pazarlama literatürü ile yeşil yönetim literatürünü bütünleştirerek literatüre katkı sağlamıştır. Bu çalışma, aynı zamanda, yeşil tedarik zinciri yönetiminde ilişkisel bağın temel rolü için pratik çıkarımlara olanak sağlamıştır.

Liu ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada (2020), Sürdürülebilir bir Yeşil kapalı döngü tedarik zinciri paradigmasını biçimlendirmek için karbon sınır politikası, çevresel kısıtlamalar açısından karbon emisyonlarını kontrol etmek için benimsenmiştir. Ayrıca, önerilen modelin izlenebilir karşılığı, dağılımsal olarak sağlam güvenilirlik hedefi ve kısıtlamaların belirsiz parametrenin belirsiz dağılımı altında eşdeğer formlarına dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Önerilen modelin avantajı, dağıtım belirsizliği içermeyen ve çevresel kısıtlama sorunu olmayan karşılaştırmalı çalışma ile gösterilmiştir.

## 4. Materyal ve Metot

### 4.1. Electre I Metodolojisi

**Adım 1:**Öncelikle karar matrisi (A) oluşturulmaktadır. Karar matrisinin satırlarında üstünlükler açısından sıralanması istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılması istenen değerlendirme faktörleri bulunmaktadır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir.

**Adım 2:**Normalize karar matrisi (X) oluşturulmaktadır. Maliyet ve fayda kriterleri için farklı formüller kullanılmaktadır.

**Adım 3:**Ağırlıklandırılmışnormalize matris elde edilmektedir. Karar verici öncelikle değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını  $W_j$  olarak belirlemelidir.  $\sum_{j=1}^n W_j = 1$  eşitliği dikkate alınır. Normalize edilmiş matris kriterlerin ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmektedir.

**Adım 4:**Uyum ve uyumsuzluk kümelerinin oluşturulması gerekmektedir. Uyum ve uyumsuzluk kümeleri oluşturulur. Her ikili alternatif karşılaştırılması için kriterler iki farklı kümeye ayrılır.  $A_p$  ve  $A_q$  ( $1, 2, \dots, m$  ve  $p \neq q$ ) uyum kümesinde AP alternatifi  $A_q$ 'ya tercih edilmektedir. AP eğer  $A_q$ 'dan daha kötü bir alternatif ise uyumsuzluk kümesi oluşturulur.

**Adım 5:**Uyum ve uyumsuzluk indeksleri hesaplanmaktadır. Uyum matrisinin (C) oluşturulması için uyum setlerinden yararlanılır. Uyum kümesi  $C(p, q)$  'da yer alan faktörlerdir. Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanları ise aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır. Uyumsuzluk kümesi  $D(p, q)$ 'da yer alan faktörlerdir.

**Adım 6:**Üstünlük karşılaştırılması yapılmaktadır. C v D değerlerinin ortalamaları  $C^*$  ve  $D^*$  değerleri olarak hesaplanır. Eğer  $C_{pq} \geq C^*$  ve  $D_{pq} \leq D^*$  ise  $AP \rightarrow A_q$ 'dir. Yani p birim q birime göre üstündür denilebilir.

**Adım 7:**Son olarak net uyum ve uyumsuzluk indeksleri hesaplanmaktadır.  $C_p$  'ler büyükten küçüğe  $D_p$  'ler küçükten büyüğe sıralanır. Böylece sıralama elde edilmiş olur.

## 5. Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Tedarikçi Adayları ile Tedarikçi Seçimi Uygulaması

### 5.1. Yeşil Tedarik Zinciri Kriterinin Anket Yöntemi ile Oluşturulması

Bilimsel araştırmaların kalitesi, büyük oranda kullanılan yöntemin tutarlılığına bağlıdır. Bu çalışmanın uygulama alanı ve sonuçlarının daha tutarlı ve gerçekçi olabilmesi için 5 sorudan oluşan bir anket 3 farklı tedarikçinin lojistik ve yeşil lojistik uygulamalarında uzman onbeş kişiye ulaştırılmıştır. Uzmanlardan aşağıda Tablo 5 olarak verilmiş soruları 1'den 5'e kadar puanlamaları istenmektedir.

Değerlendirme ölçütleri ilk 4 soru için aşağıdaki Tablo 2 'de verilmiştir. Son soru için değerlendirme ölçütü puan cinsinden Tablo 3'te verilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında; uzman ekiplerin her bir soruya vermiş olduğu cevaplar her bir tedarikçi için analiz edilmiştir. Her bir soru için belirlenmiş ortalama değerler her bir sorunun tedarikçi yeşil lojistik değeri için aynı ağırlıkta olduğu farz edilerek tekrar aritmetik ortalama hesaplamasına tabii olmuştur. Tablo 4'te nihai yeşil lojistik değerleri tedarikçi bazında paylaşılmıştır.

Tablo 2. Yeşil tedarikçi seçimi için yeşil lojistik kriterleri anket soruları- Değerlendirme Ölçütü

Anket soruları	Puan
Soru 1: Sizde ve alt tedarikçilerinizde üretim esnasında oluşan atıkları geri topluyor ve yeniden kazandırıyor musunuz?	
Soru 2: Paketleme sisteminiz yeşil paketlemeye (birden çok kullanım, doğa dostu paketler vs) uygun mudur?	
Soru 3: Yeşil dağıtım kriterlerine uygun çalışıyor musunuz? (Tekrar tekrar kullanılabilen dağıtım gereçleri, kasalar, konteynrlar vs.)	
Soru 4: Alt tedarikçilerinizin size parça temin ettikleri noktalarda geri çağırma stratejisinde tersine tedarik zinciri oluşturuyor musunuz?	
Soru 5: Tersine lojistik ağıncınızı son halkası aşağıdakilerden hangisidir? -Gömme -Geridönüştürme -Yenidenüretme -Yenidenkullanma -Bertaraf etme	

Tablo 5. Yeşil tedarikçi seçimi için yeşil lojistik kriterleri anket soruları

Puan	Değerlendirme Ölçütü
1	Hiçbir zaman
2	Nadiren
3	Genellikle
4	Sık sık
5	Her zaman

Tablo 3. Yeşil tedarikçi seçimi için yeşil lojistik kriterleri anket soruları- Son Süreç Tanımı

Puan	Son Süreç Tanımı
1	Gömme
2	Geri dönüştürme
3	Yeniden üretme
4	Yeniden kullanma
5	Bertaraf etme

Tablo 4. Tedarikçi özelinde yeşil lojistik değerlendirme sonuçları

	Yeşil Lojistik Değerlendirme Sonuçları
Tedarikçi 1	3,26
Tedarikçi 2	2,95
Tedarikçi 3	3,94

Tablo 6: Kriter son ağırlık matrisi

		Karar Verici 1	Karar Verici 2	Karar Verici 3	Karar Verici 4	Kriter Ağırlık Ortalaması	Ağırlıklı Kriter Sıralama
<b>Kriter 1</b>	<b>Kalite</b>	0,269	0,141	0,179	0,165	0,188	4
<b>Kriter 2</b>	<b>Maliyet</b>	0,306	0,221	0,156	0,218	0,225	1
<b>Kriter 3</b>	<b>Mühendislik</b>	0,129	0,298	0,282	0,157	0,216	2
<b>Kriter 4</b>	<b>Yeşil Lojistik</b>	0,174	0,148	0,268	0,189	0,195	3
<b>Kriter 5</b>	<b>Yönetim</b>	0,123	0,192	0,115	0,272	0,175	5

## 5.2. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Araştırma kapsamında yapılan bu çalışmada, SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis- Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) ile belirlenen kriterlerin uzman kişiler tarafından ne ölçek ile ağırlıklandırıldığı incelenmiştir. SWARA yöntemi, karar vericiye önceliklerini seçme olanağı veren uzman odaklı bir yöntem olarak görülmektedir. Bu yöntemin temel özelliği, kriter ağırlıklarının belirlenmesi adımında kriterlerin önem oranlarına bağlı uzman görüşlerini tahmin edebilme yeteneğidir.

Bu çalışmada; uzman yetkinliğine sahip karar vericilere belirlenen 5 kriter arasından önem düzeyi en yüksek olandan başlayarak en düşük olana doğru sıralama yapması istenmiştir. Her bir karar vericinin sıralı önem dereceleri saptanmıştır. Tablo 'da karar verici 1'e ait önem sırası listesi verilmiştir. 5 farklı karar vericinin önem sırası uzman görüşleri için SWARA yöntemi uygulanmıştır. Tüm karar vericilerin görüşlerini içeren kriter son ağırlık matrisleri oluşturulur. Tablo 6'de uygulama için hesaplanmış kriter son ağırlık matrisi verilmiştir.

## 6. ELECTRE I Uygulanmasının Sonuçları ve Tartışma

İzlenecek adımlar şu şekildedir;

Birinci adım olarak; toplam karar matrisi oluşturulur.

Tablo 7. Toplam karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
	Kalite	Maliyet	Mühendislik	Yeşil Lojistik	Yönetim
<b>W</b>	<b>0,188</b>	<b>0,225</b>	<b>0,216</b>	<b>0,195</b>	<b>0,175</b>
<b>T1</b>	4,68	4,21	3,68	3,26	3,33
<b>T2</b>	3,29	3,89	4,22	2,95	4,31
<b>T3</b>	3,24	3,52	3,46	3,94	4,95

İkinci ve üçüncü adım olarak; standard karar matrisi ve ardından ağırlıklandırılmış standard karar matrisi oluşturulur.

Tablo 8. Ağırlıklı standard karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
	Kalite	Maliyet	Mühendislik	Yeşil Lojistik	Yönetim
<b>W</b>	0,188	0,224	0,216	0,194	0,175
<b>T1</b>	0,134	0,060	0,120	0,107	0,079
<b>T2</b>	0,094	0,065	0,138	0,097	0,102
<b>T3</b>	0,092	0,060	0,099	0,125	0,126

## 7. Sonuç

Endüstrinin sürekli gelişimi ciddi çevresel zararlara neden olmuş ve bu nedenle çevre koruma kavramı tedarik zincirine dahil edilmiş ve böylece olağanüstü çevresel başarı elde edilmiştir

Dördüncü adım olarak; Tablo 9'da her bir sete ait hesaplanmış uyum ve uyumsuzluk katsayıları belirtilmiştir. Bu değerler doğrultusunda setlerin uyum matrisleri ve uyumsuzluk matrisleri hazırlanır.

Tablo 9. Uyum ve uyumsuzluk setleri

	Uyum seti		Uyumsuzluk seti
C12	1,4	D12	2, 3,5
C13	1,3	D13	2,4,5
C21	2,3,5	D21	1,4,2
C23	1,3,	D23	4,5
C31	2,4,5	D31	1,3
C32	2,4,5	D32	1, 3

Beşinci adım; uyum ve uyumsuzluk katsayılarının hesaplanmasıdır.

Tablo 10. Uyum ve uyumsuzluk katsayıları

	Uyum katsayısı	Uyumsuzluk katsayısı
C12/ D12	0,383	0,58
C13/ D13	0,405	1,00
C21/ D21	0,617	1,00
C23/ D23	0,405	0,71
C31/ D31	0,595	0,94
C32/ D32	0,595	0,87

Altıncı adım olarak; uyum ve uyumsuzluk katsayıları kullanılarak sırasıyla uyum matrisleri ve uyumsuzluk matrisleri oluşturulur. Bu matrisler ışığında; sırasıyla uyum üstünlük matrisleri ve uyumsuzluk üstünlük matrisleri oluşturulur. Son adım olarak tablo 11'de gösterildiği gibi toplam baskınlık matrisi oluşturulur.

Tablo 11. Toplam Baskınlık Matrisi

	T1	T2	T3
<b>T1</b>	-	0,000	0,000
<b>T2</b>	1,000	-	0,000
<b>T3</b>	1,000	1,000	-

Yapılan çalışmada ile otomotiv sektöründe faaliyet gösteren 3 farklı tedarikçinin performans değerlendirme sonuçları ışığında en etkin tedarikçileri sıralamak amaçlanmıştır. 5 farklı kriter ile tedarikçi seçimi probleminde çözümler aranmış ve ÇKKV yöntemi uygulaması yapılmıştır. Bu kriterler özelinde, uzman görüşleri dikkatle incelenmiş ve analizler yapılarak çalışmaya girdi oluşturulmuştur.

Yeşil inşaat tedarik zinciri, özellikle inşaat tedarik zincirinde tedarik zinciri temelleriyle ilgili olarak son zamanlarda tartışılan konulardan biri olup, yeşil satın alma, yeşil nakliye ve dağıtım, yeşil üretim ve yeşil inşaat faaliyetleri ve ürünlerin kullanım ömrü sonu yönetimi gibi çeşitli sürdürülebilir uygulamaları kullanarak çevresel sürdürülebilirliği geliştirme yönünde tedarik

zinciri yönetiminde kapsamında kullanılan bir unsurdur. İşletmelerin çoğu, dünyanın çevresel olarak sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak için tedarik zincirinde yeşil uygulamaları

Yapılan çalışmada ile otomotiv sektöründe faaliyet gösteren 3 farklı tedarikçinin performans değerlendirme sonuçları ışığında en etkin tedarikçileri sıralamak amaçlanmıştır. 5 farklı kriter ile tedarikçi seçimi problemine çözümler aranmış ve ÇKKV yöntemi uygulaması yapılmıştır. Bu kriterler; kalite, mühendislik, yeşil lojistik, maliyet ve yönetim olarak belirtilmiştir. Her bir kriter için farklı uzmanlara anketler yapılmış ve görüşleri tedarikçi karşılaştırma olarak alınmıştır. Yeşil lojistik kriterine ait anketler paylaşılmış. Yeşil lojistik araştırmaları ve çalışmalarına ışık tutması özellikle amaçlanmıştır. SWARA yöntemi kullanılmış ve notasyonları paylaşılmıştır. Bu tedarikçi seçimi problemi ELECTRE I uygulaması sonucunda; Tedarikçi 1'in hiçbir tedarikçiye baskın olmadığı, Tedarikçi 2'nin Tedarikçi 1'e baskın olduğu, Tedarikçi 3'ün ise hem Tedarikçi 1 hem de Tedarikçi 2'ye baskın olduğu saptanmıştır.

Çalışmanın amacı, ÇKKV yöntemi olan Electre yöntemi ile otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren 3 farklı tedarikçiye yönelik performans değerlendirme sonuçlarına bağlı olarak en etkin tedarikçileri sıralamasının belirlenmesidir. Belirlenen 5 farklı kriterlere yönelik tedarikçi seçimi probleminin çözümü ve ÇKKV yöntemi uygulaması gerçekleştirmiştir. Belirlenen bu kriterler; kalite, mühendislik, yeşil lojistik, maliyet ve yönetim olarak tespit edilmiştir. Tedarikçi seçimi problemi ELECTRE I uygulamasının sonucuna bağlı olarak Tedarikçi 1'in hiçbir tedarikçiye üstünlüğü olmadığı, Tedarikçi 2'nin Tedarikçi 1'e göre üstün olduğu, Tedarikçi 3'ün ise hem Tedarikçi 1 hem de Tedarikçi 2'ye üstün olduğu-baskın olduğu tespit edilmiş, anlaşılmıştır.

Yapılan araştırma sayesinde ELECTRE metodu kullanılarak karar verici ve araştırmacıların çok sayıda farklı nicel ve nitelikteki kriterleri, ölçütleri karar verme sürecine dahil edebilmektedir. Buna bağlı olarak belirlenen ölçütleri-kriterleri belirlenen hedefler doğrultusunda ağırlıklandırabildikleri ve ağırlıklar kapsamında en uygun seçeneği-alternatifi rahatlıkla tespit edebilmeleri sunulmuştur.

## 5. Teşekkür

Değerli bilgilerini bizim ile paylaşan ve çalışma kapsamımızda anket çalışmamıza katılarak katkı saylayan işletmeyektililerine, otomotiv sanayii çalışanlarına ve satın alma uzmanlarına teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Akpınar, N. (2003). Sürdürülebilir alan kullanım planlamasında alan kullanım tiplerine ait önceliklerin Simos Prosedürü ve ELECTRE I yöntemi ile belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 9(2), .234-242.
- Akyüz, Y. ve Soba, M. (2013). Electre yöntemiyle tekstil sektöründe optimal kuruluş yeri seçimi: Uşak ili örneği. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19), 185-198.

- Atıcı, K. ve Ulucan, A. (2009). Enerji projelerinin değerlendirilmesi sürecinde çok kriterli karar verme yaklaşımları ve Türkiye uygulamaları. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 161-186
- Bai, C. ve Sarkis, J. (2010). "Green Supplier Development: Analytical Evaluation Using Rough Set Theory", *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1200-1210.
- Blome, C., Hollos, D. ve Paulraj, A. (2014). "Green Procurement and Green Supplier Development: Antecedents and Effects On Supplier Performance", *International Journal of Production Research*, 52(1), 32-49.
- Büyüközkan ve Çiftçi (2012), A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers, *Expert Systems with Applications* 39(3), 3000-3011.
- Çağıl, G. (2011). 2008 Küresel kriz sürecinde Türk bankacılık sektörünün finansal performansının ELECTRE yönetimi ile analizi, *Maliye ve Finans Yazıları*, 1 (93), 59-86.
- Christian N. C. (2007). *Environmental Planning and Management*, Singapore, Imperial College Press.
- Curkovic, S., Sroufe, R. ve Melnyk, S. (2005). Identifying the Factors Which Affect the Decision to Attain ISO 14000, *Energy*, 30, 1387-1407.
- Dou, Y., Zhu, Q. ve Sarkis, J. (2014), "Evaluating Green Supplier Development Programs With A Grey-Analytical Network Process-Based Methodology", *European Journal of Operational Research*, 233(2), 420-431.
- Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2011). ELECTRE ve bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakülte Dergisi*, 25(2), 23-41.
- Eryürek, Ö. F. ve Tanyaş, M. (2003). Hata türü ve etkileri analizi yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı. *İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Dergisi*, 31-40.
- Fu, X., Zhu, Q. ve Sarkis, J. (2012), "Evaluating Green Supplier Development Programs At A Telecommunications Systems Provider", *International Journal of Production Economics*, 40, 357-367.
- Govindan, K., Kaliyana, M., Kannan, D. ve Haq, A.N. (2014). Barriers Analysis for Green supply chain management implementation in Indian industries using analytic Hierarchy process, *International Journal of Production Economics* 147, Part B, 555-568.
- Humphreys, P., Matthews, J. And Kumaraswamy, M. (2003). Pre-construction Project partnering: From adversarial to collaborative relationships, *Supply Chain Management* 8(2), 166-178.
- Karacasu, M. (2007). Kent içi toplu taşıma yatırımlarının değerlendirilmesinde karar destek modeli (ELECTRE Yöntemi) kullanımı. 7. Ulaştırma Kongresi, İstanbul.
- Lamba, N. ve Thareja, P. (2020). Developing the structural model based on analyzing the relationship between the barriers of Green supply chain management using TOPSIS approach. *Materials Today: Proceedings*.
- Li, Y.-H. ve Huang, J.-W. (2017). Themoderating role of relational bonding in green supply chain practices and performance. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 23(4), 290-299.
- Liu, Y., Ma, L., ve Liu, Y. (2020). A novelrobustfuzzymeans-UPM model for gren closed-loop supply chain network

- design under distribution ambiguity. *Applied Mathematical Modelling*, 92, 99-135.
- Luitzen de, B. ve Eva, L.(2001), A review of methods supporting supplier selection, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 75-89.
- Mojumder, A. ve Singh, A. (2021). An exploratory study of the adaptation of Green Supply Chain Management in Construction Industry: the case of Indian Construction Companies, *Journal of Cleaner Production*, 126, 400.
- Reza Hoseini, A., Noori, S. ve Ghannadpour, S.F. (2021). Integrated scheduling of suppliers and multi-project activities for Green construction supply chains under uncertainty, *Automation in Construction*, 122, February 2021, 103485.
- Soner, S. ve Önüt, S. (2006). Çok kriterli tedarik seçimi: bir ELECTRE – AHP uygulaması. *Sigma: Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 110–120.
- Tunçel, N., Belbağ, S. ve Çimen, M., (2017), Satın alma kriterleri açısından marka sıralama kararının verilmesinde bulanık Electre I yöntemi: Otomobil sektöründe bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 31 (5), 1069-1085.
- Türker, A. (1988). Çok ölçekli karar verme tekniklerinden ELECTRE. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 38(3), 72–87.
- Ulucan A, ve Atıcı K. (2009). Enerji projelerinin değerlendirilmesi sürecinde çok kriterli karar verme yaklaşımları ve Türkiye uygulamaları. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 161-186
- Yürekli, H. (2008). Taarruz helikopterleri seçiminde ELECTRE yönteminin kullanılması. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul.
- Wang, C., Zhang, Q. ve Zhang, W. (2020). Corporate social responsibility, Green supply chain management and firm performance: The moderating role of big-data analytics capability. *Research in Transportation Business & Management*, 100557.
- Zeger D., Eva, L. ve Filip, R.,(1999). An evaluation of vendor selection models from a total cost of owner ship perspective, *European Journal of Operational Research*, 125, 34-58.
- Zaid, A. A., Jaaron, A. A. M. ve Talib Bon, A. (2018). The impact of green human resource management and green supply chain management practices on sustainable performance: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 1-51



## Variable Stiffness Woven Fabrics with Curved Advanced Fibers

Muhsin Gökhan Günay<sup>1\*</sup>, Taner Timarcı<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8895-1710), [gmgunay@akdeniz.edu.tr](mailto:gmgunay@akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup> Trakya University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Edirne, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3966-7614), [tanert@trakya.edu.tr](mailto:tanert@trakya.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898542)

**ATIF/REFERENCE:** Günay, M.G., Timarcı, T. (2021). Variable Stiffness Woven Fabrics with Curved Advanced Fibers. *European Journal of Science and Technology*, (24), 430-435.

### Abstract

A novel method for production of variable stiffness woven fabrics with curved advanced fibers is presented. A scalable concept design is introduced. Several variable stiffness fabrics are woven by the prototype loom. The weaving process and woven fabrics are examined. Two distinct regions of the fabric which are showing different behaviors are observed. Based on the two regions identified the curved fibers of the woven fabric are simplified and modeled as a three-dimensional unit mesh. Geometry variation of the curved fibers and stiffness variation of the woven fabrics are discussed for these two distinct regions by using the developed model.

**Keywords:** Woven fabric, Curved fiber, Variable stiffness, Yarn geometry, Composite.

## Gelişmiş Eğrisel Fiberli Değişken Rijitlikli Dokunmuş Kumaşlar

### Öz

Bu çalışmada eğrisel gelişmiş ipliklere sahip değişken rijitlikli dokuma kumaşların üretimi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Ölçeklenebilir bir konsept tasarım tanıtılmıştır. Prototip dokuma tezgahı ile değişken rijitlikli kumaşlar dokunmuştur. Dokuma işlemi ve dokunan kumaşlar incelenmiştir. Kumaşlarda farklı davranışlar gösteren iki ayrı bölgenin olduğu gözlenmiştir. Belirlenen iki bölgeye dayanarak, dokuma kumaşın eğimli iplikleri basitleştirilmiş ve üç boyutlu birim yapı olarak modellenmiştir. Eğri ipliklerin geometri değişimi ve dokuma kumaşların rijitlik değişimi, geliştirilen model kullanılarak bu iki farklı bölge için tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dokuma kumaş, Eğrisel elyaf, Değişken rijitlik, İplik geometrisi, Kompozit.

\* Corresponding Author: [gmgunay@akdeniz.edu.tr](mailto:gmgunay@akdeniz.edu.tr)

## 1. Introduction

Composites reinforced by advanced fibers are widely used in practice, including the aerospace, automotive, sports and biomedical industry where the light weight and the high strength are important. The most of the advanced reinforcement fibers such as glass, carbon, and aramid have higher strength along its longitudinal axis relative to its transverse axis (Campbell, 2010). Conventionally composite structures are constructed as a stack of layers of the advanced fibers where fibers lay straight in their own plane. The mechanical properties of the composite structure can be controlled by changing the orientations the fibers in these layers. As fibers lay straight in their own plane, the stiffness of these layers depends only on the fiber orientations of each layer. The mechanical properties of the layered composite structures can be changed by varying the distance between fibers as Martin and Leissa (1990) expressed as well as by giving a curvilinear form to fibers in their own planes as Gürdal and Olmedo (1993) demonstrated in their article.

Theory of the variable stiffness plates and cylinders with curved fibers are vastly studied in the literature. One of the first studies on the topic can be counted as the works of Hyer et.al. (1991) where they used curvilinear fibers to increase buckling performance of a rectangular plate with a central hole. Gürdal et.al. (2008) also expressed that using curvilinear fibers on plate structures increases the buckling performance of the structure. Blom et.al. (2010) optimized composite cylinders under bending by tailoring stiffness properties in circumferential direction. The optimization of the path definitions of curved fibers to maximize fundamental eigenfrequency of conical shells is also investigated by Blom et.al. (2008). Zamani et.al. (2011) worked on thin-walled beams with bi-convex cross-section and utilized curvilinear fibers to optimize them. Recently, the authors of the present work, Günay and Timarcı presented a formulation for static analysis of thin walled composite beams with variable stiffness and thickness (Günay & Timarcı, 2017) and investigated their stress distributions along the hoop direction (Günay & Timarcı, 2019).

There are several methods in the literature such as Automated Tape Laying (ATL), Automated Fiber Placement (AFP), Tow Shearing, Tow Steering and Tailored Fiber Placement (August et.al., 2014; Brooks & Martins, 2018; Crothers et.al., 1997; Dirk et.al., 2012; Kim et.al., 2014; Smith & Grant, 2006; Zhang et.al., 2020) to construct the variable stiffness composite layers or structures with curved fibers. Each of these methods have its own working principle and advantages but generally the placement or stitching of the tows is realized directly on the surface of the composite part by using a robotic arm. Beside these methods Ashir et al. (2020) and Lenz et al. (2016) used open reed weaving technique to locally reinforce fabrics with advanced fibers where the orientation of the fibers can be tailored.

In this study a novel method to weave the variable stiffness fabrics having the curvilinear fibers is presented. A generic scalable concept design is proposed for the application of the method. Based on the concept design an automated prototype loom is constructed. Several variable stiffness fabrics are woven by use of this prototype loom. Three-dimensional geometry of the woven fabrics is investigated and modeled by using a unit mesh.

## 2. Concept Loom Design

On a conventional loom, which is also vastly used in composite industry, the fabrics are weaved by using a straight reed in which weft and warp yarns become perpendicular to each other. In the proposed method the working principle of a conventional loom is adopted to weave fabrics with curved fibers by using a curved reed instead of a conventional straight reed. The blades of the curved reed are moved forward or backward to follow a specific curved path so that the angle between the warp and weft yarns can be changed accordingly.

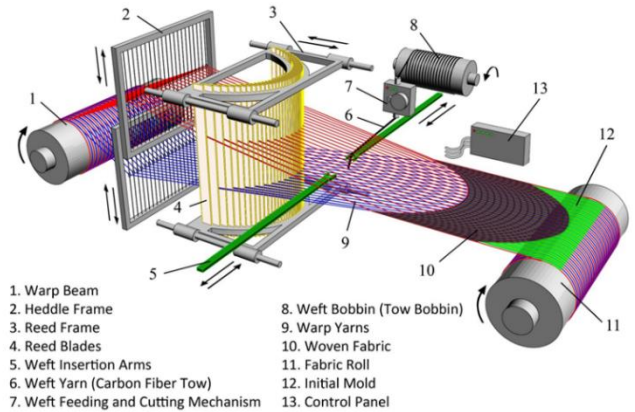


Fig.1. Main parts of concept loom.

The main components of the concept design of the proposed method and constructed prototype loom are presented in Fig.1 and Fig.2 respectively.

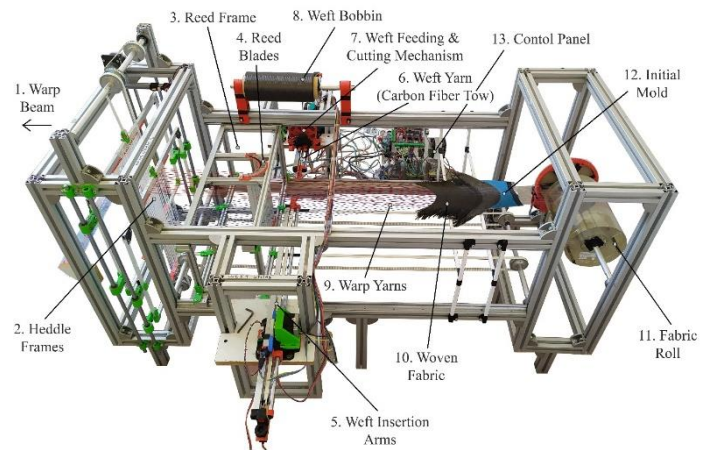


Fig. 2. Prototype loom.

The final curved shape of the weft yarns depends on the curved reed and the initial mold. The initial mold is prepared in a way to complement the curved reed by using the same curved path of the reed. The initial mold is actually a flexible plastic or cardboard plate placed between the warps yarns and fixed to them. It helps to give their curved shape to the weft yarns at the start of weaving. As the weft yarns get their curved shape, the angle between the weft and warp yarns varies along the width of the fabric. In the case of use of an advanced fiber which has a greater axial strength than its transverse strength (like carbon fiber, aramid fiber, glass fiber, etc.) as weft yarn, the woven fabric will have a variable stiffness depending on the curved path of the weft yarns.

In Fig.3 conventional straight reed, curved reed and initial mold is presented. As seen in Fig.3 placing the reed blades on the curved path creates a distance between anterior and posterior blades, while in a conventional reed all blades align on a straight row. Thus, curved reed design needs a longer stroke to pass completely the weft insertion arms while a pretty short stroke is enough for a conventional reed. The stroke length needed for the curved reed depends on the shape of the desired curved path and width of the woven fabric.

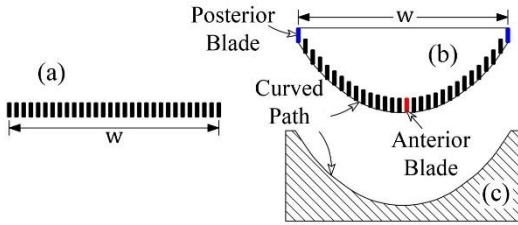


Fig.3. Conventional straight reed (a), curved reed (b) and initial mold (c).

Increasing the width of the woven fabric and the distance between anterior and posterior points of the curved path may also increase the needed stroke length of the heddle frames. When the heddle frames are apart, the distance between the frames are required to be long enough to create an enough triangular space between the anterior reed blade and warp yarns, where the weft insertion arms pass through.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Analysis of Woven Fabrics

Several variable stiffness fabrics are weaved with the constructed prototype loom by using carbon fiber weft yarns. Thin polyester sewing strings which have 24 tex number are used as warp yarns for all fabrics. The distance between two warp yarns (s) is set to 2.5 mm and each warp yarn is tensioned with approximately 750 N axial force. The woven fabrics weaved with a straight reed and a curved reed are given in Figs.4(a) and 4(b) respectively.

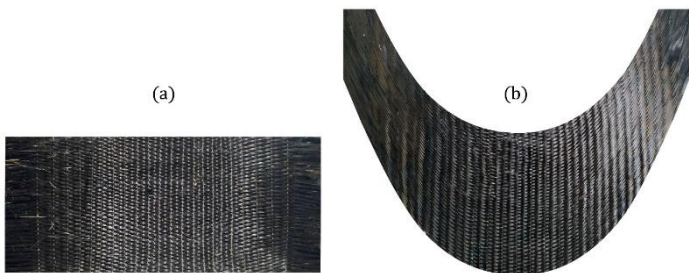


Fig.4. Woven fabrics weaved with a straight reed (a) and with a curved reed (b).

As seen from Fig.3 the proposed concept of the curved reed is able to weave fabrics with curved fibers successfully. It is seen that as the tension of the warp yarns are kept high enough the curved fibers keep their shape during the weaving process. Nevertheless, the fabric tends to lose its form at the open sides when the angle between the warp yarn and the weft yarn reduces under  $15^\circ$ . As a limitation of the proposed method it is not feasible to place weft yarns between warp yarns with very small orientation angles especially when the angle between yarns

reduces under  $10^\circ$ . In this case some of the warp yarns can be replaced with the advanced fiber instead of the thin sewing strings. Consequently, these warp yarns can serve as a reinforcement fiber with  $0^\circ$  orientation.

Maintaining the curved shape of the fibers until the usage of the woven fabric is very important as the external contacts may deform the fabric. This can be solved by pre-impregnating the woven fabrics and storing them as pre-pregs by use of solution impregnation, film impregnation or similar methods (Bai, 2013) especially for large scale productions.

#### 3.2. Unit mesh model

When the weaving process of the fabric is investigated in detail it is observed that the weft yarns show two distinct behavior at two different regions of the fabric. The first and second regions are called as region-A and region-B and they are shown in Fig.5. The region-A locates between the warp yarns where the weft yarns touch each other whereas the region-B is identified where weft yarns pass over or under the warp yarns.

As seen from Fig.5 there are empty spaces around the following weft yarns at region-B while the weft yarns are densely packed at region-A. Presence or absence of the empty space around the weft yarns defines the behavior of the weft yarns when they are weaved by the curved reed. To model the behavior of these two regions and to acquire final geometry of the woven fabric the weft yarns are simplified and represented with a three-dimensional unit mesh.

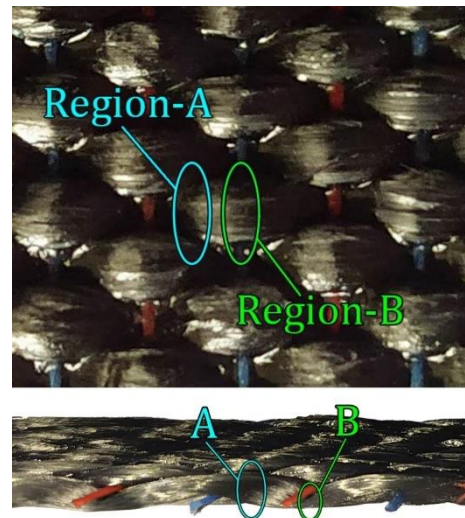


Fig.5. Region-A and region-B.

The unit mesh covers the section of the weft yarns from the region-A to region-B and it is constructed by 14 vertices as shown in Fig.6. The xyz cartesian coordinate system is used in analysis by placing the warp yarns along y-axis and the thickness along z-axis.



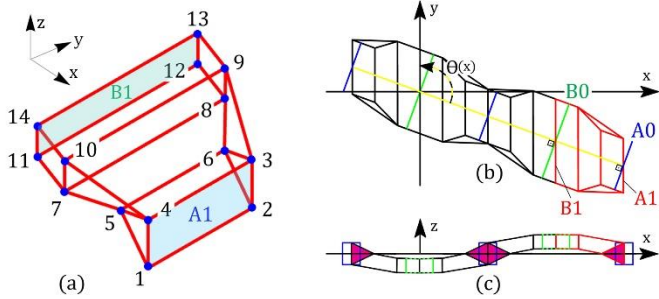


Fig.6. Unit mesh (a), top (b) and side (c) view of four joined units.

As seen in Fig.6 by aligning and repeating the unit mesh whole weft yarn can be modelled in three dimensions. The yellow line which is passing in the middle of the unit mesh shows the yarn orientation which is measured counter clockwise from yellow line to y-axis. Orientation of each unit mesh varies depended on the curved path of the weft yarns. As all weft yarns have same curved path they can be accepted as shifted copies of each other along the y-axis. Thus, their geometry and properties are constant along y-axis but variable along x-axis depended on the curved path of the weft yarns.

While deriving equations it is accepted that the cross-sectional area which is perpendicular to the orientation will be constant all over the weft yarn before and after weaving. The cross-sections of the weft yarns which are perpendicular to the orientation at the regions-A and B are called as cross-section A0 and B0 respectively to further use in calculations. As accepted, A0 and B0 both have equal areas but their dimensions may be different.

The rectangle which is covered by the first four vertices (1,2,3,4) of the unit mesh is called as rectangle-A1 and similarly the rectangle covered by the last four vertices (11,12,13,14) of the unit mesh is named as rectangle B1 as presented in Fig.6. By definition, even if the orientation of the unit mesh varies, the rectangles A1 and B1 will always stay parallel to the y-z plane. Coordinates of the vertices defining rectangles A1 and B1 are found by projecting the corner points of cross-sections A0 and B0 along the orientation to the planes which are parallel to the y-z plane and passing through the centers of A0 and B0 as given below. As A1 and B1 are projection of A0 and B0 respectively the height of A1 will be equal to the height of A0. Similarly, the heights of B1 and B0 will be equal.

It is observed that the weft yarns at region-A get their curved shape by shearing as they are pushed by the curved reed. When the weft yarns are forced to shear the perpendicular distance between two following weft yarns at region-A, which is the width of A0, decreases. And the height of A0 increases to keep the cross-sectional area constant as accepted. If the height of A0 at  $\theta(x) = 90^\circ$ , where the weft and warps yarns are perpendicular to each other, is chosen as reference the variation of  $h_{A0}(x)$  can be calculated as given in Eq.1. A similar relation is also expressed in tow shearing method (Kim et al., 2012; Kim et al., 2014).

$$h_A(x) = \frac{h_{A,ref}}{\sin(\theta(x))} \tag{1}$$

The width of A0 can be found by dividing the cross-sectional area to the height of A0 as given below;

$$w_{A0}(x) = \frac{A}{h_A(x)} \tag{2}$$

The width of A1 ( $w_{A1}$ ), which can be measured from fabric, is constant all over the fabric as the weft yarns are shifted copies of each other along y-axis and they are densely packed at region-A.

When region-B is investigated, it is seen that the weft yarns tend to spread to the empty spaces while they are passing under and over warp yarns. Because of this spreading behavior the width of B0 ( $w_{B0}$ ) will be wider than the width of A0 ( $w_{A0}$ ). The ratio of ( $w_{A0}$ ) to ( $w_{B0}$ ) at  $\theta(x) = 90^\circ$  is called as “the width ratio” and shown by  $C_1$ . The width of A0 ( $w_{A0}$ ) and the width of B0 ( $w_{B0}$ ) can be directly measured from the woven fabric and the width ratio  $C_1$  can be calculated as;

$$C_1 = \frac{w_{A0}}{w_{B0}} \Big|_{\theta(x)=90^\circ} \tag{3}$$

Then the height of B0 at  $\theta(x) = 90^\circ$  which is called as ( $h_{B,ref}$ ) can be calculated by using the width ratio  $C_1$  as;

$$h_{B,ref} = C_1 \cdot h_{A,ref} \tag{4}$$

Because of both shearing and spreading behavior of the weft yarns at region-B the height of B0 ( $h_{B0}(x)$ ) is modelled by modifying Eq.1 with parameter  $C_2$  as presented in Eq.5. The parameter  $C_2$ , which is called as “the shear factor”, defines how much the area B0 shears or spreads as the orientation varies.

$$h_B(x) = h_{B,ref} \left( 1 + C_2 \left( \frac{1}{\sin(\theta(x))} - 1 \right) \right) \tag{5}$$

The shear factor  $C_2$  ranges from 0 to 1. If  $C_2$  is chosen as zero B0 does not get effected from shearing and it rotates freely by keeping its dimensions. If  $C_2$  is chosen as one B0 totally gets affected from shearing and the weft yarns do not spread. If  $C_2$  is chosen between zero and one the weft yarns at region-B both shear and spread. It is seen that  $C_2$  can depend on the yarn material used and also the pressure applied to the weft yarns while weaving. For investigated carbon fiber fabrics  $C_2$  is found as 0.5 by trying different values and by comparing the calculated and measured values.

The variation of the width of B0 ( $w_{B0}(x)$ ) can simply be calculated by dividing cross-sectional area (A) to  $h_{B0}(x)$  as given below.

$$w_{B0}(x) = \frac{A}{h_{B0}(x)} \tag{6}$$

Then the width of B1 ( $w_{B1}(x)$ ) can be calculated by projecting B0 to B1 as given in Eq.7.

$$w_{B1}(x) = \frac{w_{B0}(x)}{\sin(\theta(x))} \tag{7}$$

The spreading of the fibers along y-direction at region-B has a ceiling limit of ( $2w_{A1}$ ) which is the maximum space the weft yarns can spread. While calculating the height of region-B this ceiling limit must be considered. Eq.5 will not be valid anymore if the  $w_{B1}(x)$  value calculated by Eq.7 exceeds the ceiling limit of ( $2w_{A1}$ ). In this case, the height of region-B must be calculated by using Eq.8 given below and depended values must be updated.

$$h_B(x) = \frac{A}{2w_{A1} \cdot \sin(\theta(x))} \text{ if } w_{B1}(x) \geq 2w_{A1} \tag{8}$$

The coordinates of the vertices of the unit mesh, which are representing region-A and region-B, are expressed as given below.

$$v_1 = \left[ \frac{s}{2}, \frac{-w_{A1}}{2} + \frac{s}{2} \cot(\theta(x)), \frac{-h_A(x)}{2} \right] \quad (9a)$$

$$v_2 = \left[ \frac{s}{2}, \frac{w_{A1}}{2} + \frac{s}{2} \cot(\theta(x)), \frac{-h_A(x)}{2} \right] \quad (9b)$$

$$v_3 = \left[ \frac{s}{2}, \frac{w_{A1}}{2} + \frac{s}{2} \cot(\theta(x)), \frac{h_A(x)}{2} \right] \quad (9c)$$

$$v_4 = \left[ \frac{s}{2}, \frac{-w_{A1}}{2} + \frac{s}{2} \cot(\theta(x)), \frac{h_A(x)}{2} \right] \quad (9d)$$

$$v_{11} = \left[ 0, \frac{-w_{B1}(x)}{2}, e \right] \quad (10a)$$

$$v_{12} = \left[ 0, \frac{w_{B1}(x)}{2}, e \right] \quad (10b)$$

$$v_{13} = \left[ 0, \frac{w_{B1}(x)}{2}, e + h_B(x) \right] \quad (10c)$$

$$v_{14} = \left[ 0, \frac{-w_{B1}(x)}{2}, e + h_B(x) \right] \quad (10d)$$

where (s) is the distance between two warp yarns and (e) is the eccentricity from x-y plane. Other vertices of the unit mesh are defined to mimic the translation from region-A to region-B as presented below.

$$v_5 = \left[ \frac{s}{3} - s_1, \frac{-w_{A1}}{2} + \left( \frac{s}{3} - s_1 \right) \cot(\theta(x)), 0 \right] \quad (11a)$$

$$v_6 = \left[ \frac{s}{3} - s_1, \frac{w_{A1}}{2} + \left( \frac{s}{3} - s_1 \right) \cot(\theta(x)), 0 \right] \quad (11b)$$

$$v_7 = \left[ \frac{s}{6} - s_2, \frac{-w_{B1}(x)}{2} + \left( \frac{s}{6} - s_2 \right) \cot(\theta(x)), e - s_3 \right] \quad (12a)$$

$$v_8 = \left[ \frac{s}{6} - s_2, \frac{w_{B1}(x)}{2} + \left( \frac{s}{6} - s_2 \right) \cot(\theta(x)), e - s_3 \right] \quad (12b)$$

$$v_9 = \left[ \frac{s}{6} - s_2, \frac{w_{B1}(x)}{2} + \left( \frac{s}{6} - s_2 \right) \cot(\theta(x)), e + h_B(x) - s_3 \right] \quad (12c)$$

$$v_{10} = \left[ \frac{s}{6} - s_2, \frac{-w_{B1}(x)}{2} + \left( \frac{s}{6} - s_2 \right) \cot(\theta(x)), e + h_B(x) - s_3 \right] \quad (12d)$$

where  $s_1, s_2$  and  $s_3$  are parameters to adjust the translation region. Calculation of these parameters are not discussed in this study but they can be manually selected to fit the unit mesh to the real geometry.

### 3.3. Measurements on woven fabrics

In Fig.7 variable stiffness fabrics which are woven by 6k (2x3k) and 24k (2x12k) carbon fiber weft yarns and their close-up images are presented where the orientation of the weft yarns varies from 90° to 20° from left side to right side. Measured values of the height and the width of region-A and region-B at  $\theta(x) = 90^\circ$  and the cross-sectional area of the weft yarns of the 6k and 24k fabrics are presented in Table-1.

Table 1. Thickness variations of the variable stiffness woven fabrics.

Fabric	$h_{A,ref}$ [mm]	$w_{A0}$ [mm]	$h_{B,ref}$ [mm]	$w_{B0}$ [mm]	$A$ [mm <sup>2</sup> ]
6k	1.22	0.45	0.86	0.64	0.55
24k	1.23	1.82	0.86	2.60	2.24

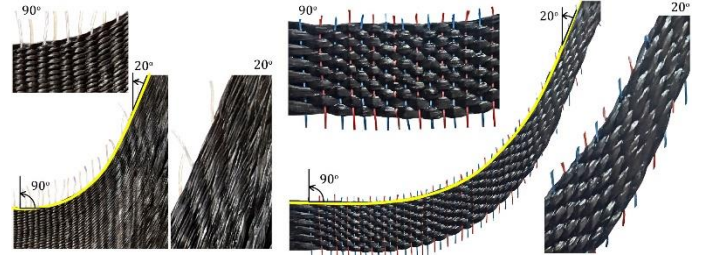


Fig.7. 6k and 24k variable stiffness woven fabrics in detail.

The width ratio  $C_1$  is found as 0.7 by using values given in Table-1. The variation of the height and the width of A1 and B1 is calculated for the 6k and 24k fabrics by taking the shear factor  $C_2$  as 0.5 and they are compared with experimental results in Fig.8. Additionally, the variation of A0, A1, B0 and B1 for 24k fabric is plotted in Fig.9.

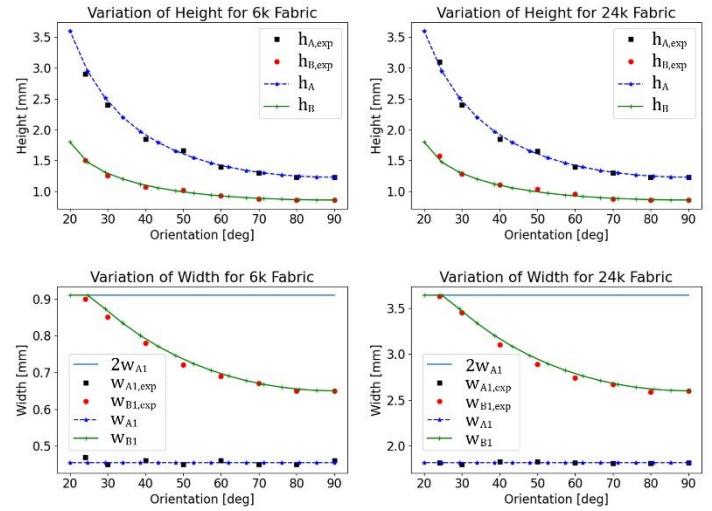


Fig.8. Variation of height and width of A1 and B1

From Fig.8 it is seen that the calculated values by using the developed model are consistent with the measured experimental values for region-A and region-B. It is also observed that the width values of the 6k and 24k fabrics are different while their height values are similar.

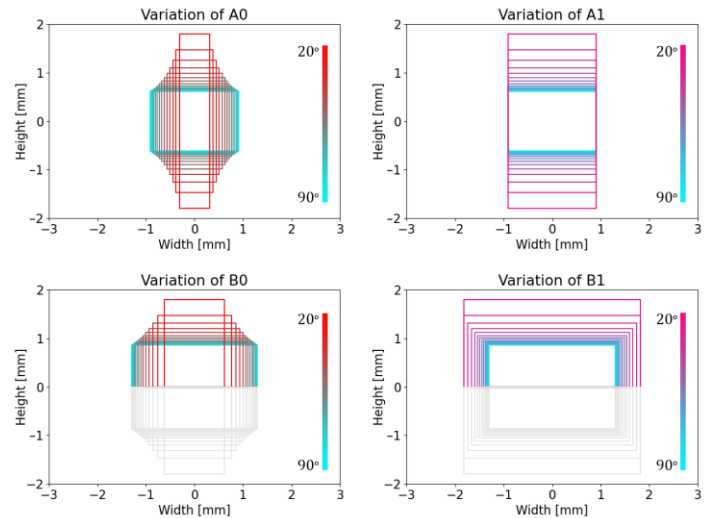


Fig.9. Variation of A0, A1, B0 and B1 for 24k fabric by orientation.

As the orientation decreases the height of A0 and B0, which are the cross sections perpendicular to the orientation, increases and inversely the width of A0 and B0 decreases as seen in Fig.9.

Also, as the orientation decreases the height of A1 increases while the width of A1 stays constant. The height and width of B1 both increases as the orientation decreases but when the width of B1 reaches at its limit value ( $2w_{A1}$ ) it stays constant and the height of B1 starts to increase faster.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study a novel method to weave variable stiffness fabrics with curvilinear advanced fibers is presented. After basic working principle and the mechanism of the concept design is explained, an automated prototype loom is constructed. The use of the curved reeds in order to produce the curved shape of the fibers, requires longer strokes and extra rail supports for the reed and heddles compared to the ones used in the conventional looms. Many weaving experiments are realized on the prototype loom and it is seen that the desired curved shapes of the weft yarns can be achieved successfully by the method proposed.

It is observed that the weft yarns have two characteristic regions where the weft yarns behave differently. These two regions are named as region-A and region-B. When the weft yarns are pushed by the curved reed it is seen that the yarns at region-A only show shearing behavior while the yarns at region-B show both shearing and spreading behavior at the same time. Based on the behaviors of these two regions the section of the weft yarns between region A and B, which is repeating itself along the fabric, is simplified and modelled as a unit mesh. It is seen that variable stiffness woven fabrics can be successfully produced by the proposed method and the variation of the stiffness can be controlled by tailoring the curved path of the weft yarns. Since the concept design of the method presented is scalable, it is thought that this method can be applied in the mass production.

Unfortunately, because of Covid-19 pandemic experimental measurements of the stiffnesses of the woven fabrics are postponed and planned to be included in a further work.

## 5. Acknowledge

The authors would like to thank to Trakya University Research Fund for supporting the work presented, with a project reference TUBAP-2018/88.

## References

- Ashir, M., Nocke, A., & Cherif, C. (2020). Adaptive fiber-reinforced plastics based on open reed weaving and tailored fiber placement technology. *Textile Research Journal*, 90(9-10), 981-990.
- August, Z., Ostrander, G., Michasiow, J., & Hauber, D. (2014). Recent developments in automated fiber placement of thermoplastic composites. *SAMPE J*, 50(2), 30-37.
- Bai, J. (2013). *Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications*: Elsevier.
- Blom, A. W., Setoodeh, S., Hol, J. M., & Gürdal, Z. (2008). Design of variable-stiffness conical shells for maximum fundamental eigenfrequency. *Computers & structures*, 86(9), 870-878.
- Blom, A. W., Stickler, P. B., & Gürdal, Z. (2010). Optimization of a composite cylinder under bending by tailoring stiffness properties in circumferential direction. *Composites Part B: Engineering*, 41(2), 157-165.
- Brooks, T. R., & Martins, J. R. R. A. (2018). On manufacturing constraints for tow-steered composite design optimization. *Composite structures*, 204, 548-559.
- Campbell, F. C. (2010). *Structural composite materials*: ASM international.
- Crothers, P., Drechsler, K., Feltrin, D., Herszberg, I., & Kruckenberg, T. (1997). Tailored fibre placement to minimise stress concentrations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(7), 619-625.
- Dirk, H. J. A. L., Ward, C., & Potter, K. D. (2012). The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 997-1009.
- Gürdal, Z., & Olmedo, R. (1993). In-plane response of laminates with spatially varying fiber orientations-variable stiffness concept. *AIAA journal*, 31(4), 751-758.
- Günay, M. G., & Timarci, T. (2017). Static analysis of thin-walled laminated composite closed-section beams with variable stiffness. *Composite structures*, 182, 67-78.
- Günay, M. G., & Timarçı, T. (2019). Stresses in thin-walled composite laminated box-beams with curvilinear fibers: Antisymmetric and symmetric fiber paths. *Thin-Walled Structures*, 138, 170-182.
- Gürdal, Z., Tatting, B. F., & Wu, C. (2008). Variable stiffness composite panels: effects of stiffness variation on the in-plane and buckling response. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(5), 911-922.
- Hyer, M. W., & Charette, R. (1991). Use of curvilinear fiber format in composite structure design. *AIAA journal*, 29(6), 1011-1015.
- Hyer, M. W., & Lee, H. (1991). The use of curvilinear fiber format to improve buckling resistance of composite plates with central circular holes. *Composite structures*, 18(3), 239-261.
- Jones, R. M. X. (1998). *Mechanics of composite materials*: CRC press.
- Kim, B. C., Potter, K., & Weaver, P. M. (2012). Continuous tow shearing for manufacturing variable angle tow composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), 1347-1356.
- Kim, B. C., Weaver, P. M., & Potter, K. (2014). Manufacturing characteristics of the continuous tow shearing method for manufacturing of variable angle tow composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 61, 141-151.
- Leissa, A., & Martin, A. (1990). Vibration and buckling of rectangular composite plates with variable fiber spacing. *Composite structures*, 14(4), 339-357.
- Lenz, C., Trinh, X. T., & Gries, T. (2016). Auslegung von Faser-verbundbauteilen auf Basis von Tailored Textiles. *Lightweight Design*, 9(3), 36-41.
- Smith, F., & Grant, C. (2006). Automated processes for composite aircraft structure. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Zamani, Z., Haddadpour, H., & Ghazavi, M.-R. (2011). Curvilinear fiber optimization tools for design thin walled beams. *Thin-Walled Structures*, 49(3), 448-454.
- Zhang, W., Liu, F., Lv, Y., & Ding, X. (2020). Modelling and layout design for an automated fibre placement mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, 144, 103651.



# Kamu Kurum ve Kuruluşları İçin Ortak Strateji Belirlemede Bir Karar Destek Süreci

Feyza Gürbüz<sup>1\*</sup>, Rabia Arı<sup>2</sup>, Beyza Oğuz<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6327-8232), feyza@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9497-9090), 1030316003@erciyes.edu.tr

<sup>3</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7750-743X), 1030315921@erciyes.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10-12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.901608)

**ATIF/REFERENCE:** Gürbüz, F., Arı, R. & Oğuz, B. (2021). Kamu Kurum ve Kuruluşları İçin Ortak Strateji Belirlemede Bir Karar Destek Süreci. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 436-444.

## Öz

Stratejik planlama, kurumların uzun vadeli stratejilerinin belirlenmesi ve kaynaklarını bu stratejiye göre ayarlamasıdır. Stratejik planlamada mevcut durum analizi ile gelecek durum tasarımları yapılmaktadır. Mevcut durum analizinde yapılan çalışmalar, birim görev ve sorumluluklarının tespit edilmesi, koordinasyon açısından görevlendirmelerin yapılması, paydaş analizi, iç ve dış çevre analizi, SWOT (S: Güçlü Yönler, W: Zayıf Yönler, O: Fırsatlar, T: Tehditler) analizleridir. SWOT Analizi, kurumların kurumsal işlerliği, rekabet gücü, sektördeki konumu, piyasadaki dış tehditlerin varlığı gibi iç ve dış değerlendirmelerin yapılabildiği yöntemlerdendir. Yapılan çalışmada kamu kurum ve kuruluşlarının güncel stratejik planlarında mevcut bulunan SWOT analizleri metin madenciliği ile analiz edilerek her kurum için ortak kavramlar belirlenerek sonrasında kamu kuruluşlarının gelişimi için ortak stratejilerin hangi konulara odaklanması gerektiğine karar verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Stratejik plan, Swot analizi, Metin madenciliği, Ahp.

## Decision Support In Setting A Common Strategy For Public Institutions And Organizations

### Abstract

Strategic planning is for organizations to determine their long-term strategies and to adjust their resources accordingly. In strategic planning, future situation designs are made with the current situation analysis. The studies carried out in the current situation analysis are the determination of unit duties and responsibilities, the realization of assignment limitations in terms of coordination, stakeholder analysis, internal environment analysis, external environment analysis, SWOT analysis. SWOT Analysis is one of the evaluation methods in which internal and external assessments such as corporate functioning of institutions, competitiveness, position in the sector, and presence of external threats in the market can be made. In this study, the SWOT analyses present in the current strategic plans of public institutions and organizations were analyzed with text mining and common concepts were determined for each institution and then joint strategies for the development of public institutions which topics to focus on.

**Keywords:** Strategic plan, Swot analysis, Text mining, Ahp.

\* Sorumlu Yazar: [feyza@erciyes.edu.tr](mailto:feyza@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde teknoloji hızla yükselip gelişmektedir. Hızla elektronikleşen dünyada internet gündelik yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. Bu büyümeye bağlı olarak dijital verinin toplanması ve saklanmasıdaki gelişmeler saklanan verilerin de büyümesine sebep olmuştur. Toplanan veriler de her geçen gün artmaktadır. Yapılan market alışverişlerinden banka kayıtlarına ya da kullanılan telefonlardaki parmak izi ve retina kayıtlarına kadar gündelik yaşamımızda devamlı olarak veri oluşturulmaktadır.

Verilerin doğru bir biçimde analiz edilip anlamlı bir bilgiye dönüşmesi noktasında veri madenciliği devreye girmektedir.

Kamu kurum ve kuruluşları, işletmeler mevcut durumlarını görmek ve gelecek durum tasarımlarını yapmak adına stratejik plan oluştururlar. Stratejik plan içinde mevcut durum analizini daha net özümsemesi adına SWOT analizi yapılır.

Swot analizini ilk olarak Albert S. Humphrey tarafından, bilgileri karar verme için net bir şekilde sunan ve düzenleyen karmaşık stratejik durumlarla ilgilenen bir araç olarak tanımlanmıştır (Büyükközkan vd, 2020).

SWOT analizlerini güçlü yapan açığa çıkmamış fırsatları göstererek bunlardan yararlanılmasını sağlamasıdır. Kurumun güçlü yanlarını daha da güçlü hale getirebilmek mümkündür. Aynı zamanda zayıf yönleri görerek tehditlerin kontrol edilmesini ve ortadan kaldırılmasını sağlar. Bunların yanında kuruluş, SWOT çerçevesinde incelenebilir ve işletmeyi rakiplerden ayıracak şekilde stratejiler geliştirilebilmesine olanak sağlar (Büyükközkan vd, 2020).

Bu çalışmada stratejik planlarını güncel olarak paylaşmış olan ülkemizdeki kamu kurum ve kuruluşlarının swot analizleri toplanarak metin madenciliği ile analiz edilmiştir. Daha sonra hangi kriterlerin seçilmesi gerektiği AHP yöntemine göre belirlenip bunlara göre yeni strateji önerileri yapılmıştır.

Literatürde stratejik plan ve swot analizleri ile ilgili yapılmış çalışmaların bir kısmından aşağıdaki paragrafta bahsedilmiştir.

Erol (2019)'daki çalışmada dinamik ve sürekli değişen, sınırların kalkmış olduğu piyasa şartları altında işletmelerin, içinde bulunduğu durum ve çevreyi analiz edip elde ettiği bulgular sonucu gerekli eylemlerin oluşturulmasına odaklanmıştır. Kumar vd. (2020) yaptıkları çalışmada ağırlıklı olarak, yapılandırılmamış verilerin madenciliği sürecinde kullanılan metin sınıflandırma algoritmalarını inceleyerek, kendi güçlü yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri (SWOT) açısından kullanımlarının eğilimine ilişkin bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Rojas vd. (2018) genel bir Stratejik Plan modeli içinde metin madenciliği (TM) algoritmalarını kullanarak KOBİ'ler için stratejik planlar tanımlamak amacıyla otomatik bir yöntem sunmuşlardır. Okumuş (2007) çalışmasında kamu kuruluşlarında stratejik planlama çalışmalarında vizyon oluşturulmasını inceleyerek, İstanbul Büyükşehir Belediyesi iç paydaşları üzerinde, bir araştırma gerçekleştirilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin iç paydaş kitlesini oluşturan farklı görev gruplarına yapılan anketler ile toplanan verileri tanımsal istatistikler yöntemi, ilişki testleri ve farklılık testleri kapsamında değerlendirmiştir. Karaman (2011) Türkiye'de bulunan devlet üniversitelerinin stratejik planlarında belirttikleri güçlü yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditlerinin neler olduğunu saptamak üzere çalışmışlardır. Güryeli (2016)

çalışmasında, kamu destekli özel sektör Ar-Ge projeleri seçim probleminin değerlendirme ölçütlerini inceleyerek, bu değerlendirme ölçütleri arasındaki ilişkileri tanımlayan bir ağ inşa etmiş ve bu ölçütlerin değerlendirme sürecinde ne ölçüde önemli olduklarını tespit etmiştir.

Projede amaçlanan, kamu kurum ve kuruluşlarının güncel stratejik planlarındaki mevcut durum analizini görebilmek adına oluşturulan SWOT analizlerinin metin madenciliği yardımıyla analiz edilerek güçlü yönlerinin daha da güçlenmesinin sağlanması ve zayıf yönlerinin güçlendirilmesi, fırsatlardan güçlü ve zayıf yönlerini avantaja çevrilmesi, tehditlerin önlenmesi adına yeni stratejiler belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Metin Madenciliği

Metin madenciliği, yeni ve önceden bilinmeyen bilgilerin çeşitli yazılı kaynaklardan otomatik olarak ayıklanması ile keşfedilmesidir. Metin madenciliği ile şirket içerisinde veya internet üzerinde üretilen yapılandırılmamış veri, analitik bir analize kaynak oluşturulacak hale getirilir (Turban vd., 2011). Metin madenciliği aslında veri madenciliğinin yazılı metinler üzerinden yapılmasına verilen addır. Metin madenciliği, biçimlendirilmemiş yazılı metinlerden anlamlı bilgiler çıkarmayı amaçlayan gelişmekte olan bir teknolojidir (He vd., 2013). Metin madenciliği çalışmaları metinleri veri kaynağı olarak kullanan veri madenciliği (data mining) çalışmasıdır. Diğer bir tanımla metin üzerinden yapılandırılmış veri elde etmeyi amaçlar. Örneğin metinlerin sınıflandırılması, bölümlenmesi, metinlerden konu çıkarılması, sınıf taneciklerinin üretilmesi, duygusal analiz, metin özetleme, varlık ilişki modellemesi gibi çalışmaları hedefler (Şeker, 2012). Bu çalışmada elde edilen verilerin metin analizlerinde Rapidminer programının 5.3 sürümü kullanılmıştır.

### 2.2. RapidMiner

RapidMiner, eski adıyla YALE (Yet Another Learning Environment), olarak ilk kez 2001 yılında Ralf Klinkenberg, Ingo Mierswa ve Simon Fischer tarafından Dortmund Teknik Üniversitesi, yapay zeka biriminde geliştirilmiştir. 2006 yılından itibaren, Ingo Mierswa ve Ralf Klinkenberg tarafından kurulan Rapid-I isimli şirket tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. 2007 yılında, yazılımın adı YALE'den RapidMiner'a çevrilmiştir. 2013 yılında, şirket yeni ismi olan Rapid-I ile RapidMiner ürününü markalaştırmıştır (Norris 2013). Araştırma ve eğitim alanlarında çokça kullanılmakta olan RapidMiner, Client/server mimarisini kullanabilir ve Software as a Service (SaaS) olarak bir bulut yapısı üzerinde çalışabilmektedir (Url-1). RapidMiner bir topluluk yazılımı (community founded software) olarak nitelendirilmektedir (Şeker, 2012).

### 2.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik hiyerarşi süreci (AHP), karmaşık problemleri çözmek ve analiz etmek için kullanılan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Yöneticiler AHP yöntemini, uygun ve anlaşılması kolay olduğu için, çok yararlı bir karar verme tekniği olarak görmektedir. Vaidya ve Kumar 1983 ile 2003 yılları arasında uluslararası dergilerde yayınlanan 150 yayını gözden geçirmişler ve AHP tekniğinin çözme, seçme, değerlendirme ve karar verme için yararlı olduğu sonucuna varmışlardır (Abdel-Basset vd., 2018; Vaidya ve Kumar, 2006).

AHP birkaç adımdan oluşur. İlk adım, problemi daha net anlayabilmek için hiyerarşisini oluşturmaktır. AHP'nin

hiyerarşisi bir hedef (amaç), karar kriterleri, alt kriterler ve son olarak mevcut tüm alternatiflerden oluşur (Abdel-Basset vd., 2018). AHP hiyerarşisi yapılandırıldıktan sonra ikili karşılaştırma matrisi kriterleri ağırlıklandırmak üzere Saaty'in ölçeği kullanılarak karar vericiler tarafından oluşturulur (Saaty, 1988). Son olarak, alternatiflerin nihai ağırlığı belirlenir ve sıralanır. Ahp yöntemine ait ayrıntılı adımlar Palka vd. (2020) çalışmasında bahsedildiği gibidir.

## 2.4. Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Belirlenmesi

Ülkemizde toplamda 68 adet kamu kurum ve kuruluşu bulunmaktadır. Yaptığımız çalışmada bu kurumlardan stratejik planları güncel olanlar seçilmiştir. Araştırmada Ek 1'de verilen 28 tane kamu kurum ve kuruluşunun planları ele alınmıştır. Bu planlarda yer alan Swot analizleri incelenerek ortak Swot faktörleri metin madenciliği yöntemi ile belirlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Metin Madenciliği Analizi ve Sonuçlar

Kamu kuruluşlarına ait Swot faktörlerinin her biri (Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar ve Tehditler) ayrı ayrı metin madenciliği ile analiz edilerek bütün kamu kuruluşları için ortak olabilecek Swot faktörleri çıkarılmıştır. Metin analizlerinde Rapidminer programının 5.3 sürümü kullanılmıştır.

Rapid miner Data view aracı ile verilerimiz sınıflandırılmıştır. Şekil 1'de Rapidminer data view aracı örnek ekranı gösterilmiştir. Toplamda 352 tane veri kullanılmıştır. Plot view aracı scatter ile her bir swot kriterlerinden önemli kriterler belirlenmiştir. Şekil 2'de güçlü yönlerin analiz sonuçları örnek olarak verilmiştir.

Row No.	NAME	YEARS	STRENGTHS	WEAKNESSES	OPPORTUNITIES	THREATS
?	STRATEGIC 2018-2022	?	Science is the focus of industry and acad	Insufficient public disclosure of institutional achiev	The acceptance of science as a pioneer in the I	Decision-making habits that are nc
?	?	?	Having a large number of projects and or	Lack of a mechanism to coordinate inter-institution	Seeing TUBITAK as the most effective institutio	The fact that national legislation is
?	?	?	A large number of financially supported a	Insufficient promotional activities at the regional lev	The fact that Turkey cannot gain international cc	For scientists from abroad to work
?	?	?	TUBITAK support and activities contribute	Lack of corporate integrated management informa	The government and the private sector encoura	Lack of an integrated database of I
?	?	?	To be a reliable institution with corporate	Partial corporate performance management system	Our country's high policy documents and the na	The poor public-university-industry
?	?	?	To have an effective and respectable ima	Insufficient institutional infrastructure to measure th	Increased interest in technology in society and	Lack of sufficient mechanisms and
?	?	?	To be an internationally representative, cc	Insufficient technological and physical infrastruc	International formations in the field of science a	High dependence abroad in the de
?	?	?	Turkey's help to help the government in d	Insufficient corporate human resources policy	More areas open to development in Turkey in th	Other public institutions on nationa
?	?	?	The tendency of corporate resources and	High labor turnover rate and employees have a neq	Continuity in the country's economic growth rate	The industry prefers technology trai
?	?	?	Managers' competence and experience	Employees in different service groups do similar w	Increase of qualified and entrepreneurial poten	Lack of education policies for R&D
?	?	?	Application evaluation and monitoring prc	Lack of coordination between the Presidency/Rese	Increasing the need for TUBITAK in national str	Increased regional risks to security
?	?	?	Improved in-house communication chan	Lack of a system to provide communication, inform	Increasing the R&D requirements of public inst	Decision-making and functioning d
?	?	?	The power to provide financial incentives	The lack of adequate cooperation between researc	Increasing the importance of the Private Sector	The legislation subject to TUBITAK
?	?	?	Having a high level of education, qualific	Insufficient product conversion and commercializa	Information and increased use of communicati	R&D expenditures tend to lag behir
?	?	?	Quality awareness that develops at the cc	Project/Scholarship application evaluation, monitor	Promoting reverse brain drain in the field of sci	Input (Petroleum derivatives, etc.) a
?	?	?	Employees' job satisfaction, general satisf	Recurring purchases of tools/devices/equipments	Turkey's participation in Framework Programm	Incentive insufficient number of lice
?	?	?	Providing training and development oppo	?	Research infrastructures that we cooperate with	Public expectations of R&D institut
?	?	?	High perception of corporate core values	?	Political and military developments in the world	The deterioration of tubitak's corpoi
?	?	?	Within TUBITAK: The ministry of technolo	?	Having new areas of cooperation with thematic	Qualified, experienced researcher
?	?	?	A new structure in which high-impact and	?	The Informatics Valley Project near TUBITAK Gi	Turkey's high-tech exports have not
?	?	?	?	?	The Technology Bank for the least developed o	Continued tendency to supply tech

Şekil 1. Rapidminer data view aracı örnek ekranı

### ExampleSet //Local Repository/processes/deneme 1



Şekil 2. Plot view aracı ile güçlü yönlerin analizine ait sonuç ekranı

Analiz sonucunda elde edilen 14'er adet Swot alt faktörleri Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar ve Tehditler için aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Güçlü yönler için alt faktörler:

S1: Kentleşmeyi hem politika yapma hem de uygulama fırsatı bulan çok yönlü bir kurum olmak

S2: Avrupa Birliği Mali Yardım Aracı (IPA) çerçevesinde İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesi konusunda program otoritesi olmak

S3: Bütçede kırsal kalkınma desteğinin artan payı

S4: Zengin bir kurum arşivine sahip olmak

S5: Bürokrasi çok fazla değil

S6: Güçlü teknolojik altyapı

S7: Erişilebilir / ulaşılabilir olma

S8: Yurtdışı ofislerin varlığı

S9: Csr No'nun sunduğu olanaklar sayesinde idarenin geniş faaliyet yelpazesi

S10: Uluslararası işbirliğinin etkin kullanımı

S11: Geniş bant internet erişimi ve yaygınlaşacak uygulamaların

S12: Alanında uzman kadrosunun nitelikli ve tecrübeli insan gücünün varlığı

S13: Avrupa Birliği Araştırma ve İnovasyon Çerçeve Programlarının ulusal koordinasyon görevi TÜBİTAK tarafından yürütülmektedir

S14: Bilim, endüstri ve akademik çevrenin ve teknoloji ve yenilik alanındaki devlet kurumlarının odak noktasıdır

Zayıf yönler için alt faktörler:

W1: Mevzuat odaklı yaklaşıma öncelik veren kurumsal kültür

W2: Kurumsal Kültür Zayıflığı

W3: Eğitim politikalarındaki eksiklikler

W4: Taşra teşkilatının hukuki, kurumsal ve insani gelişimi

W5: Biyolojik kaçakçılıkla ilgili sorunlar

W6: Personel eksikliği

W7: Mali kaynaklardaki yetersizlikler

W8: Eğitim olanaklarını homojen kullanmamak

W9: Diğer kurum ve kuruluşlarla yetki çatışması

W10: Teknolojik kapasitenin geliştirilmesi insan kaynağı kapasitesinin geliştirilmesi

W11: Denetçinin uyumu yeterince sağlanmamıştır

W12: "Fizibilite Projelendirme" yaklaşımının olmaması, proje kararlarının alınmasında fizibilitenin etkin kullanımı

W13: Yüksek Öğretim Kurulunun organizasyon yapısı yeterli

W14: Kurumsal başarıların yetersiz kamuya açıklanması

Fırsatlar için alt faktörler:

O1: Teknolojik gelişmeler

O2: Gençlerin teknolojik gelişmelere açıklığı

O3: Uluslararası platformlarda meydana gelen bilimsel ve teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek gümrük ve ticaretle ilgili iş ve işlemlerin maliyetini düşürmek, daha hızlı operasyon sağlamak, otomasyonu genişleyerek sınır güvenliğini artırmak

O4: Teknolojik gelişmelerin iş sağlığı ve güvenliğine olumlu etkisi

O5: Yenilenebilir enerjinin yaygın kullanımı

O6: Nitelikli ve genç insan kaynağının çalışma hayatına katılımı

O7: Verimli toprak yapısı ve doğal kaynak çeşitliliği

O8: Marka olabilecek yerel ürünlerin çeşitliliği

O9: Yüksek tarımsal üretim potansiyeli nedeniyle yatırım ve ihracat fırsatları

O10: Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri TÜİK koordinatörlüğünde yeni çerçevede üretilecek

O11: Tarihi, sosyal ve kültürel değerlerin zenginliği

O12: Politika dokümanlarında KOBİ, Girişimcilik ve Üretim Sanayinin dönüşümü için alınan önlemlerde artış

O13: Bölge tarihi ve kültürel miras ve doğal kaynaklar açısından zengindir

O14: Kamu Personel Bilgi Sisteminin kurulması tamamlandı

Tehditler için alt faktörler:

T1: Bazı alanlarda kurumlar arası yetki ve sorumluluk çatışması

T2: Ekonomik dalgalanmaların işgücü piyasası üzerindeki olumsuz etkisi

T3: Siber tehditlerin bakanlığın teknolojik altyapısına olumsuz etkileri

T4: İklim değişikliği ve çevre kirliliği

T5: Aşırı iş yükü

T6: Geleneksel veri toplama süreçlerinin değişmesiyle büyük veri setlerinin işlenmesi, analizi ve depolanmasındaki zorluklar

T7: Risk altındaki çocukların niceliksel artışı

T8: KOSGEB Destek programlarına benzer programların Diğer Kurum / Kuruluşlar tarafından da sağlanması

T9: Sulama yatırımları bitmiyor

T10: Karar verme sürecini etkileyen bürokratik bir yaklaşım bulmak

T11: İlgili alanda nitelikli insan kaynağı eksikliği

T12: Savunma Sanayi'nin aracı tedarik kurumu olarak algılanması ve fon kaynağı olarak görülmesi

T13: Tübitak'ın kurumsal imajının kamuoyunda bozulması

T14: Genel kamu yönetimi düzeyinde araştırma ve verilere dayanmayan karar alma alışkanlıkları

### 3.2.AHP Analizi ve Sonuçlar

Metin madenciliği sonucu elde edilen Swot faktörlerine ait alt faktörlerin her biri ayrı ayrı AHP yöntemi ile değerlendirilerek sıralanmıştır. AHP analizi için karşılaştırmalar ulaşılabilen ilgili kurum yetkileri uzman çalışanları ile birlikte

değerlendirilerek ortak kararlarla yapılmıştır. Her bir Swot faktörü için AHP yöntemi adımları sırasıyla uygulanarak ilgili faktörlerin alt faktör sıralamaları elde edilmiştir.

Güçlü yönlere ait alt faktörlerin karşılaştırılmalarının yapıldığı matris Tablo 1’de normalize edilmiş karşılaştırma matrisi Tablo 2’de ve sonuç ağırlıklar matrisi ise Tablo 3’de verilmiştir.

### 3.2.1. Güçlü Yönlerin AHP ile Analizi

Tablo 1. Güçlü yönlere ait karşılaştırma matrisi

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1	1	0,33	5	1	0,33	0,2	0,33	7	1	0,2	0,14	0,2	5	0,33
S2	3	1	5	3	1	0,2	3	7	1	0,2	0,14	0,2	5	0,33
S3	1/5	0,2	1	0,2	0,2	0,11	0,2	1	0,2	0,14	0,14	0,14	1	0,14
S4	1	0,33	5	1	0,33	0,14	0,33	5	3	0,33	0,2	0,2	3	0,2
S5	3	1	5	3	1	0,2	3	5	3	0,33	0,2	0,2	5	0,2
S6	5	5	9	7	5	1	5	9	7	3	3	3	9	3
S7	3	0,33	5	3	0,33	0,2	1	7	1	0,14	0,2	0,2	3	5
S8	0,14	0,14	1	0,2	0,2	0,11	0,14	1	5	0,11	0,11	0,11	1	0,11
S9	1	1	5	0,33	0,33	0,14	1	0,2	1	0,2	0,14	0,14	3	0,33
S10	5	5	7	3	3	0,33	7	9	5	1	0,33	0,33	7	3
S11	7	7	7	5	5	0,33	5	9	7	3	1	3	9	5
S12	5	5	7	5	5	0,33	5	9	7	3	0,33	1	9	5
S13	0,2	0,2	1	0,33	0,2	0,11	0,33	1	0,33	0,14	0,11	0,11	1	0,2
S14	3	3	7	5	5	0,33	0,2	9	3	1,33	0,2	0,2	5	1

Tablo 2: Normalize edilmiş güçlü yönler matrisi

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1	0,03	0,01	0,07	0,03	0,01	0,05	0,01	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,01
S2	0,08	0,03	0,07	0,08	0,04	0,05	0,10	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,01
S3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
S4	0,03	0,01	0,07	0,03	0,01	0,04	0,01	0,06	0,07	0,03	0,03	0,02	0,05	0,01
S5	0,08	0,03	0,07	0,08	0,04	0,05	0,10	0,06	0,07	0,03	0,03	0,02	0,08	0,01
S6	0,13	0,17	0,13	0,19	0,19	0,27	0,16	0,11	0,16	0,23	0,48	0,33	0,14	0,13
S7	0,08	0,01	0,07	0,08	0,01	0,05	0,03	0,09	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,21
S8	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,11	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00
S9	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,04	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01
S10	0,13	0,17	0,10	0,08	0,11	0,09	0,22	0,11	0,11	0,08	0,05	0,04	0,11	0,13
S11	0,19	0,24	0,10	0,13	0,19	0,09	0,16	0,11	0,16	0,23	0,16	0,33	0,14	0,21
S12	0,13	0,17	0,10	0,13	0,19	0,09	0,16	0,11	0,16	0,23	0,05	0,11	0,14	0,21
S13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
S14	0,08	0,10	0,10	0,13	0,19	0,09	0,01	0,11	0,07	0,10	0,03	0,02	0,08	0,04

Tablo 3. Güçlü yönlerin ağırlıkları

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,18	0,05	0,02	0,02	0,09	0,15	0,12	0,01	0,07

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre ‘S6’ kriteri en iyi sonuç çıkmıştır. Güçlü teknolojik altyapı yani güçlü teknolojik altyapıdır.

### 3.2.2. Zayıf yönleri AHP ile Analizi

Zayıf yönlere ait alt faktörlerin karşılaştırılmalarının yapıldığı matris Tablo 4’de normalize edilmiş karşılaştırma matrisi Tablo 5’de ve sonuç ağırlıklar matrisi ise Tablo 6’da verilmiştir.



Tablo 4. Zayıf yönler karşılaştırma matrisi

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14
W1	1	0,33	0,14	0,33	0,2	5	0,33	0,14	0,33	0,2	1	0,2	1	0,2
W2	3	1	0,2	0,33	0,33	5	1	0,2	0,33	0,33	0,33	0,33	1	0,2
W3	7	5	1	3	1	7	3	1	3	1	3	1	1	1
W4	3	3	0,33	1	1	7	3	1	3	0,33	3	1	1	1
W5	5	3	1	1	1	5	3	3	5	3	5	3	1	3
W6	0,2	0,2	0,14	0,14	0,2	1	0,2	0,14	0,2	0,33	0,33	0,14	1	0,2
W7	3	1	0,33	0,33	0,33	5	1	0,33	3	0,33	3	1	1	1
W8	7	5	1	1	0,33	7	3	1	5	1	5	3	1	3
W9	3	3	0,33	0,33	0,2	5	0,33	0,2	1	0,2	1	0,33	1	0,33
W10	5	3	1	3	0,33	3	3	1	5	1	5	5	1	5
W11	1	3	0,33	0,33	0,2	3	0,33	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2
W12	5	3	1	1	0,33	7	1	0,33	3	0,2	5	1	1	3
W13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W14	5	5	1	1	0,33	5	1	0,33	3	0,2	5	0,33	1	1

Tablo 5. Normalize edilmiş zayıf yönler matrisi

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14
W1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,08	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07	0,01
W2	0,06	0,03	0,02	0,02	0,05	0,08	0,05	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,07	0,01
W3	0,14	0,14	0,11	0,22	0,15	0,11	0,14	0,10	0,09	0,11	0,08	0,06	0,07	0,05
W4	0,06	0,08	0,04	0,07	0,15	0,11	0,14	0,10	0,09	0,04	0,08	0,06	0,07	0,05
W5	0,10	0,08	0,11	0,07	0,15	0,08	0,14	0,30	0,15	0,32	0,13	0,17	0,07	0,15
W6	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,07	0,01
W7	0,06	0,03	0,04	0,02	0,05	0,08	0,05	0,03	0,09	0,04	0,08	0,06	0,07	0,05
W8	0,14	0,14	0,11	0,07	0,05	0,11	0,14	0,10	0,15	0,11	0,13	0,17	0,07	0,15
W9	0,06	0,08	0,04	0,02	0,03	0,08	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,07	0,02
W10	0,10	0,08	0,11	0,22	0,05	0,05	0,14	0,10	0,15	0,11	0,13	0,29	0,07	0,25
W11	0,02	0,08	0,04	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,07	0,01
W12	0,10	0,08	0,11	0,07	0,05	0,11	0,05	0,03	0,09	0,02	0,13	0,06	0,07	0,15
W13	0,02	0,03	0,11	0,07	0,15	0,02	0,05	0,10	0,03	0,11	0,03	0,06	0,07	0,05
W14	0,10	0,14	0,11	0,07	0,05	0,08	0,05	0,03	0,09	0,02	0,13	0,02	0,07	0,05

Tablo 6. Zayıf yönlerin ağırlıkları

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14
0,03	0,03	0,11	0,08	0,14	0,02	0,05	0,12	0,04	0,13	0,03	0,08	0,06	0,07

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'W5' kriteri en kötü sonuç çıkmıştır. Biyolojik kaçakçılıkla ilgili sorunlar yani biyo-kaçakçılık ile ilgili sorunlardır.

### 3.2.3. Fırsatların AHP ile analizi

Fırsatlara ait alt faktörlerin karşılaştırılmalarının yapıldığı matris Tablo 7'de normalize edilmiş karşılaştırma matrisi Tablo 8'de ve sonuç ağırlıklar matrisi ise Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 7. Fırsatların karşılaştırma matrisi

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14
O1	1	1	3	3	3	1	5	7	5	5	5	5	7	7
O2	1	1	3	3	3	1	5	7	5	5	5	5	7	7
O3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	5	5	5	5	5	5	5	5
O4	1/3	1/3	1	1	1/3	1/5	1	3	3	1	3	3	3	3
O5	1/3	1/3	1	3	1	1/5	3	3	3	3	5	3	3	3
O6	1	1	1	5	5	1	7	7	7	5	7	5	7	5
O7	1/5	1/5	3	1	1/3	1/7	1	3	3	1/3	3	1/3	5	1
O8	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1/7	1/3	1	1	1/3	1	1/3	3	1
O9	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/7	1/3	1	1	1/3	1	1/3	3	1
O10	1/5	1/5	1/5	1	1/3	1/5	3	3	3	1	3	1	3	3
O11	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1/7	1/3	1	1	1/3	1	1/3	1	1
O12	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/5	3	3	3	1	3	1	3	3
O13	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1
O14	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1/5	1	1	1	1/3	1	1/3	1	1

Tablo 8. Normalize edilmiş fırsatlar matrisi

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14
O1	0,18	0,18	0,21	0,15	0,19	0,20	0,14	0,15	0,12	0,18	0,11	0,17	0,13	0,17
O2	0,18	0,18	0,21	0,15	0,19	0,20	0,14	0,15	0,12	0,18	0,11	0,17	0,13	0,17
O3	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,14	0,11	0,12	0,18	0,11	0,17	0,10	0,12
O4	0,06	0,06	0,07	0,05	0,02	0,04	0,03	0,07	0,07	0,04	0,07	0,10	0,06	0,07
O5	0,06	0,06	0,07	0,15	0,06	0,04	0,09	0,07	0,07	0,11	0,11	0,10	0,06	0,07
O6	0,18	0,18	0,07	0,25	0,32	0,20	0,20	0,15	0,17	0,18	0,16	0,17	0,13	0,12
O7	0,04	0,04	0,21	0,05	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,01	0,07	0,01	0,10	0,02
O8	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,06	0,02
O9	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,06	0,02
O10	0,04	0,04	0,01	0,05	0,02	0,04	0,09	0,07	0,07	0,04	0,07	0,03	0,06	0,07
O11	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
O12	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04	0,09	0,07	0,07	0,04	0,07	0,03	0,06	0,07
O13	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
O14	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02

Tablo 9. Fırsatların ağırlıkları

O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14
0,16	0,16	0,10	0,06	0,08	0,18	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,02

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'O6' kriteri en iyi sonuç çıkmıştır. Nitelikli ve genç insan kaynağının çalışma hayatına katılımı yani nitelikli ve genç insan kaynağının çalışma hayatına katılması.

### 3.2.4. Tehditlerin AHP ile analizi

Tehditlere ait alt faktörlerin karşılaştırılmalarının yapıldığı matris Tablo 10'da normalize edilmiş karşılaştırma matrisi Tablo 11'de ve sonuç ağırlıklar matrisi ise Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 10. Tehditler karşılaştırma matrisi

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
T1	1	5	3	1/7	3	3	1/3	3	5	1/3	1/3	3	1	1/7
T2	1/5	1	3	1/5	3	7	3	5	7	3	3	7	5	1/5
T3	1/3	1/3	1	1/7	1/3	3	1/3	3	3	1/5	1/5	1	1	1/7
T4	7	5	7	1	5	7	3	7	9	5	5	7	5	3
T5	1/3	1/3	3	1/5	1	3	1/3	5	5	1/3	1/5	3	3	1/5
T6	1/3	1/7	1/3	1/7	1/3	1	1/3	1	3	1/3	1/5	1	1	1/5
T7	3	1/3	3	1/3	3	3	1	5	5	1	1/3	5	5	1/5
T8	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	1/5	1	3	1/3	1/5	1	1	1/5
T9	1/5	1/7	1/3	1/9	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/5	1/7	1/3	1/3	1/9
T10	3	1/3	5	1/5	3	3	1	3	5	1	1/3	5	5	1/5
T11	3	1/3	5	1/5	5	5	3	5	7	3	1	5	5	1/3
T12	1/3	1/7	1	1/7	1/3	1	1/5	1	3	1/5	1/5	1	1	1/7
T13	1	1/5	1	1/5	1/3	1	1/5	1	3	1/5	1/5	1	1	1/7
T14	7	5	7	1/3	5	5	5	5	9	5	3	7	7	1

Tablo 11. Normalize edilmiş tehditler matrisi

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
T1	0,04	0,27	0,08	0,04	0,10	0,07	0,02	0,07	0,07	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02
T2	0,01	0,05	0,08	0,06	0,10	0,16	0,17	0,11	0,10	0,15	0,21	0,15	0,12	0,03
T3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01	0,07	0,02	0,07	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
T4	0,26	0,27	0,18	0,29	0,17	0,16	0,17	0,15	0,13	0,25	0,35	0,15	0,12	0,48
T5	0,01	0,02	0,08	0,06	0,03	0,07	0,02	0,11	0,07	0,02	0,01	0,06	0,07	0,03
T6	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
T7	0,11	0,02	0,08	0,10	0,10	0,07	0,06	0,11	0,07	0,05	0,02	0,11	0,12	0,03
T8	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
T9	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
T10	0,11	0,02	0,13	0,06	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,02	0,11	0,12	0,03
T11	0,11	0,02	0,13	0,06	0,17	0,12	0,17	0,11	0,10	0,15	0,07	0,11	0,12	0,05
T12	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
T13	0,04	0,01	0,03	0,06	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

Tablo 12. Tehditlerin ağırlıkları

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
0,06	0,11	0,03	0,22	0,05	0,02	0,07	0,02	0,01	0,07	0,11	0,02	0,02	0,18

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'T4' kriteri en kötü sonuç çıkmıştır. İklim değişikliği ve çevre kirliliği yani iklim değişikliği ve çevre kirliliğidir.

#### 4. Sonuç

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'S6' kriteri en iyi sonuç çıkmıştır. Güçlü teknolojik altyapı yani güçlü teknolojik altyapıdır. Buradan çıkan sonuç iki kuruma denk gelmektedir. Bunlar Maliye Bakanlığı ve Gençlik ve Spor Bakanlığıdır. Siber tehditlere karşı teknolojimizi güçlendirmemiz gerektiği, dünyayla beraber hızla gelişen teknolojiye ayak uydurmak için trendleri takip etmeli ve alt yapıların güçlendirilmesi için yazılım alanında teşvikler yapılmalı ve daha fazla bütçe ayrılmalıdır.

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'W5' kriteri en kötü sonuç çıkmıştır. Biyolojik kaçakçılıkla ilgili sorunlar yani biyo-kaçakçılık ile ilgili sorunlardır. Buradan çıkan sonuç Orman ve Su İşleri Bakanlığı kurumuna denk gelmektedir.

Dünyada oluşan küresel sorunlar bitki, hayvan gibi türlerin neslinin tükenmesine ve yok olmasına sebep olmaktadır. Bunun için gen bankaları sayısının artırılması gerekmektedir. Günümüzde genetik mühendisliği ve biyo-teknolojilerin geliştirilmesi, genlerin, canlı türlerin sürdürülebilirliği ve çeşitliliğini sağlama konusunda önemli mekanizmalar olarak yaygınlaşmaktadır.

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'O6' kriteri en iyi sonuç çıkmıştır. Nitelikli ve genç insan kaynağının çalışma hayatına katılımı yani nitelikli ve genç insan kaynağının çalışma hayatına katılması. Buradan çıkan sonuç Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı denk gelmektedir. Öneri olarak; genç ve nitelikli popülasyonu desteklemek adına insan gücünü artırmak için gerekli tedbirlerin araştırılması ve uygulanması, gençleri teşvik edip hayat seviyelerinin yükseltilmesinin amaçlanması, sosyal güvenlik imkânının yaygınlaştırılması gibi iyileştirmeler yapılabilir.

Yapılan AHP analizinden çıkan sonuca göre 'T4' kriteri en kötü sonuç çıkmıştır. İklim değişikliği ve çevre kirliliği yani

iklim değişikliği ve çevre kirliliğidir. Buradan çıkan sonuç Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına denk gelmektedir. İklim değişikliği sonucu dünyada yaşayan canlılara tehdit oluşturduğu için kaynak kullanımlarının daha düzenli şekilde kullanılması, su israfının önüne geçilmesi, hava kirliliği için gereken önlemlerin alınması adına çalışma yapılması ve insanların bu konular hakkında bilinçlendirilmesi gereklidir.

Bu çalışma Tübitak 2209-A kapsamında desteklenmiştir.

## **Kaynakça**

Abdel-Basset, M., Mohamed. M., & Smarandache, F. (2018). An Extension of Neutrosophic AHP–SWOT Analysis for Strategic Planning and Decision-Making. *Symmetry* 10, 116; doi:10.3390/sym10040116.

Büyüközkan, G., Mukul, E., Kongar, E., Socio-Economic Planning Sciences, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.10092>

Deutsch, G. (2010). RapidMiner from Rapid-I at CeBIT. *Data Mining Blog*, March 18.

Güryeli M. (2016). Ar-Ge projeleri seçim probleminin AHP yöntemi ile incelenmesi: Kamu destekli teknolojik ürün yatırım destek programı üzerine bir uygulama Adnan Menderesi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

He W., Zha S. & Li L. (2013). Social media competitive analysis and text mining: A case study in the pizza industry. *International Journal of Information Management* 33, 464-472.

Karaman A. E. (2011). Üniversitelerin stratejik planlarındaki swot analizleri, İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı / Eğitim Yönetimi ve Denetimi Bilim Dalı.

Kumar, A., Dabas, V., & Hood, P. (2020). Text classification algorithms for mining unstructured data: a SWOT analysis,

*International Journal of Information Technology* volume 12, pages1159–1169.

Norris, D. (2013). RapidMiner - a potential game changer. *IT-Director.com*, November 22.

Okumuş B. (2007). Kamu kuruluşları stratejik planlama sürecinde paylaşılan vizyon oluşturulması: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Örneği, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Palka, G., Oliveira, E., Pagliarin, S., & Hersperger, A. M. Strategic spatial planning and efficacy: an analytic hierarchy process (AHP) approach in Lyon and Copenhagen, *European Planning Studies* <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1828291>

Rojas, C. V., Reyes, E. R., Hernández, F. A. & Robles, G. C. (2018). Integration of a text mining approach in the strategic planning process of small and medium-sized enterprises, *Industrial Management & Data Systems* Vol. 118 No. 4, 745-764.

Saaty, T.L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In *Mathematical Models for Decision Supported*; Springer: Berlin, Germany, pp. 109–121

Şeker, Ş. E., (2012). Turkish Query Engine on Library Ontology. *IKE12, Internet Knowledge Engineering*, ISBN:1-60132-222-4, Pages:26-33

Turban E., Sharda R., & Delen D. (2011). *Decision Support and Business Intelligence Systems* (9. Baskı). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Vaidya, O.S., Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 2006, 169, 1–29.

Yunus, E. (2019). Stratejik yönetimde Swot analizi ve bir işletmede uygulanması, İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.



# Amazon Ürün Değerlendirmeleri Üzerinde Derin Öğrenme/Makine Öğrenmesi Tabanlı Duygu Analizi Yapılması

Ömer Faruk Göçgün\*, Aytuğ Onan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1957-0794), [farukgocgun@gmail.com](mailto:farukgocgun@gmail.com)

<sup>2</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9434-5880), [aytug.onan@ikc.edu.tr](mailto:aytug.onan@ikc.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.902674)

**ATIF/REFERENCE:** Göçgün, Ö. F. & Onan, A. (2021). Amazon Ürün Değerlendirmeleri Üzerinde Derin Öğrenme/Makine Öğrenmesi Tabanlı Duygu Analizi Yapılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 445-448.

## Öz

Bu çalışma da, amazon ürün yorumları veri seti üzerinde Makine öğrenmesi yöntemleriyle, duygu analizi sınıflandırma performansları analiz edilmiştir. Yapılan çalışma, ürün yorumlarının duygu içerip içermediği, içeriyorsa olumlu, olumsuz veya tarafsız olma durumunun belirlenmesidir. Çalışmada, Kaggle amazon ürün yorumları[1] içeren veri seti edinilmiş ve Python dili kullanılarak Jupyter Lab üzerinde 4 farklı makine öğrenmesi ile sistem çalıştırılmıştır. Çapraz doğrulama yöntemi k=10 olacak şekilde kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler içerisinde Karar Ağacı sınıflandırma algoritması kullanılan diğer Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri ve Lojistik Regresyon yöntemlerine göre yüzde 94 doğruluk oranı ile daha başarılı olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Duygu analizi, Makine öğrenmesi, F1-puanı.

## Sentiment Analysis with Deep Learning/Machine Learning Techniques on Amazon Products Review

### Abstract

In this study, emotion analysis classification performances of comments were analyzed using machine learning methods on amazon product reviews data set. The study conducted is the determination of whether the product comments contain emotions, if comment contains emotions, whether they are positive, negative or neutral. In the study, the data set includes Kaggle Amazon product reviews [1] was obtained and the system was run with 4 different machine learning algorithms using Python language on Jupyter Lab. The cross validation method was used as k = 10. Among the methods used, it has been experimentally indicates that using Logistic Regression classification algorithm is more successful with an accuracy rate of 96 percent compared to other Naive Bayes, Support Vector Machines and Decision Tree methods

**Keywords:** Sentiment Analysis, Machine learning, F1-Score.

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

## 1. Giriş

Makine Öğrenmesi(MÖ), öğrenme işlemi önceki gözlemlere veya deneyimlere dayanarak geliştirilen sistemlerin geliştirilmesidir[2]. Görüş madenciliği olarak da bilinen duygu analizi ile karar verme sürecini etkileyen duygular ve görüş pazar analizi ve müşteri memnuniyeti gibi pek çok konunun tahmin edilebilmesi sağlanabilmektedir[3]. Duygu analizi ile metinlerde geçen duygusal kelimelerin çıkartılması ve analiz edilen yazının olumlu, olumsuz veya tarafsız olma durumunun belirlenmesi hedeflenir.[4]

Amazon ürün yorumları üzerinde duygu analizini gerçekleştirmek için pek çok makine öğrenmesi çalışmaları bulunmaktadır.

W. Tan, X. Wang ve X. Xu (2018) çalışmalarında, Naive Bayes, destek vektör makineleri, k en yakın komşu ve yenilenen sinir ağları sınıflandırıcılarının Amazon ürün yorumları üzerinde duygu analizi için tahmin etme başarımlarını değerlendirmiştir. Bu çalışmada, yapay sinir ağları için kullanılan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)yöntemiyle %71.5 ile doğru sınıflandırma elde edildiği gözlenmiştir[5].

J. Sadhasivam ise Naive Bayes, destek vektör makineleri ve ensemble yaklaşımıyla Amazon ürün yorumları üzerinde duygu analizi için başarımları değerlendirmiş ve ensemble yaklaşımıyla %78 civarında başarımlar elde ettiği gözlenmiştir[6].

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Materyal

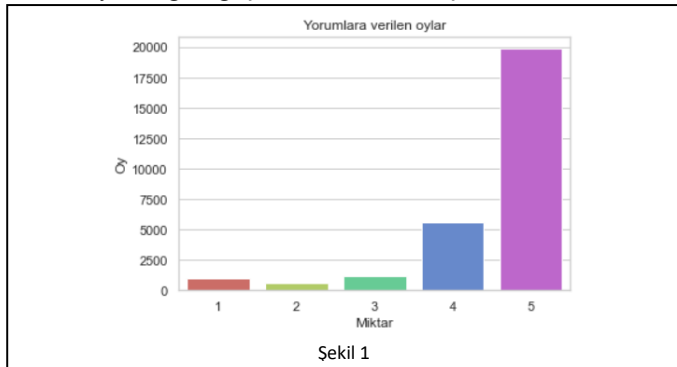
Kaggle[1] üzerinden çekilen veri, ön işlemlerden geçirildikten sonra sınıflandırma algoritmaları ile duygu analizi gerçekleştirilerek çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

#### 2.1.1. Veri Seti

Amazon tüketici ürün yorumları üzerinde duygu analizi yapılabilmesi için Kaggle[1] üzerinde bulunan veri setleri indirilmiş ve en güncel olan (Products\_May2019) veri seti kullanılmıştır.

#### 2.1.2. Veri Özellikleri

28332 satır ve 24 adet kolondan oluşan veri setimizde, oy ve yorum kolonları haricinde ki tüm kolonlar silinmiştir. Yorumlara verilen oyların grafiği şekil 1'de sunulmuştur.



Bu çalışmada kullanılan veri seti, verinin ön işlenmesi ve analizi, duygu sınıflandırması ve görselleştirilmesi sunulmaktadır. Yapılan çalışmada doğruluk, F1 Skor ve hata oranı metrikleri kullanılmıştır.

Uygulamaların gerçekleştirilmesinde, Python programlama dili tercih edilmiştir. Kodlama ortamı olarak Jupyter Lab kullanılmıştır.

Python, Guido van Rossum tarafından ilk sürümü 1991'de ortaya konan genel amaçlı bir programlama dilidir. Diğer dillere göreli öğrenim kolaylığı ve geniş kütüphane desteğiyle oldukça yaygın kullanıcı kitlesine ulaşmıştır.[7] PYPL programlama dilleri popülerlik indeksi 'ne göre Aralık 2019-Aralık 2020 popülerlik sıralamasında Python dilinin 1. Sırada olduğu gözlemlenmiştir[8].

Kodlamalar için Jupyter Lab Notebook kullanılmıştır. Jupyter Lab, çeşitli programlama dilleri için etkileşimli, not defteri benzeri basit bir web ara yüzü bulunan kodları okuyup çalıştırmayı bloklar halinde yapabilen oldukça kullanıcı dostu bir uygulamadır.

Natural Language Toolkit NLTK, insan dili verileriyle çalışmak üzere Python programları oluşturmak için geliştirilmiş platformdur. Sınıflandırma, belirteçleştirme, kök belirleme, etiketleme, ayrıştırma ve anlamsal akıl yürütme için metin işleme[9].

### 2.2.1. Veri Ön İşleme

Yorumların analiz edilebilmesi ve sınıflandırmayı daha verimli olması açısından yorumlar çeşitli ön işlemlerden geçirilmiştir.

Ön işleme işlemlerinde, belirteçleştirme, kök belirleme, etiketleme, sık kullanılan önemsiz kelimelerin çıkartılması ve tüm harfleri küçük harfe dönüştürme gibi işlemler yapılmıştır.

1 ile 5 arası verilen oylar 3 için tarafsız(0 değeri), 3'ten küçük için olumsuz(-1 değeri) ve 3'ten büyük için olumlu(+1) duygu içerdiğine ilişkin oyların duygu değerleri (-1,0 ve +1) hesaplanarak yeni bir kolonda sonuçlar kayıt altına alınmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Duygu Değerlendirmeleri Kayıt Sayıları

Veri(Duygu)	Kayıt Sayısı
+1 (Olumlu)	25545
-1 (Olumsuz)	1581
0 (Tarafsız)	1206

Çalışmada, her bir verideki kelimeler birbirinden ayrıştırılmıştır, ayrıştırma işlemi sonucunda örnek veri şu şekildedir: ['I', 'order', '3', 'of', 'them', 'and', 'one', 'of', 'the', 'item', 'is', 'bad', 'quality', '.', 'Is', 'missing', 'backup', 'spring', 'so', 'I', 'have', 'to', 'put', 'a', 'pcs', 'of', 'aluminum', 'to', 'make', 'the', 'battery', 'work', '.']

Doğal Dil İşleme Kütüphanesi olan NLTK Kütüphanesi ve Etkisiz Kelimeler (stopwords) ile Kelimelerin önek ve

soneklerini ayrıştırabilmek için PorterStemmer paketi eklenmiştir.

Veri setindeki tüm yorumlar bir döngü içerisinde gereksiz kelimelerden ve kelimelerin önek ile soneklerinden temizlenmiştir.

Metin sınıflandırma işlemleri için kelimenin metinde geçme sıklığı TF-IDF (Term Frequency—Inverse Document Frequency) yöntemiyle metnin sayısal veriye dönüştürülmesini sağlanmıştır.

Ön işleme sonuçları yeni bir veri seti olarak kayıt altına alınmıştır.

## 2.2.2 Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

Bu çalışma kapsamında, tüketici yorumlarının duygu analizi için 4 farklı sınıflandırma kullanılmıştır. Bunlar Naive Bayes(NB) sınıflandırıcısı, destek vektör makineleri(SVM), karar ağacı(DT ve lojistik regresyon (LR) algoritmalarıdır.

### 2.2.2.1. Naive Bayes (NB)

Temelinde bağımsız değişken varsayımlarını (ilgili sınıfa ait bir öznelik bir diğerinden bağımsız olduğu) konu alan Bayes teoremi, basit ve kullanımı kolay makine öğrenme algoritmalarından biri [11] olmasına rağmen yüksek başarıyı nedeniyle sıklıkla uygulanmaktadır [3].

### 2.2.2.2. Destek Vektör Makineleri(SVM)

Destek vektör makinesi iki boyutlu uzayda doğrusal, üç boyutlu uzayda düzlemsel ve çok boyutlu uzayda hiper düzlem şeklindeki ayırma mekanizmaları ile veriyi iki ya da daha çok sınıfa ayırma yeteneğine sahiptir [12].

### 2.2.2.3. Karar Ağaçları(DT)

Karar ağaçları gözetimli öğrenme sınıflandırmasında yaygın olarak kullanılan bir algoritma türüdür. Böl ve yönet yaklaşımında yararlanan bir öğrenme modeli, verimli bir şekilde sınıflandırma ve regresyon gerçekleştiren bir yöntemdir. Karar Ağaçları basit ve anlaşılır bir yapıya sahiptir [13].

### 2.2.2.4. Lojistik Regresyon (LR)

Lojistik regresyon, özellikler arasındaki ilişkiyi açıklayan, sınıf etiketi {0,1} şeklinde verilen ikili sınıflandırma problemlerinde kullanılan sınıflandırma yöntemidir[13].

## 2.2.3. Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılmasında Kullanılan Kriterler

Modellerin sınıflandırma performansları, F-1 puanı, kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve doğruluk (accuracy) metrikleri ile sunulmuş ve sınıflandırma performanslarının geçerliliğini artırmak için, k=10 katlamalı çapraz doğrulama yöntemiyle test işlemi tekrar ortaya gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.3.4. K katlamalı çapraz doğrulama

Çapraz doğrulama, tahmine dayalı modellerin genelleme yeteneğini değerlendirmek ve gereğinden fazla uyum ya da yetersiz uyum göstermeyi önlemek için bir veri yeniden örnekleme yöntemidir[10]. K-n katlamalı çapraz doğrulama (K-

fold Cross-Validation) örneklem verilen n değeri kadar doğrulama işlemi tekrar edilir. Bu çalışmada k=10 değeri verilmiştir. 10 defa tekrar yapılan doğrulama da ağırlıklı ortalama alınarak doğruluk oranını daha verimli olması hedeflenmiştir.

### 2.2.3.5. Doğruluk

Bir sınıflandırıcının doğruluğu (Accuracy), toplam doğru sınıflandırılmış pozitiflerin bölünmesi ve toplam numune sayısına göre negatifler ile hesaplanmaktadır [15]:

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

### 2.2.3.6. Hassasiyet

Bir sınıflandırıcının hassasiyeti (Recall), hassasiyet değeri pozitif olarak tahminlenmesi gereken değerlendirmelerin ne kadarının pozitif olarak tahmin ettiğimizi gösteren bir metriktir. [15]

$$\text{Hassasiyet (REC)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

### 2.2.3.7. Kesinlik

Duyarlılık (Precision) değeri pozitif olarak tahminlenmesi gereken değerlendirmelerin ne kadarının pozitif olarak tahmin ettiğimizi gösteren bir metriktir. [15]

$$\text{Kesinlik (PRE)} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

### 2.2.3.8. F-Ölçütü(F-Measure)

F-Ölçütü, Kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall) değerlerinin harmonik ortalamasını göstermektedir. [15]

$$F - \text{measure} = \frac{2*PRE*REC}{PRE+REC} \quad (4)$$

Formüllerde belirtilen; TP, FP, TN ve FN sırası ile doğru pozitif, yanlış pozitif, doğru negatif ve yanlış negatif sayılarını temsil etmektedir [15].

### 2.2.3.9.ROC eğrisi ve Eğri Altında Kalan Alan

ROC eğrisi, sınıflandırma performansını gösterir. X ekseninde yanlış pozitif oran(FPR) ve Y ekseninde doğru pozitif oran (TPR) bulunmaktadır.

AUC, "ROC Eğrisi Altındaki Alan" anlamına gelir. Yani, AUC, (0,0) 'dan (1,1)' e kadar tüm ROC eğrisinin altındaki iki boyutlu alanın tamamını ölçerek, tüm olası sınıflandırma eşiklerinde toplu bir performans ölçüsü sağlar.[16]

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada 28332 adet ürün yorumu içeren veri seti kullanılmıştır. Makina öğrenmesi yöntemleriyle Naive Bayes (NB), Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağacı (DT) ve Lojistik Regresyon (LR) sınıflandırma algoritmalarından yararlanılmıştır. Veri setinin eğitimi ve sınıflandırma sürecinden önce ön işleme aşamaları uygulanmıştır. Ön işlemeden sonra yorumları içeren metnin sayısal veriye dönüştürülmesi için kelimenin metinde geçme sıklığı(TF-IDF) yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmalarının hepsinde veri setinin %80'i eğitim, %20'si ise test için kullanılmıştır.

## 4. Sonuç

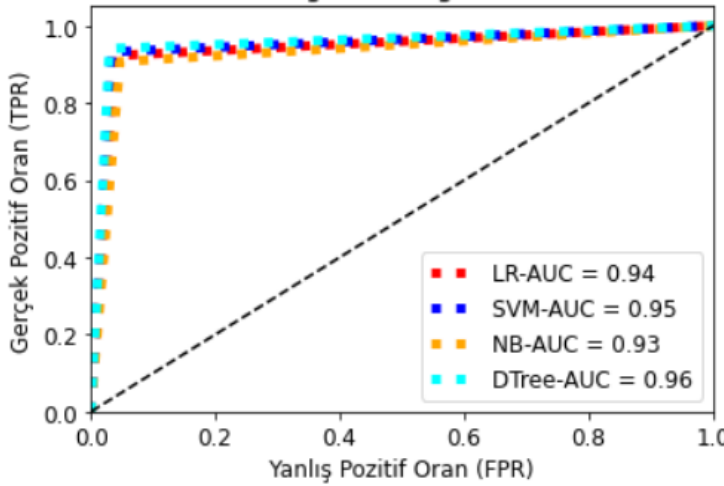
Kullanılan yöntemler içinde Karar ağacı yöntemi %94 doğruluk oranı ve %75 F-puanıyla yüksek başarımla elde etmiştir. Diğer sınıflandırıcılara göre Naive Bayes daha düşük başarımla elde etmiştir.

Şekil 2'de ise sınıflandırıcıların eğri altında kalan(AUC) grafiği gösterilmiştir.

Tablo 2.Sınıflandırıcıları Analiz Oranları

Test sonuçları	Sınıflandırma Algoritmaları			
	NB	SVM	DT	LR
1) Doğruluk	0.90	0.93	<b>0.94</b>	0.92
2) Katlamalı çapraz doğrulama	0.90	0.92	<b>0.93</b>	0.92
3) Kesinlik	0.86	0.90	<b>0.77</b>	0.71
4) Hassasiyet	0.37	0.54	<b>0.74</b>	0.47
5) F-1 Puanı	0.39	0.57	<b>0.75</b>	0.51
6) AUC	0.93	0.95	<b>0.96</b>	0.94

Şekil 2.ROC-AUC Değerleri



## Kaynakça

- [1] Amazon Tüketici Ürün Değerlendirmeleri veri seti, Erişim adresi <https://www.kaggle.com/datafiniti/consumer-reviews-of-amazon-products>
- [2] Bilgin M. (2017), "Gerçek Veri Setlerinde Klasik Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Performans Analizi", 19. Akademik Bilişim Konferansı Breast, 2(9) 683.
- [3] Onan, A. (2017). Twitter mesajları üzerinde makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı duygu analizi. Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi, 3 (2) , 1-14. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybs/issue/33128/368593>
- [4] Seker S.E. (2015), "Metin madenciliği", YBS ansiklopedi, 2(3), 32. Erişim adresi [http://ybsansiklopedi.com/wp-content/uploads/2015/08/MetinMadenciligi30\\_32.pdf](http://ybsansiklopedi.com/wp-content/uploads/2015/08/MetinMadenciligi30_32.pdf)
- [5] Tan W, Wang X. ve Xu X.(2018), "Analysis for Amazon Reviews" Erişim adresi <http://cs229.stanford.edu/proj2018/report/122.pdf>

- [6] Sadhasivam, Jayakumar & Babu, Ramesh. (2019). Sentiment Analysis of Amazon Products Using Ensemble Machine Learning Algorithm. International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. 4. 508-520. 10.33889/IJMEMS.2019.4.2-041.
- [7] Malkoç B.(2012), "Temel Bilimler ve Mühendislik Eğitiminde Programlama Dili Olarak Python", XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 201.
- [8] PYPL, programlama dilleri popülerlik indeksi(2020), Erişim Adresi <https://pypl.github.io/PYPL.html>
- [9] NLTK (2020) Erişim Adresi <http://www.nltk.org/>
- [10] Berrar D.(2019), "Cross-validation", Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology 1 (542-545)
- [11] Şahin E. (2018), "Makine öğrenme yöntemleri ve kelime kümesi tekniği ile istenmeyen eposta sınıflandırması" yüksek lisans tezi, sayfa 8, Hacettepe üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [12] Güran, A, Uysal, M, Doğrusöz, Ö. (2014). Destek vektör makineleri parametre optimizasyonunun duygu analizi üzerindeki etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 16 (48) , 86-93. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/40797/492168>
- [13] Kalaycı, T. (2018). Kimlik hırsızları web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (5) , 870-878. Erişim Adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/39683/469468>
- [14] Yengi, Y, İlhan Omurca, S. (2016). Lojistik Regresyonun Özellik Azaltma Teknikleri ile Gen Dizilimlerinin Sınıflandırılmasındaki Başarısı. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 8 (1) , 1-12. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbbmd/issue/22248/238832>
- [15] Memiş, S, Enginoğlu, S, Erkan, U. (2019). A Data Classification Method in Machine Learning Based on Normalised Hamming Pseudo-Similarity of Fuzzy Parameterized Fuzzy Soft Matrices. Bilge International Journal of Science and Technology Research, ICONST 2019, 1-8. DOI: 10.30516/bilgesci.643821
- [16] Google Machine Learning Crash Course(2020), Erişim adresi <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/roc-and-auc>





# Mekân-Zamansal Veri Madenciliği Yöntemi ile Otobüs Durak İhlallerinin Tespiti

Murat Taşyürek<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5623-8577), [murattasyurek@kayseri.edu.tr](mailto:murattasyurek@kayseri.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.899717)

**ATIF/REFERENCE:** Taşyürek, M. (2021). Mekân-Zamansal Veri Madenciliği Yöntemi ile Otobüs Durak İhlallerinin Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 449-454.

## Öz

Otobüsler, nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde günlük hayatta sıklıkla kullanılan toplu taşımacılığının en önemli bileşenlerinden birisidir. Ulaşım için otobüsleri kullanan birçok insan otobüs durak ihlallerinden dolayı günlük hayat planlamasında işe geç kalma veya eve geç kalma gibi problemler yaşamaktadır. Bu problemi yaşayan insanlar genellikle ilgili belediyenin çağrı merkezi veya web sitesi üzerinden durak numarası ve otobüs hattı gibi bilgiler ile şikâyet talebi oluşturur. İlgili belediye talebi inceleyerek gerçekte bir durak ihlali olup olmadığını tespit eder ve durak ihlali varsa ona göre aracı kullanan şoföre belirlenen kurallar çerçevesinde yaptırım uygular. Bu durum, durakta bekleyen gerçek bir vatandaş var ise ve ilgili vatandaş talep oluşturursa tespit edilmekte ve vatandaş tarafından da bir mağduriyet ve onun sonucunda ilgili belediye hizmetlerinden memnuniyetsizlik oluşmaktadır. Bu sorunların oluşmaması için otobüs durak ihlallerinin herhangi bir şikâyet talebi gelmeden tespit edilmesi ve durak ihlalinin tekrarlanmaması için gerekli işlemlerin yapılması önem arz etmektedir. Otobüs durak ihlallerinin tespiti otobüste bulunan cihazların gönderdiği GPS sinyallerinin yanlış konumu göstermesi veya GPS sinyallerini düzenli olarak göndermemesinden kaynaklı zor bir problemdir. Literatürde otobüs durak ihlallerinin tespiti için veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kuralı tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, otobüs durak ihlallerinin tespiti için birliktelik kuralı tabanlı mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansı gerçek veriler üzerinde birliktelik kuralı tabanlı mekânsal veri madenciliği yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, Kayseri Büyükşehir Belediyesine ait 800 adet farklı otobüs hattının güzergâh verileri, bu hatlarda çalışan araçların mekân-zamansal GPS verileri ve 6482 adet otobüs durağının konum verileri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, birliktelik kuralı tabanlı mekân-zamansal veri madenciliği yaklaşımının mekânsal veri madenciliği yaklaşımına göre daha tutarlı ve doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mekânsal veriler, Mekân-zamansal veri madenciliği, Otobüs durak ihlali.

## Determination of Bus Station Violations with Spatial-Temporal Data Mining Method

### Abstract

Buses are one of the most important components of public transportation, which is frequently used in daily life in cities with high population density. Many people who use buses for transportation experience problems such as being late for work or being home late due to daily life planning due to bus station violations. People who have this problem usually create a complaint request through the relevant municipality's call center or website with information such as station and route number. The relevant municipality examines the request and determines whether there is a real violation of the station and if there is the station violation, it imposes sanctions on the driver who uses the vehicle according to the determined rules. This situation is determined if there is a real citizen waiting at the

\* Sorumlu Yazar: [murattasyurek@kayseri.edu.tr](mailto:murattasyurek@kayseri.edu.tr)

station and the relevant citizen creates a request, and there is a grievance on the part of the citizen and dissatisfaction with the relevant municipal services as a result. In order to prevent these problems, it is important that the bus station violations are detected before any complaint is requested and the necessary actions are taken to prevent the station violation from being repeated. Detection of bus station violations is a difficult problem due to the GPS signals sent by the devices on the bus showing the wrong location or not sending the GPS signals regularly. In the literature, association rule-based methods, one of the data mining methods, are used to detect bus station violations. In this study, an association rule-based spatio-temporal data mining method is proposed to detect bus station violations. The performance of the proposed method has been compared with the association rule based spatial data mining method on real data. In this study, route data of 800 different bus routes belonging to Kayseri Metropolitan Municipality, spatial-temporal GPS data of vehicles operating on these routes and location data of 6482 bus stations were used. Experimental results show that the association rule-based spatial-temporal data mining approach gives more consistent and accurate results than the spatial data mining approach.

**Keywords:** Spatial data, Spatio-temporal data mining, Bus station violation.

## 1. Giriş

Otobüsler, nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde günlük hayatta sıklıkla kullanılan toplu taşımacılığının en önemli bileşenlerinden birisidir (Taşyürek ve ark., 2020). Ulaşım için otobüsleri kullanan birçok insan otobüs durak ihlalinin dolayısıyla günlük hayat planlamasından işe geç kalma veya eve geç kalma gibi problemler yaşamaktadır (Doğan ve ark., 2017). Toplu ulaşımda bekleme süresi, yolcuların algıladığı hizmet seviyesinin en önemli göstergelerinden biridir. Bu problemi yaşayan insanlar genellikle ilgili belediyenin çağrı merkezi veya web sitesi üzerinden durak numarası ve otobüs hattı gibi bilgiler ile şikâyet talebi oluşturur. İlgili belediye talebi inceleyerek gerçekte bir durak ihlali olup olmadığını tespit eder ve durak ihlali varsa ona göre aracı kullanan şoföre belirlenen kurallar çerçevesinde yaptırım uygular. Bu durum, durakta bekleyen gerçek bir vatandaş var ise ve ilgili vatandaş talep oluşturursa tespit edilmekte ve vatandaş tarafında da bir mağduriyet ve onun sonucunda ilgili belediye hizmetlerinden memnuniyetsizlik oluşmaktadır. Bu sorunların oluşmaması için otobüs durak ihlallerinin herhangi bir şikâyet talebi gelmeden tespit edilmesi ve durak ihlalinin tekrarlanmaması için gerekli işlemlerin yapılması önem arz etmektedir. Otobüs durak ihlalinin tespiti otobüste bulunan cihazların gönderdiği GPS sinyallerinin yanlış konumu göstermesi veya GPS sinyallerini düzenli olarak göndermemesinden kaynaklı zor bir problemdir.

Literatürde otobüs durak ihlallerinin tespiti için veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kuralı tabanlı yöntemler kullanılmaktadır (Kargupta, 2013; ve Samerei ark., 2020; Xydas ve ark., 2013). Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasında değerli, ilginç ve anlamlı bilgileri çeşitli yöntem ve teknikler yardımıyla tespit edilmesi olarak tanımlanır (Taşyürek ve ark., 2020). Veri madenciliği yöntemleri mekânsal, zamansal ve mekân-zamansal olarak kendi içerisinde gruplandırılabilir (Shekhar ve ark., 2008; Taşyürek ve ark., 2021). Mekânsal veri madenciliği konum (spatial) bilgilerini içeren veri kümelerine veri madenciliği yöntemleri uygulayarak konumlar ile ilgili faydalı bilgilerin ortaya çıkarılması olarak ifade edilir (Taşyürek ve ark., 2020). Zamansal veri madenciliği; zaman bilgileri içeren veri kümelerinde zamana bağlı veriler içerisinden anlamlı bilgiler çıkarmayı amaçlar (Mitsa, 2010). Mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ise konum ve zaman bilgilerini içeren veri kümelerinden veri madenciliği yöntemleri ile örüntü ve bilgi keşfetme olarak tanımlanır (Compieta ve ark., 2007). Bu çalışmada, otobüs durak ihlallerinin tespiti için birliktelik kuralı tabanlı mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen sistemde Oracle veri tabanında gerçek veri olarak Kayseri Büyükşehir Belediyesi'ne (KBB) ait farklı

otobüs hatlarının güzergâh verileri, bu hatlarda çalışan araçların mekân-zamansal GPS verileri ve otobüs duraklarının konum verileri kullanılmıştır.

Bu çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde mekân-zamansal veri madenciliği modeli tanıtılmış, otobüs GPS verilerinin mekân-zamansal olarak tutulduğu veri kümesinde durak ihlal tespiti tartışılmış ve sonuçlar bölümünde ise yapılan deney sonuçları ve uygulama paylaşılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi otobüs durak ihlallerinin tespiti için mekân ve zaman bilgilerini içeren gerçek veri kümesinde kullanılmıştır. Bu nedenle öncelikle mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi tanıtılacak ve daha sonra ise bu yöntem ile otobüs durak ihlali tespit işlemleri tartışılacaktır.

### 2.1. Mekân-zamansal Veri Madenciliği Yöntemi

Mekânsal veri madenciliği konum (spatial) bilgilerini içeren veri kümelerine veri madenciliği yöntemleri uygulayarak konumlar ile ilgili faydalı bilgilerin ortaya çıkarılması olarak ifade edilir (Taşyürek ve ark., 2020). Zamansal veri madenciliği; zaman bilgileri içeren veri kümelerinde zamana bağlı veriler içerisinden anlamlı bilgiler çıkarması, mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ise konum ve zaman bilgilerini içeren veri kümelerinden veri madenciliği yöntemleri ile örüntü ve bilgi keşfetme olarak tanımlanır (Mitsa, 2010; Compieta ve ark., 2007). Mekânsal, zamansal ve mekân-zamansal veri madenciliği yöntemleri veri madenciliği yöntemleri üzerine kuruludur. En yaygın kullanılan veri madenciliği yöntemlerinden bir tanesi de birliktelik kuralıdır (Koperski ve ark., 1995). Olayların birlikte gerçekleşme durumlarını çözümlen veri madenciliği yöntemi olarak tanımlanan birliktelik kuralı önceki verilerin analiz edilerek bu veriler içindeki birliktelik davranışlarının tespit edilmesi ile geleceğe yönelik çalışmalar yapılmasını destekleyen bir yöntemdir. Birliktelik kuralı tabanlı veri madenciliği yöntemi, sık geçen bütün öğelerin bulunması ve sık geçen bu öğelerden güçlü birliktelik kurallarının oluşturulması olarak ifade edilir. Birliktelik kuralının ilk aşaması için genellikle Apriori Algoritması kullanılır (Aflori ve ark., 2007). Algoritma ismini geçmiş verileri incelediğinden dolayı önceki anlamına gelen prior kelimesinden almaktadır (Yuan, 2017). Bu algoritmada özellikler ve veri, mantıksal (boolean) ilişki kuralları ile değerlendirilir (Yabing, 2013). Bu çalışmada Apriori algoritmasının mantıksal ilişki özelliği kullanılarak çözüm üretilmiş ve Bölüm 3.1 ve 3.2'de sunulmuştur.

### 3. Problem ve Çözümler

Problem, KBB tarafından ulaşım sisteminde çalışan araçların güzergâh ihlallerinin tespit edilmesinde ortaya çıkmıştır. İlk olarak uygulamada, mekânsal veri madenciliği yöntemi birliktelik kuralı uygulanmış ve otobüs durak ihlali tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak, geliştirme aşamasında mekânsal veri madenciliği tabanlı sistemin özellikle otobüsün konum göndermediği durumlarda başarılı sonuçlar üretmediği görülmüştür. Bu noktada, konum verileri zaman bilgilerini içerdiğinden dolayı mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi birliktelik kuralı tabanlı bir yöntem önerilmiş ve otobüs durak ihlalleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### 3.1. Mekânsal Veri Madenciliği Yöntemi

Yapılan incelemeler sonucunda otobüs hat numarası, hat güzergâhı, araç numarası, otobüs durak numarası ve durak konumu bilgilerinin normalizasyon işlemleri ile oracle veri tabanında mekânsal veri tablolarında tutulduğu tespit edilmiştir. Verilerin tutulduğu tablolar aşağıda gösterilmiş, tablo isimleri kalın renkli, birincil anahtar altı çizili, ikincil anahtarlar ise italik olarak sunulmuştur:

- **OtoDurak** (DurakNo, *Adi*, *Geometri*)
- **Hat** (HatNo, *Adi*, *Geometri*)
- **Arac** (AracNo, *Plaka*, *Turu*)
- **AracHatKonum** (AracNo, HatNo, *Geometri*, *Tarih*, *BirOncekiKonumZamanFarki*)
- **OtoHatDurak** (HatNo, DurakNo, *SıraNo*)

OtoDurak tablosu durak numarasının, durak adının ve durak konumunun geometri veri tipi olarak nokta türünde tutulduğu mekânsal bir tablodur. Hat tablosu, ulaşım sisteminde çalışan seferlerinin hat numarasının, güzergâh isminin ve güzergâh geometrik verisinin çizgi (line) formatında tutulduğu mekânsal tablodur. Arac tablosu ulaşım sisteminde çalışan araçların araç numarasının, plakasının ve aracın tür bilgisinin tutulduğu tablodur. AracHatKonum tablosu ulaşım sisteminde çalışan aracın hangi hatta çalıştığını bilgisinin mekânsal olarak tutulduğu en önemli tablodur. Bu tabloda araç numarası, hat numarası, aracın o an için nerede olduğunun konumu geometrik veri tipi olarak nokta formatında ve zaman bilgisi saniye bilgi detayıyla tutulmaktadır. OtoHatDurak tablosu ise bir hat güzergâhında bulunan durak bilgilerinin tutulduğu tablodur. Bu

tabloda hat numarası, durak numarası ve hattın sırası ile hangi duraklara uğrayacağını bilgisi sıra numarası ile tutulmaktadır.

Mekânsal veri madenciliği birliktelik yöntemi ile otobüs durak ihlali tespit edilirken öncelikte aracın çalıştığı hattın güzergâhında olması gerekmektedir. Şekil 1’de gösterilen sorgu aracın hatta olup olmadığını göstermektedir. Burada mekânsal veri madenciliği yöntemlerinden olan birliktelik kuralının mantıksal (boolean) özelliği kullanılmaktadır. Hat üzerinde çalışan aracın konumu hatta 30 metre mesafeden daha yakınsa aracın o hatta çalıştığı kabul edilmektedir yani bu durumda araç ve hat birliktedir. Bu kural oracle veri tabanının mekânsal sorgularından olan Şekil 1’de gösterilen “SDO\_GEOM.WITHIN\_DISTANCE” mantıksal fonksiyonu ile sağlanmaktadır. Şekil 1’de bulunan sorguda geçen “PARAM\_ARACNO” parametresi güzergâh ihlali tespiti için incelenen aracın araç numarasını ifade etmektedir.

İncelenen araç otobüs güzergâhında çalışıyor ise bu durumda aracın duraklara uğrayıp uğramadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu durumda Şekil 2’de bulunan sorgu ile tespit edilmektedir. Bu sorguda da mekânsal veri madenciliği yöntemi mantıksal birliktelik kuralı uygulanmaktadır. Hatta çalışan araç hatta bulunan duraklara 200 metreden daha yakın mesafede bulunmuş ise bu araç duraklara uğradı olarak kabul edilmektedir. Burada mesafenin 200 metre seçilmesine KBB ile yapılan görüşmeler neticesinde karar verilmiştir. KBB tarafından kullanılan ulaşım sisteminde araçlar 7 saniye aralıklara konum göndermektedir (Taşyürek ve ark., 2020). Bu da yaklaşık olarak durağın 100 metre öncesi veya 100 metre sonrasında gelebilmektedir ve bu durumları durak ihlali tespit etmemesi için 200 metre eşik değer olarak seçilmiştir. Bir araç durağa 200 metreden daha yakın konumda bulunmuş ise araç durağa uğramıştır ve mekânsal veri madenciliği açısından ise araç ile durak birliktedir. Sistemde incelenen aracın uğraması gereken bütün duraklardan uğramış olduğu duraklar çıkartıldığında aracın uğramadığı duraklar tespit edilmektedir.

#### 3.2. Mekân-zamansal Veri Madenciliği Yöntemi

Mekânsal veri madenciliği yöntemi ile önerilen çözüm, ulaşım sisteminde çalışan araçların düzenli olarak konum gönderdiğinde başarılı sonuçlar üretmesine rağmen kırsal kesim gibi arazi şartlarının uygun olmadığı yerlerde araçların konum göndermediğinde, anlık konum kaybında veya hava şartlarından

```
SELECT * FROM HAT H, ARACHATKONUM K
WHERE K.ARACNO =PARAM_ARACNO
AND H.HATNO = K.HATNO
AND SDO_GEOM.WITHIN_DISTANCE (K.GEOMETRI ,H.GEOMETRI , 'distance=30 ')='TRUE '
```

Şekil 1 Araç Hat Sorgusu

```
SELECT * FROM OTODURAK D, ARACHATKONUM K, OTOHATDURAK H
WHERE K.ARACNO =PARAM_ARACNO
AND H.HATNO = K.HATNO
AND H.DURAKNO = D.DURAKNO
AND SDO_GEOM.WITHIN_DISTANCE (K.GEOMETRI ,D.GEOMETRI , 'distance=200 ')='TRUE '
```

Şekil 2 Araç Durak Sorgusu

kaynaklı konum gönderme durumunda istenilen sonuçları elde edilememiştir. Örneğin araç iki dakika gibi bir zaman aralığında konum göndermediğinde mekânsal veri madenciliği yöntemi öncelikle aracın uğradığı durakları tespit edecek daha sonrada uğraması gereken duraklardan uğradı durakları çıkararak uğramadığı durakları tespit edecektir. Fakat iki dakika boyunca konum göndermediği ancak gerçekte araç tarafından uğranan duraklar bu yöntemde aracın uğramadığı duraklar olarak gösterilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için dolayısı ile araç konum göndermediğinde durak ihlali olarak algılanmasının önüne geçmek için mekân-zamansal veri madenciliği birliktelik kuralı tabanlı bir çözüm önerilmiştir. Mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi mantıksal birliktelik kuralı ulaşım sistemine uygulandığı zaman aracın mekânsal ve zamansal veri madenciliği yönteminin kurallarını aynı anda sağlaması gerekmektedir. KBB ile yapılan görüşmeler neticesinde araçlar 7 saniye aralıkla konum gönderdiğinden ve aracın durağa uğramış olarak kabul edilmesi için durağa 200 metre mesafeden daha yakın olması gerektiğinden dolayı zamansal veri madenciliği şartı 30 saniye olarak alınmıştır. Mekân-zamansal veri madenciliği yönteminde durak ihlalinin tespiti için aracın göndermiş olduğu konumların zaman farkları en az 30 saniye olmalıdır. Diğer bir ifade ile aracın göndermiş olduğu iki konum arasındaki zaman farkı 30 saniyeden daha fazla ise bu araçta durak ihlali aranmamalıdır. Mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi açısından aracın göndermiş olduğu bütün konumlar arasındaki zamansal mesafe 30 saniyeden daha küçük ise bu konumlar zamansal açıdan birliktedir. Zamansal birlikteliği gösteren bu kural Şekil 3'te gösterilmiştir.

```
SELECT COUNT(*) AS ADET FROM ARACHATKONUM K
WHERE K.ARACNO =PARAM_ARACNO
AND BIRONCEKIKONUMZAMANFARKI > 30
```

Şekil 4 Zamansal Birliktelik Sorgusu

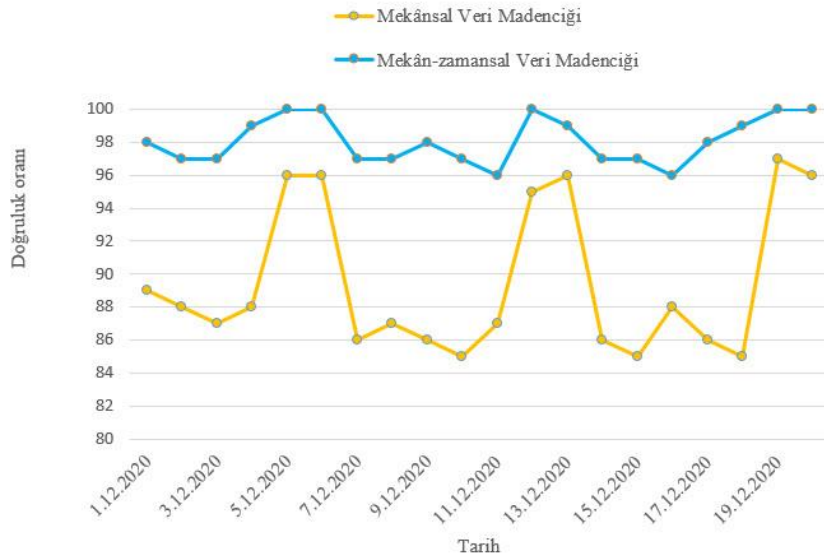
Mekân-zamansal veri madenciliği yönteminde öncelikle Şekil 3'te bulunan sorgu çalıştırılır. Bu sorguda dönen değerın sıfır olması gerekmektedir. Değer sıfır döndüğünde mekân-zamansal veri madenciliği açısından tüm konumlar zamansal açıdan birliktedir. Bu kural sağlandıktan sonra Şekil 1 ve 2'de bulunan konumların mekânsal olarak birlikte olduğunu gösteren sorgula çalıştırılır. Bu üç sorgu sayesinde mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ile otobüs durak ihlali tespit edilir.

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada KBB'den alınan gerçek mekânsal ulaşım verileri kullanılmıştır. KBB'ye ait verilerin özet bilgisi Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de KBB'ye ait 800 adet farklı otobüs hat güzergâhının, güzergâhın geçtiği durakların ve bu güzergâhta çalışan araçların mekân-zamansal veriler hakkında bilgi sunulmuştur. KBB tarafından 2020 yılı aralık ayına ait veriler paylaşılmıştır. Bu zaman içerisinde veri tabanında araçların konum geçişini gösteren yaklaşık olarak 82.000.000 kayıt bulunmaktadır.

Tablo 1. KBB Mekânsal Veriler

Tablo Adı	Geometrik Veri Tipi	Kayıt Sayısı
OtoDurak	Nokta	6.482
Hat	Çizgi	800
AracHatKonum	Nokta	82.000.000
OtoHatDurak	-	53.317
Arac	-	1.172



Şekil 3 Yöntemlerin Doğruluk Oranı

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler Intel Xenon E5-2660 V3 2.30 GHz (4 Core) 16 GB Ram 500 GB Sata disk özelliklerine sahip ve Windows Server 2016 sunucu işletim sistemi kurulu olan bir bilgisayar ortamında çalıştırılmıştır.

#### 4.1. Deneysel Sonuçlar

Mekânsal veri madenciliği yöntemi ve mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ile oluşturulan çözümlerinin sonuçları karşılaştırmak için 2020 yılı aralık ayının ilk yirmi günü için yaklaşımların durak ihlali olarak tespit etmiş olduğu bütün seferler incelenmiştir. Her iki yöntem içinde durak ihlali olarak tespit ettiği seferlerin gerçekten ihlal olup olmadığı harita üzerinde aracın göndermiş olduğu konumlar kontrol edilerek araştırılmıştır. Yöntemlerin doğruluk oranı Şekil 4'te verilmektedir. Şekilde yöntemlerin doğru tespit ettiği sefer sayısının toplam tespit sefer sayısına oranı doğruluk oranı olarak belirtilmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü üzere mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi mekânsal veri madenciliği yöntemine göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi zamansal birliktelik incelediğinden dolayı araçların konum göndermediği durumları incelememiş düzenli olarak konum gönderdiği durumları incelenmiş ve bu yüzden durak ihlallerini daha başarılı olarak tespit etmiştir. Mekânsal veri madenciliği yöntemi araçların GPS verilerini göndermediği durumlarda zamansal birlikteliği dikkate almadığından dolayı bu seferleri durak ihlali olarak tespit etmektedir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde bazı günlerde yaklaşımların başarı oranlarının birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi ise covid-19 salgınının yayılmasını önlemek için sokağa çıkma yasağı ilan edilmesinden dolayı o gün düzenlenen sefer sayılarının az olmasıdır.

#### 4.2. Durak İhlal Tespit Uygulaması

Önerilen mekân-zamansal veri madenciliği tabanlı yaklaşım KBB'nin kurumsal portal sayfasında aktif olarak

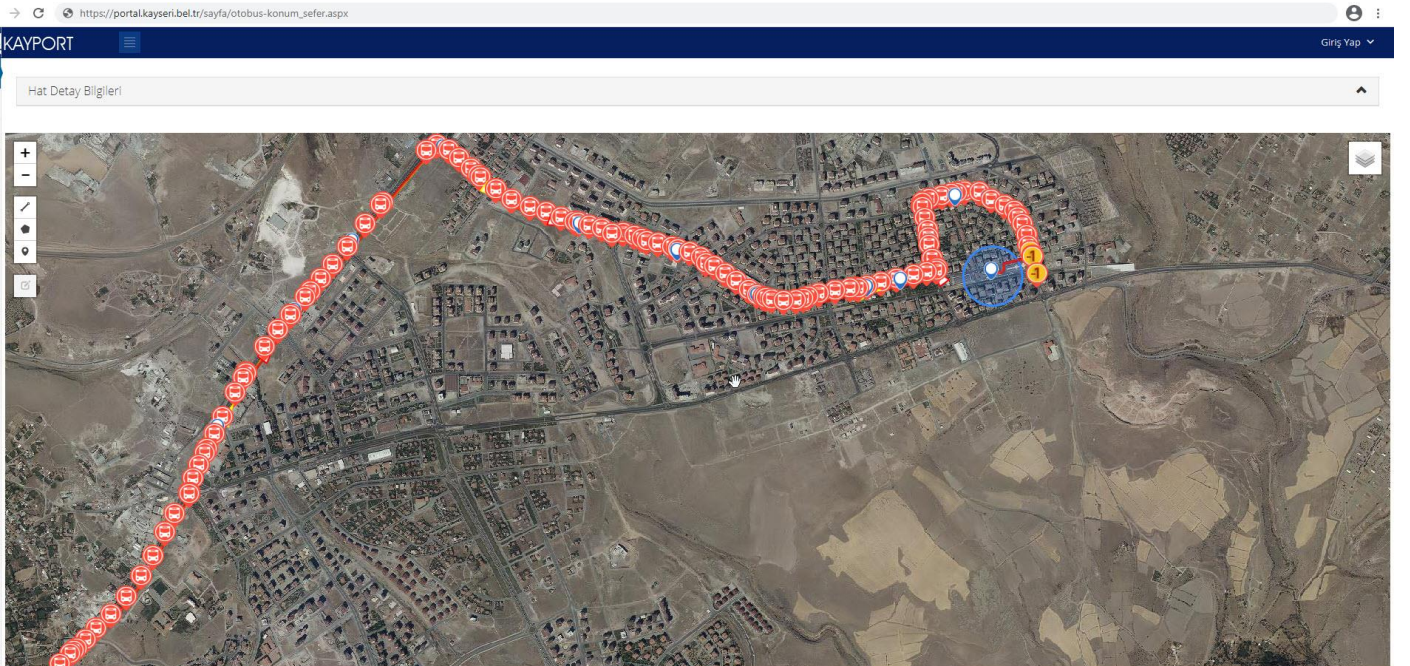
kullanılmaktadır. İlgili sayfaya kurum içerisinde yetkilendirilen personeller erişebilmektedir. Şekil 5'te KBB tarafından kullanılan ve sistem tarafından tespit edilen durak ihlali gösterilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere araç tarafından düzenli olarak GPS verileri gönderilmektedir. Fakat araç ana duraktan hareket etmesi gerekirken ana durağa uğramadan direkt sefere başlamıştır. Önerilen sisteme aracın uğramadığı durak mavi renkle çizili çember içerisinde gösterilmektedir.

#### 5. Sonuç

Mekânsal ve mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konum verilerinin zamanla ilişkisinin olduğu veya zaman göre değiştiği durumlarda mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi mekânsal veri madenciliği yöntemine göre daha başarılı sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada, ulaşım sistemine çalışan araçların göndermiş olduğu GPS verilerinin mekân ve zaman bilgileri ile birlikte tutulduğu mekânsal veri tabanında otobüs durak ihlallerinin mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ile tespit edilmesi için sistem önerilmiştir. Önerilen mekân-zamansal veri madenciliği tabanlı sistemin çözümünün performansı mekânsal veri madenciliği tabanlı sistemin çözümünün performansı ile KBB'den alınan gerçek veriler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar mekân-zamansal veri madenciliği yöntemi ile geliştirilerek önerilen çözümün mekânsal veri madenciliği yöntemi ile geliştirilen çözüme göre daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

#### 6. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan ulaşım sistemine ait otobüs hatlarının ve durakların mekânsal konum verilerini ve ulaşım araçların mekân-zamansal GPS verilerini paylaştığı için Kayseri Büyükşehir Belediyesi'ne (KBB) teşekkürlerimi sunarım.



Şekil 5 KBB Durak İhlal Tespiti

## Kaynakça

- Aflori, C., & Craus, M. (2007). Grid implementation of the Apriori algorithm. *Advances in engineering software*, 38(5), 295-300.
- Compieta, P., Di Martino, S., Bertolotto, M., Ferrucci, F., & Kechadi, T. (2007). Exploratory spatio-temporal data mining and visualization. *Journal of Visual Languages & Computing*, 18(3), 255-279.
- Doğan, G., Özuysal, M. (2017). Toplu Ulaşımında Bekleme Süresini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi: Güvenilirlik, Yolcu Bilgilendirme Sistemi ve Fiziksel Koşullar. *Teknik Dergi*, 28 (3), 7927-7954. DOI: 10.18400/tekderg.307513
- Kargupta, H. (2013). U.S. Patent No. 8,478,514. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Koperski, K., & Han, J. (1995, August). Discovery of spatial association rules in geographic information databases. In *International Symposium on Spatial Databases* (pp. 47-66). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mitsa, T. (2010). *Temporal data mining*. CRC Press.
- Samerei, S. A., Aghabayk, K., Mohammadi, A., & Shiwakoti, N. (2020). Data mining approach to model bus crash severity in Australia. *Journal of Safety Research*.
- Shekhar, S., Vatsavai, R. R., & Celik, M. (2008). Spatial and spatiotemporal data mining: Recent advances. *Data mining: next generation challenges and future directions*, 1-34.
- Tasyurek, M., & Celik, M. (2020). RNN-GWR: A geographically weighted regression approach for frequently updated data. *Neurocomputing*, 399, 258-270.
- Taşyürek, M., Çelik, M. (2020). Akıllı Durak Sistemindeki Araç Seyahat Sürelerinin Birleşik Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2020 (ARACONF)*, 72-79. DOI: 10.31590/ejosat.araconf10
- Taşyürek, M. & Çelik, M. (2020). Hava Sıcaklık Değerlerinin Coğrafi ve Rakım Ağırlıklı Regresyon Yöntemi ile Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2020 (HORA)*, 81-86. DOI: 10.31590/ejosat.779074
- Taşyürek, M., & Çelik, M. (2021). FastGTWR: Hızlı coğrafi ve zamansal ağırlıklı regresyon yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(2), 715-726.
- Xydas, S., Marmaras, C. E., Cipcigan, L. M., Hassan, A. S., & Jenkins, N. (2013). Electric vehicle load forecasting using data mining methods.
- Yabing, J. (2013). Research of an improved apriori algorithm in data mining association rules. *International Journal of Computer and Communication Engineering*, 2(1), 25.
- Yuan, X. (2017, March). An improved Apriori algorithm for mining association rules. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1820, No. 1, p. 080005). AIP Publishing LLC.



## Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi

Mehmet Hanifi Alkayış<sup>1\*</sup>, Celalettin Başyığıt<sup>2</sup>,

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0177-043X),  
mehmethanifalkayis@gmail.com

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0084-1320),  
celalettinbasyigit@sdu.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.897865)

**ATIF/REFERENCE:** Alkayış, MH. & Başyığıt, C. (2021). Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 455-462.

### Öz

Geçmişte gelişmiş savaş teknolojisinin olmayışı, cephenin gerisindeki tesisler ve yapıların güvende kalmasını sağlamaktaydı. Günümüzde ise ilerleyen savaş teknolojisi sonucu savaş anında cephedeki yapılar ile birlikte şehirlerdeki tesis ve yapılar da risk altında olmaktadır. Bu risklere karşı insan hayatını koruyan ve yaşamsal faaliyetlerin devamını sağlayan savunma yapıları inşa edilmektedir. Özellikle küresel olarak artan savaş riski savunma yapılarının önemini arttırmaktadır. Nükleer muhafazalar, köprüler, depolama yapıları ve askeri sığınaklar gibi stratejik ve önemli yapıların inşasında yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi betondur. Betonun doğru bir şekilde tasarlanması ve imal edilmesi ile savunma ihtiyacı gereken yapılarda darbe, patlama ve dinamik etkilere karşı optimum fayda sağlanabilmektedir. Betonun darbe dayanımını agrega, su/ bağlayıcı oranı, minarel ve lif katkıları gibi beton bileşenleri etkilemektedir. Bu değişkenlerin etkileri sarkaç, ağırlık düşürme, bölünmüş Hopkinson basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yöntemleri ile incelenmektedir. Bu çalışmada ise lif içeriği, türü ve incelik oranının beton darbe dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Darbe Dayanımı, Lifli Beton, Lif Türleri

## Effect of Fiber Additive on Concrete Impact Strength

### Abstract

In the past, the lack of advanced warfare technology kept the facilities and structures behind the front safe. Today, as a result of the advancing war technology, the buildings on the front line and in the city are at risk during war. Defense structures that protect human life and ensure the continuation of vital activities are built against these risks. Especially, the global war risk increases the importance of defense structures. Concrete is the commonly used building material in the construction of strategic and important structures such as nuclear enclosures, bridges, storage structures and military bunkers. With the correct design and manufacture of concrete, optimum benefit can be achieved against impact, explosion and dynamic effects in structures that require defense. Concrete components such as aggregate, water / binder ratio, mineral and fiber additives affect concrete's impact strength. The effects of these variables are examined using pendulum, weight drop, split Hopkinson pressure bar and finite element methods. In this study, the effect of fiber content, type and fineness ratio on concrete impact strength was investigated and evaluated.

**Keywords:** Impact Strength, Fiber Reinforcement Concrete, Fiber Types

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

## 1. Giriş

Savunma yapıları insan yaşamını korumayı amaçlayan, hisar, kale, sur, kule, istihkâmlar ve bu yapılarda bulunan birçok askeri yapılardır. Ancak ilerleyen savaş teknolojisi kale ve sur gibi eski savunma yapılarını korunmasız kılmıştır. 20. Yüzyıldan itibaren çelik ve beton gibi modern mühendislik tahkimatları yaygınlaşmaya başlamış ancak I. Dünya Savaşı'nın getirdiği gelişmiş savaş teknolojileri bu tahkimatları da korunmasız kılmıştır. Günümüzde ise savaşlarda birçok farklı etkiye, ancak yerin altındaki sığınak türü yapıların tamamen koruma sağlayabileceği öngörülmektedir (Ekinci, 2019; Sığınak Yönetmeliği, 1998).

Dünyada askeri savunma yapılarının yanında, patlama, mermi veya füze çarpması, uçak kazası, düşme darbesi vb. gibi çarpma yüküne maruz kalma ihtimali olan birçok özel ve kamu yapıları mevcuttur. Betonlar, nükleer muhafazalar, köprüler, depolama yapıları ve askeri sığınaklar gibi stratejik ve önemli yapıların inşasında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Betonun doğru bir şekilde tasarlanması ve imal edilmesi ile savunma ihtiyacı gereken yapılarda optimum fayda sağlanabilmektedir (Feng vd., 2020; Rajput vd., 2018).

Doğal ve teknolojik tehlikelerden korunmak, barınma ve savunma ihtiyaçlarının karşılanması için yapı malzemelerinin kullanımı ve gelişimi devam etmektedir. Yapı malzemesi olarak en çok kullanılan geleneksel beton, daha çok barınma ihtiyacı için kullanılmaktadır. Geleneksel beton çimento, iri agrega, ince agreganın ve suyun belirli karışım oranlarında homojen olarak karılması ile oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Ek olarak farklı amaç ve ihtiyaca göre üretilen özel betonlar da bulunmaktadır (Karslıoğlu ve Onur, 2020).

Özel betonlar, radyasyona karşı kullanılan ağır beton, kimyasal ve çevresel etkilere karşı geçirimsizliği az beton, depreme karşı dayanıklılık için yüksek mukavemetli ve sünek betonlar vb. gibidir. Ayrıca bazı özel betonlar, inşaat ve savunma mühendisliği yapılarında, patlamalar ve yüksek hızlı darbeler gibi yoğun dinamik yüklere maruz kalabilen yapılarda yaygın olarak kullanılan bir malzemedir (Feng vd., 2020; Rajput vd., 2018).

Betonun kalitesi ve karakteristik dayanımı genel olarak beton basınç dayanımı deneyleri ile saptanmaktadır. Beton basınç dayanımı, beton elemanın kırılmadan karşılayabileceği maksimum gerilme değeridir. Betonun yüzeylerine farklı yönlerde yükler gelebilmekte ve bunu sonucu olarak basınç, çekme, eğilme ve kayma etkileri oluşabilmektedir. Bu etkiler yüksek olması sonucu betonda şekil değiştirme, çatlama ve göçme meydana gelebilmektedir. Beton tasarımı yapılırken, elemana gelecek bu etkiler göz önünde bulundurularak betonun gerekli mekanik özellikleri belirlenmektedir. Betonun mekanik özelliklerinin tasarımı ve analizi yapılan eleman dayanımını karşılaması gerekmektedir (Erdoğan., 2003).

Günümüzde artan insan ihtiyaçları ile birlikte inşaat sektöründe farklı amaçlarda kullanılmak üzere birçok farklı yapılar yapılmaktadır. Bu yapıların inşası için birçok yapı malzeme üretilmekte, özellikle en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun birçok mekanik özellikleri araştırılmaktadır. Betonun basınç, çekme, eğilme dayanımı vd. mekanik özellikleri birçok çalışma ile incelenmiş olup, bunların yanında betonun çatlama davranışı ve darbe dayanımı da araştırılmaktadır. Betonun mekanik parametrelerinden biri olan darbe dayanımını

saptamak için uygulana etkinin türüne ve deneyin uygulanabilirliğine göre birçok metod geliştirilmiştir (Arıcı vd., 2007).

Bir yapı veya yapı elemanı statik denge konumundan uzaklaştırılarak bırakıldığında bir titreşim hareketi yapar. Dış bir zorlama olmadığı takdirde bu hareket doğal titreşim hareketi ve bu hareketin kendini bir kez tekrarlaması için geçen süreye de doğal titreşim periyodu olarak tanımlanır. Eğer bir elemana doğal titreşim periyodunun üçte birinden daha kısa sürede bir etki olursa bu etki darbe olarak adlandırılmaktadır (Baradan, 2003). Darbe etkisi, çarpma, patlama, mermi ve bir elemanın düşmesi gibi şekilde olabilmektedir. Hava yolu pistleri, taşıt yolları, betonarme döşemeler, kazık ve istinat yapıları, askeri yapılar, savunma yapıları vb. birçok eleman darbe etkisinde kalabilmektedir. Bu etkide yapı elemanında gerilmeler ani olarak yükselir, malzemenin dayanıksız olması durumunda çatlak oluşumu ve ilerlemesi sonucu malzeme dayanımını yitirir ve göçer (Edgington, 1974). Yapı elemanında gerilmenin ani artışı malzemenin reolojisini araştırmayı zorlaştırmaktadır (Anık, 1999).

Bir elemanın darbe dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve tokluk ile doğrudan ilişkilidir. Gerilme- birim şekil değiştirme grafiğinin altında kalan alanı ifade eden tokluğun yüksek olması için malzemenin sünek ve yüksek dayanıma sahip olması gerekmektedir (Anık, 1999). Normal tasarımda gevrek bir yapı malzemesi olan betonun, sünekliği ve yüksek dayanımı için birçok çalışma yapılmaktadır.

Malzemenin kırılma yüklemesi statik ve dinamik etkilerle olabilmektedir. Statik yüklemeye malzemeye yüklemeye yavaşça yapılır ve gerilme- şekil değiştirme grafiğinden göçme davranışı incelenir. Dinamik yüklemeye de ise, malzeme darbe etkisine maruz bırakılmaktadır. Darbe dayanımı deneyleri malzeme türüne göre değişmektedir. Metalik malzemelerde İzod veya Charpy çentik darbe deneyleri, yapı taşlarında ise genel olarak bir malzemenin düşürülmesi veya fırlatılması deneyleri ile darbe dayanımı araştırılmaktadır (Anık, 1999).

Malzemenin darbe dayanımının incelenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- Hareketli Sarkaç – Charpy ve İzod Deneyleri
- Ağırlık Düşürme (yapı elemanı vd. cisimler)
- Bölünmüş Hopkinson Basınç Çubuğu Deneyi
- Mermi ve Patlayıcı Maddeler,

gibi yöntemlerdir.

Düşme ağırlığı ve sarkaç darbe testleri, nispeten düşük gerilme hızlarındaki etkiyi simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin yüksek gerilme hızları veya yüksek hızlı etkiler altındaki tepkisini incelemek için, normal olarak SHPB testi benimsenmektedir (Soufeiani vd., 2016).

Günümüzde, çelik lifli betonların dinamik davranışını araştırmak için birçok yöntem bulunmasına rağmen araştırmacılar tarafından tamamen kabul görmüş bir deney yöntemi mevcut değildir. Deney yöntemlerinin birçok değişik malzeme ve deney sürecine bağlı olması bunda büyük etkindir. Ayrıca detaylı deneysel araştırmaların (mermi, TNT patlatma vs.) çok maliyetli olması dinamik davranış konusunda sayısal programları da gerekli kılmıştır. LS-DYNA, AUTODYN, ABAQUS vb. birçok numerik program yardımıyla lifli betonların statik ve dinamik davranışını araştırmak için etkili bir

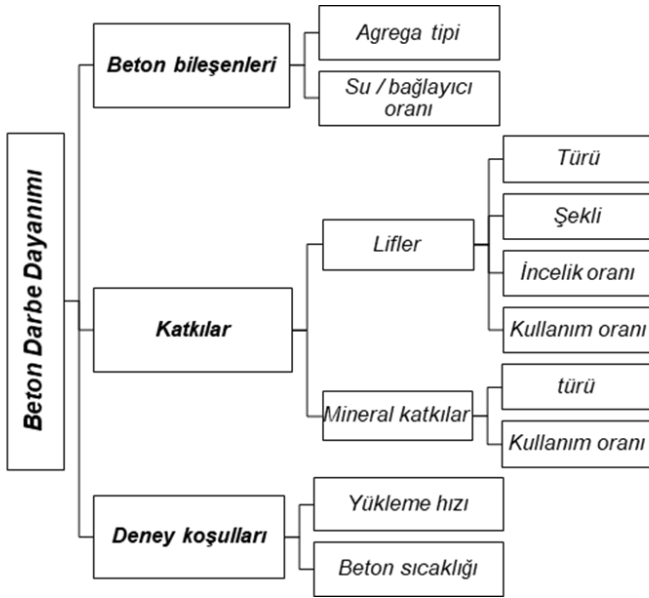


yöntem olmuştur. Son yıllarda birçok sayısal model önerilmiş, çok sayıda simülasyon ve analiz sunulmuştur. (Fang ve Zhang, 2013).

Terör saldırıları, kaza sonucu patlamalar ve tesadüfi etkiler nedeniyle dünya çapında çok sayıda yapının şu anda şiddetli darbelere ve patlayıcı yüklere direnmesi gerekmektedir. Bu tür dinamik yükler sırasında, oldukça yüksek gerilme oranları meydana gelmekte ve yapıya büyük miktarda enerji aktarılmaktadır (Soufeiani vd., 2016). Bu sebeple, bu çalışmada lifli betonların darbe dayanımı etki değişkenleri araştırılmıştır. Beton darbe dayanımı üzerinde büyük paya sahip olan lif katkısının etkisi üzerindeki çalışmalar ağırlıklı incelenmiştir.

## 2. Beton Darbe Dayanımı Etki Değişkenleri ve Deneylemleri

Geleneksel betonun darbe dayanımı düşük olmasına rağmen kompozit bir malzeme olması, bu özelliğini geliştirebilme imkânı sağlamaktadır. Ancak betonun birçok bileşenin olması mekanik dayanımlarından biri olan darbe dayanımını da birçok yönden etkilemektedir. (Oltulu ve Altun, 2018). Görsel olarak beton darbe dayanımına etki eden değişkenler Şekil 2.1. verilmektedir.



Şekil 2.1. Betonun darbe dayanımı etki değişkenleri (O.ğltulu ve Altun, 2018)

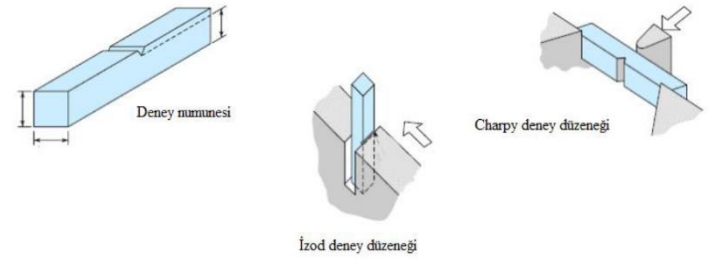
Beton bileşenleri, beton içerisindeki katkıları ve deney koşulları beton darbe dayanımını etkileyen ana unsurlardır. Beton bileşenlerini, agrega mineralojik ve fiziksel özellikleri, su-çimento oranı oluşturmaktadır. Beton katkıları, katkı çeşidi, kullanılan miktar, fiziksel ve mekanik özellikleri oluşturmaktadır. Deney koşullarını ise betonun sıcaklığı ve yükleme hızı oluşturmaktadır (Oltulu ve Altun, 2018).

Beton elemanların darbe dayanımını arttırmak için genellikle ana iki yaklaşım vardır. İlk yaklaşım, dayanımını arttırmak ve lif ekleyerek tokluğunu artırarak beton özelliklerini geliştirmektir. İkinci yaklaşım ise betonun dışını koruyucu malzemelerle kaplamaktır. Bu malzemeler, darbe uygulayan cismin kinetik enerjisinin büyük bölümünü soğurabilen tampon bir kaplama görevindedir. Ayrıca, bunlar beton elemanın etrafını kapladığı için çatlama ve parçalanma sonucu oluşabilecek kalıntıları tutma yeteneği vardır (Aliabdo vd., 2013).

Beton darbe dayanımını arttırmak için bazı öneriler de şunlardır:

- Yüksek matris dayanımı
- Düşük çimento hamuru içeriği
- Betonda yüksek miktarda ince agrega içeriği
- Düşük boyutta maksimum agrega çapı ve tercihen kırmataş agrega kullanımı (Soufeiani vd., 2016).

Genellikle metalik malzemeler için kullanılan iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlar Charpy ve İzod çentik deneyleridir. İki deney yönteminde de ana ilke zayıflatılmış deney numunesinin bir pandül ile kırılmasıdır. Bu yöntemler arasındaki fark Charpy deneyinde numunenin yatay, İzod deneyinde ise dikey olarak mesnetlenmesidir. Şekil 2.1'de deney numunelerinin mesnetlenme durumları gösterilmektedir (Kocalmış, 2014).

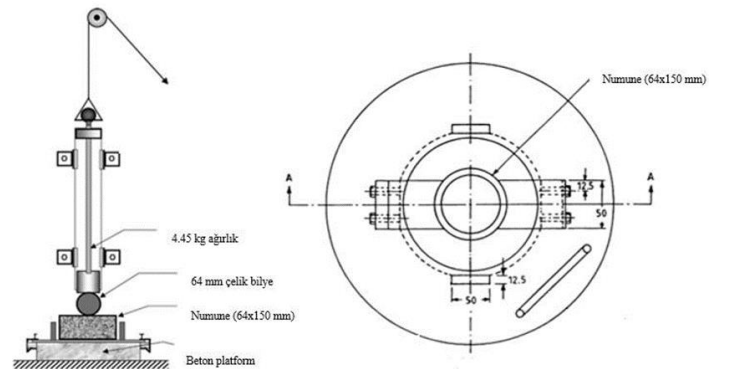


Şekil 2.2. Charpy ve İzod deney yöntemi numune konumları (Kocalmış, 2014)

Sarkaç darbe deneyleri, zayıflatılmış numunenin dinamik bir yük etkisinde kırılması için harcanan potansiyel enerjinin ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Elde edilen değer malzemenin darbe dayanımını vermektedir (Arıcı vd., 2007).

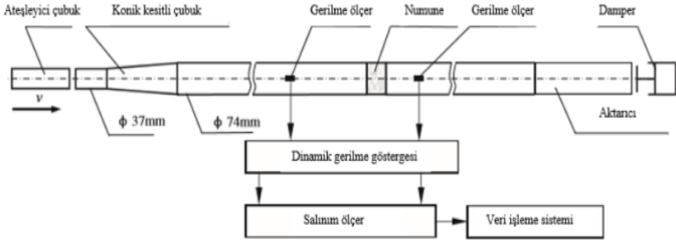
Taş yapıları cisimlerin ve özellikle betonun darbe dayanımı için ekonomikliği ve kolay kullanımı sebebiyle çoğunlukla ağırlık düşürme deneyi kullanılmaktadır. Bu deneyler bir elemanın betona düşürülmesi şeklinde hem özel deney yöntemleri olabildiği gibi hem de standartlarla tanımlanmış yöntemlerde mevcuttur.

Amerika Beton Endüstrisi (ACI) 544.2R standardında ağırlık düşürme deneyi detaylandırılmıştır. Standartta göre bu deney, 4.45 kg ağırlığındaki yükün 457 mm yükseklikten 64x150 mm boyutlarındaki disk numunenin üzerine yerleştirilen 64 mm çapında çelik bilye üzerine düşürülerek yapılmaktadır (bkz Şekil 2.3). Ayrıca deney sonuçları bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır (Oltulu ve Altun, 2018).



Şekil 2.3. Ağırlık düşürme deney cihazı (Arıcı, 2010)

Betonun darbe dayanımını saptamak için gelişmiş yöntemlerden biri Şekil 2.4’de belirtilen yüksek hızda bölünmüş Hopkinson basınç çubuğu (SHPB) darbe deneyidir. Deney sistemi belirli bir hızda olan çubuğun çarptığı yüzeyde oluşturduğu deformasyonların belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Xaio vd., 2015).



Şekil 2.4. 74 mm çaplı konik değişken kesitsel Bölünmüş Hopkinson Basınç Çubuğu (Xiao vd., 2015)

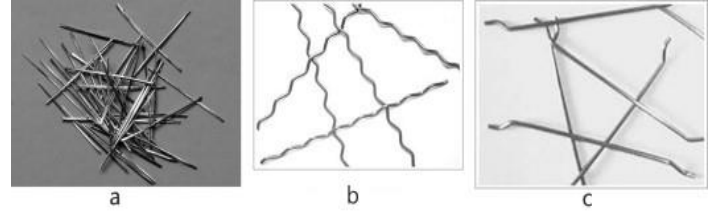
Patlama deney sistemi ise beton eleman üzerinde veya belirli bir mesafeye konulan patlayıcı malzemenin infilakı ile gerçekleştirilmektedir. Deney sonuçları gerinim ölçerler ve görsel ölçüm teknikleri ile takip edilmekte ve sayısal analizler yapılmaktadır. Deney sonucu hasar tespitinde çatlama, kırılma, göçme, bükülme vb. davranışlar betonun patlayıcı dinamik etkilere karşı dayanımı üzerine bilgiler vermektedir (Soufeiani vd., 2016).

Beton darbe dayanımı tespitinde sarkaç, ağırlık düşürme ve SHPB deneyleri kullanılarak birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda beton darbe dayanımını etkileyen Lif katkısının literatür araştırması alt bölümlerde yer almaktadır.

## 2.1. Literatür Araştırması

Betona lif katkısı basınç dayanımı üzerinde olumlu veya olumsuz sonuçlar oluşturabilmektedir. Ancak betonun sünekliliği ve tokluğunu arttırdığı için darbe dayanımı arttırmada etkin parametredir. Liflerin darbe enerjisini sönmülemesi, ilk çatlak oluşumuna ve gelişimine karşı koyması darbe dayanımının artmasında en önemli nedenlerdendir. Beton içerisine çelik, polipropilen, cam, bazalt, poliamid, polivinil alkol, seramik, polietilen, naylon, kevlar ve doğal olmak üzere birçok türde lif eklenebilmektedir. En çok kullanılan lif türü çelik ve polipropilendir. Lif türüne ek olarak lif şekli, narinliği ve katkı oranı da beton darbe dayanımında önemli etkenlerdendir (Oltulu ve Altun, 2018).

Aliabdo vd. betonun darbe ve penetrasyon dayanımı üzerinde çelik liflerin etkisini incelemiştir. Deney serileri sonucunda düz, dalgalı ve kancalı uçlu (bkz. Şekil 2.2.) şeklindeki çelik liflerin darbe dayanımında hafif bir etkiye sahip olduğuna varmışlardır. Kancalı uçlu çelik lifli numunelerin, diğer çelik lif şekillerine ve sadece polipropilen lifli numunelere kıyasla önemli ölçüde daha iyi davranış göstermiştir. Ayrıca hacimce % 0,1 ve % 0,2 polipropilen lif kullanımının, penetrasyon derinliği ve çatlak genişliği üzerinde, lifsiz beton numunelerine kıyasla önemsiz bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak çelik lif kullanımının, lif içermeyen betona kıyasla penetrasyon derinliği ve çatlak genişliğini azaltıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Lifsiz beton ile karşılaştırıldığında, %1.0 ve %2.0 düz çelik liflerin kullanılması sonucunda penetrasyon derinliği azalması sırasıyla yaklaşık %16 ve %22 olarak gözlemlenmiştir (Aliabdo vd., 2013).

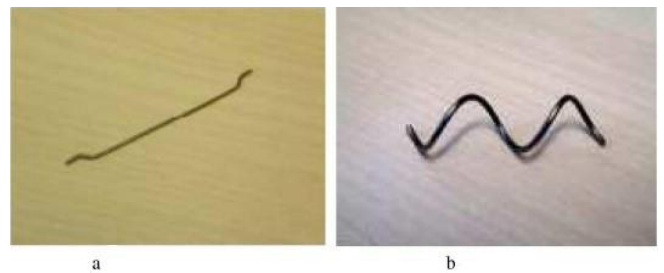


Şekil 2.5. çelik lif türleri; a) düz b) dalgalı c) kancalı uçlu (Aaliabdo vd., 2013)

Çelik lifli betonlar için ACI 544 standardına göre lif hacmi oranı % 0,5-1,5 arasında olmalıdır. Bu seviyenin aşılması betonun işlenebilirliği azaltır ve topaklaşmaya sebep olabilir. Ancak özel lif ekleme ve yerleştirme çalışmaları ile lif yüzdesi artırılmaktadır. Ayrıca basınç dayanımı 40 Mpa’ dan fazla olan yüksek dayanımlı betonlarda da sünekliliği arttırmak %2 oranında kısa lifler kullanılabilir. Yüksek dayanımlı lifli betonların sünekliliğinin artması darbe dayanımını da arttırmaktadır. Basınç dayanımı çok yüksek (150-400 MPa) lifli betonlarda ise yüksek lif hacmi içeriği (% 5-10) nedeniyle son derece sünek bir davranış göstermektedir. Bu özellik, elemanın kullanım ömrü sırasında büyük çatlaklar oluşturmadan donatıların etkin kullanımını sağlamaktadır (Soufeiani vd., 2016).

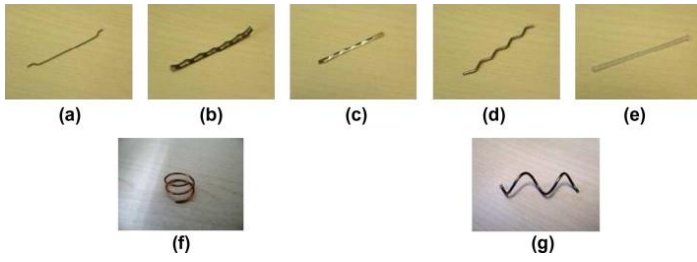
Çelik liflerin şekli açısından, spiral şekilli lifler ve kancalı uçlu lifler, darbe yükü altında diğer çelik lif türlerine göre daha iyi performans sergilemektedir. Kancalı uçlu çelik lifler, düşük hız etkisi altında çatlak genişliğini ve hasar mekanizmasını azaltmaktadır. Ayrıca tek tip lif içeriğinin yanısıra farklı tipte liflerin birleşiminden oluşan hibrit lifli betonlarda özellikle darbe dayanımına karşı önemli dayanım göstermektedir. Bu durumda farklı malzemelerden üretilen çeşitli şekil ve boyutlarda iki veya daha fazla lif, malzemeye her bir lifin yararlı özelliklerinden faydalanmak için eklenmektedir (Soufeiani vd., 2016).

Xu vd. kancalı uçlu ve spiral çelik lifli betonların statik ve dinamik mukavemetlerini incelemiştir (bkz. Şekil 2.6). Her iki türdeki lifli beton numunelerin çekme dayanımı, kırılma enerjisi, maksimum ölçülebilir birim şekil değişimi hem statik hem de dinamik deneylerde lifsiz betona göre daha iyi performans göstermiştir. Kancalı uçlu çelik lifli numuneler ise hem statik hem de dinamik koşullar altında spiral lifli numunelere göre daha düşük gerilme mukavemeti ve kırılma enerjisi göstermiştir. Bunun nedeni, zayıf sürtünme kapasitesi ve kenetlenme bağının sadece kancaların yakınında olması olarak belirtilmiştir. Ayrıca spiral çelik lif üç boyutta bükümlü yapısı sayesinde beton matrisi ile daha iyi bağlanması nedeniyle süneklilik, tokluk, çatlak kontrol edilebilirliği açısından daha iyi performans göstermiştir (Xu vd., 2012).



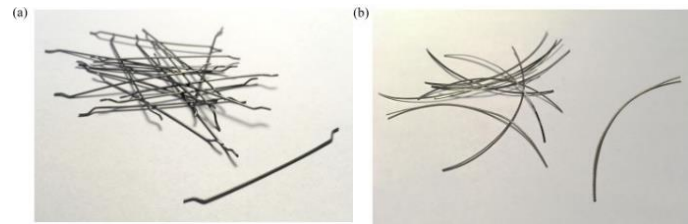
Şekil 2.6. Kancalı uçlu (a) ve spiral (b) çelik lif türleri (Xu., 2012)

Xu vd. bir diğer çalışmada, farklı lif şekline sahip çelik lifli betonların dinamik basınç özelliklerini incelemek için düşme ağırlığı darbe deneyi gerçekleştirmiştir. Çalışmada farklı şekil ve malzeme özelliklerine sahip sentetik, dalgalı, soğuk haddelenmiş, yassılaştırılmış, kancalı uçlu ve bu çalışma için geliştirilmiş iki yeni spiral şekilli yedi lif türü ele alınmıştır (bkz Şekil 2.7). Tüm numunelerde sadece şeklin etkisini incelemek için hacimce % 1 oranında lif kullanılmıştır. Ayrıca tüm numuneler için beton basınç dayanımı 35 MPa olacak şekilde tasarlanmıştır. Lif şekillerinin betonun kırılma modları, mukavemeti ve enerji absorbe etme kapasitesi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Deney sonucunda bu çalışma için geliştirilen spiral çelik liflerin (Şekil 2.7. g) beton matrisine daha iyi tutunma sağladığını ve dolayısıyla beton malzemeye daha iyi kenetlenme sağladığını, lifli betonun darbe dayanımını ve enerji yutma kapasitesini (tokluk) daha fazla artırdığı göstermektedir (Xu vd., 2012).



Şekil 2.7. Çeşitli şekillerdeki çelik lif türleri; a) kancalı uç, (b) düzleştirilmiş, (c) soğuk haddelenmiş, (d) dalgalı, (e) sentetik, (f) spiral I ve (g) spiral II. ( Xu., 2012)

Grzymiski vd. çalışmasında, betonun sünekliğini artırmak için geri dönüştürülmüş çelik liflerin (talaşlı imalat işleminden elde edilen) etkinliğini incelemiştir. Çelik lif ilavesinin etkisi, lifsiz, geri dönüşüm lifli ve kancalı uçlu çelik lifli olmak üzere 3 grupta incelenmiştir (bkz Şekil 2.8). Bu seriler üzerinde basınç dayanımı, yarıлма gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve eşdeğer eğilme mukavemeti gibi temel mekanik özellikler küp ve kiriş numunelerinde test edilmiştir. Betonu güçlendirmek için yaygın olarak kullanılan liflerin yerine geri dönüştürülmüş çelik liflerin potansiyel kullanımı araştırılmış ve tartışılmıştır (Grzymiski vd., 2019).



Şekil 2.8. Geri dönüştürülmüş (b) ve kancalı uçlu (a) çelik lif türleri(Grzymiski vd., 2019).

Deney çalışması sonucunda geri dönüştürülmüş lifler kullanıldığında, kancalı uçlu çelik lifli betona göre enerji yutma kapasitesi yaklaşık altı kat daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca geri dönüşüm lifler, mekanik özelliklerinde önemli ölçüde değişiklik göstermesinden dolayı kararlı bir beton matrisi elde edilemeyeceği vurgulanmıştır (Grzymiski vd., 2019).

Mohammadi vd. farklı incelik oranına sahip çelik lifli betonun darbe dayanımını incelemiştir. 100×100×500 mm boyutlarında 108 normal ve lifli beton kiriş numunelerine darbe yükü uygulanmıştır. Deney serileri hacimce 1.0,% 1.5 ve % 2.0

oranında çelik lif içermektedir. Ayrıca lif boyunun 25 ve 50 mm olmasında etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, % 2,0 hacim oranında uzun lif (50 mm) içeren betonun darbe yükü altında en iyi performansı verdiği görülmüştür (Mohammadi vd., 2009).

Kısa liflerin, çarpma yükünden kaynaklanan çatlakları durdurmada en az etkili oldukları vurgulanmaktadır. Bu durum küçük uzunlukları nedeniyle daha az bağlama direnci sunmaları ve matristen dışarı çekilmeleri nedeniyle olduğu ifade edilmektedir. Nihai kırılma anında darbe direncindeki artış, % 1,0,% 1,5 ve % 2,0 hacim kullanım oranına göre sırasıyla çelik lifli beton karışımları için %968 ila %943, %1076 ila %2428 ve % 1337 ila % 3211 arasında değişmiştir. Genel olarak, karışık lif incelik oranlarında uzun lif yüzdesinin artması ve lif içeriğinin artmasıyla birlikte, ilk çatlakta ve nihai geçmede darbe direncinin arttığı elde edilmiştir (Mohammadi vd., 2009).

Zang vd. hibrit (bazalt-makro sentetik polipropilen) lifli betonun yüksek darbe yükleri altındaki darbe davranışını bölünmüş Hopkinson basınç çubuğu cihazı ile incelemiştir. Bazalt lifin (BL) içeriği hacimce %0.05, %0.075 ve %0.1 ve makro sentetik polipropilen lifin (PL) içeriği ise % 0.15, %0.25, %0.35 ve %0.5 arasında değişmektedir. Deney sonuçlarına göre, hem BL hem de PL betonun darbe dayanımını artırabildiği, BL numunesinin darbe dayanımının ve PL numunenini ise darbeye karşı dayanıklılığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca optimum hibrit lif karışımı, en iyi darbe direncine sahip olan % 0,075 -% 0,35 (BF-SF) numunesi olmuştur. Kullanılan lif türleri Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Lif türleri; a) Bazlat lif, b) Polipropilen lif (Zang vd., 2019)

Darbe dayanımında betonda makro liflerin, mikro liflere göre daha faydalı sonuçlar vermektedir. Ayrıca makro ve mikro çelik liflerin uygun değerlerde birlikte eklemesi en etkili sonucu vereceği vurgulanmaktadır (Banthia vd., 1998).

Abid vd. çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonun darbe dayanımını ACI 544-2R tarafından önerilen tekrarlı darbe testini deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneyde lif içeriğine ek olarak düşme ağırlığı ve düşme yüksekliğinin etkisini araştırılmıştır. Düz mikro çelik lifler, hacimsel olarak 0.5,0.75 ve 1 yüzdelerde normal betona ilave edilmiştir. Deney sistemi ise düşme yükseklikleri 450, 575 ve 700 mm ve ağırlıklar 4.5, 6.0 ve 7.5 kg olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda mikro çelik lif ilavesi kendiliğinden yerleşen betonun darbe direncini, lif ilavesiz normal betona kıyasla % 150 ila %860 arasında değişen ölçüde artırdığı elde edilmiştir. Ayrıca 4,5 kg ağırlık 450 mm düşme yüksekliğinde test edilen numuneler darbe dayanımı gelişiminde en yüksek değeri göstermiştir (Abid vd., 2020).

Nili vd., polipropilen lif ve silis dumanı içeren beton karışımlarının darbe dayanımını incelemiştir. 12 mm uzunluğunda polipropilen lif hacimce 0, 0.2, 0.3 ve 0,5

yüzdelerde ve çimento ağırlığının % 8'i oranında silis dumanı ikame edilmiştir. Çalışma sonucunda, polipropilen liflerin dâhil edilmesinin mekanik özellikleri iyileştirdiğini gözlemlenmiştir. Ayrıca silis dumanı ilavesi, liflerin dağılımını iyileştirdiği dolayısıyla betonun darbe dayanımını arttırmada etkili olduğu vurgulanmıştır. Özellikle silis dumanı ilavesi ile birlikte %0,5 polipropilen lif kullanılması basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımını ve betonun darbe dayanımını performansını artırdığı ifade edilmiştir (Nili vd., 2010).

Arel vd. silis dumanı inceliğinin ve lif incelik oranının ultra yüksek performanslı lif katkı betonunun basınç ve darbe dayanımı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla, beton numunelere farklı inceliğe (17,200, 20,000 ve 27,600 cm<sup>2</sup>/gr) sahip silis dumanı, çeşitli uzunluklarda (8,13 ve 16 mm) lif ilave edilerek standart kür, buhar kürü ve sıcak su kürüne tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyleri 7, 28, 56 ve 90. günde, darbe dayanımı deneyi ise 90 günlük kür süresinden sonra gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda 27.600 cm<sup>2</sup>/gr özgül yüzey alanlı silis dumanı ve 16 mm lif ilave edilen buhar kürüne tabi tutulan numunenin mekanik özellikler açısından diğer karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Ayrıca lif incelik oranı artması ile darbe dayanımı arttığı gözlemlenmiştir (Arel vd., 2016).

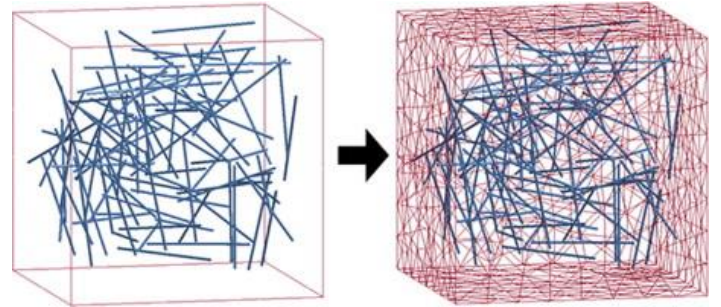
Lee vd. amorf metal lif uzunluklarının, çimento esaslı kompozitlerin eğilme ve çekme özellikleri ile darbe dayanımına olan etkilerini incelemiştir. Numuneler hacimce % 1.0 veya %2.0 amorf metalik liflerin (15 veya 30 mm uzunluklardaki) eklenmesi ile imal edilmiştir. Statik eğilme ve çekme testlerinden sonra, 25 mm çaplı küresel bir mermi ile yüksek hızlı (170 ve 300 m/s) darbe deneyi yapılmıştır. 30 mm uzunluğundaki amorf metalik lifler, çekilmeden kırılmaya kadar gerilmenin emilmesi ve dağılımına bağlı olarak kırılmaların yayılmasını absorbe etmiş, bu da çimento esaslı kompozitlerin eğilme ve gerilme özelliklerini önemli ölçüde arttırmıştır. 15 mm lifler 30 mm'ye kıyasla eğilme ve gerilme özelliklerinde ve darbe direncinde daha küçük sonuçlar vermiştir.(Lee vd., 2021).

Kızılırmak vd. çok kancalı (4D ve 5D) liflerin kullanım oranı ve incelik oranının yüksek dayanımlı betonların statik ve darbe dayanımını üzerine etkisini araştırmıştır (bkz Şekil 2.6). Deney serilerinde 3D tipi çelik lifli numuneler referans olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda en iyi performansı 5D 65/60 (incelik oranı 65 ve boyu 60 mm ) çelik lif göstermiştir. Ayrıca çelik liflerdeki kanca sayısının artması ile numunenin eğilme mukavemeti ile kırılma enerjisinde artış gözlemlenmiştir. Ek olarak 4D lif türünün incelik oranının artması ile birlikte numunelerin mekanik özelliklerinde değişimler başlamıştır. Ayrıca 3D lif türünde kırılma enerjisi incelik oranının artması ile azalmıştır. Darbe dayanımında ise en iyi performans, 4D 65/60 ve 5D 65/60 lif türünde gözlemlenmiştir (Kızılırmak vd., 2019).



Şekil 2.10. Farklı şekil (3D, 4D ve 5D ) ve incelik oranına göre lif türleri (Kızılırmak vd., 2019)

Fang ve Zhang, darbe ve patlama yüklemesi altında çelik lifli beton malzemenin dinamik tepki ve hasarını incelemek için bir üç boyutlu sayısal model sunmaktadır. 3D sayısal modelde numunenin daha düşük mukavemetli homojen beton matrisinden ve daha yüksek mukavemetli çelik liflerden oluştuğu varsayılmaktadır (bkz Şekil 2.11). Düz yuvarlak çelik liflerin matriste rastgele konumlar ve yönelimlerle dağıldığı varsayılmakta ve sonlu eleman analiz modelini oluşturmak için bir üç boyutlu (3D) ağ algoritması tanıtılmıştır. Lif ve matris arasındaki etkileşim, bağlanma ve kayma temas algoritması ile modellenmiştir. Lifli betonun mekanik davranışı simüle edilmiş ve deney verileriyle iyi bir uyum gözlemlenmiştir. Temaslı patlama altındaki lifli beton numuneler için geliştirilen sayısal modelin hasar modunu kesin olarak tahmin edebileceğini görülmüştür (Fang and Zhang, 2013).



Şekil 2.11. 3D Sonlu eleman analizi modeli (Fang ve Zhang, 2013)

Badr. vd. polipropilen lifli betonun darbe direncini, ACI-544 standardında önerilen tekrarlanan düşme ağırlığı darbe deneyini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Deney sonuç varyasyonları aynı parti seri içerisinde ve farklı seriler arasında incelenmiştir. Ayrıca istatistiksel parametreler, karbon ve çelik lifler gibi diğer beton kompozitlerin darbe direncinde bildirilen değişimlerle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analiz, Polipropilen lifli betonun darbe deneyinden elde edilen sonuçlar büyük farklılıklar göstermiştir. % 10'un altında bir hatanın altına inmek için beton karışımı başına en az 40 numunenin incelenmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir. Mevcut prosedürleri ve önerileri ile bu testin güvenilir bir darbe testi olarak değerlendirilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Badr vd., 2006).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İncelenen çalışmalar sonucu daret dayanımına; basınç dayanımı, eğilme mukavemeti, lif içeriği ve lif özellikleri (uzunluk, en-boy oranı, lif tipi) özelliklerinin değişmesi sebep olmaktadır.

Betonun darbe dayanımını etkileyen parametreler arasında olan lif katkısı en etkili olduğu ve lif içeriğinin kontrollü bir şekilde artırılmasının darbe dayanımını arttırdığına varılmıştır. Özellikle tek çeşit lif kullanımında çelik liflerin diğer tek çeşit kullanılan liflere göre en iyi performans gösterdiği belirtilmektedir. Ancak maliyetin düşürülmesi, atık azaltımı ve betonun diğer özelliklerin geliştirilmesi açısından hibrit (karma) lifli beton kullanımı darbe dayanımı açısından faydalı sonuçlar verecektir.

Betona birçok dinamik yük etkiyebilmektedir. Bu yüzden beton darbe dayanım deneyleri farklı olmaktadır. Bu yöntemlerin birbirlerinden farklı süreçler olması darbe dayanımı konusunda çalışmaların daha da araştırılmasına yol açmaktadır. Ancak tamamen kabul görmüş bir standardın olmayışı sebebiyle numunenin maruz kalacağı dinamik etkiye göre deney sistemi seçilmelidir. Numune davranışının deney sistemine göre değişebildiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Darbe dayanımı ölçüm yöntemlerinden en kolay uygulanan ve en ekonomik olan ağırlık düşürme deneyi en yaygın olanıdır. Ancak istatistiksel olarak deney serilerinde standart sapmanın yüksek olması deney sisteminin güvenilirliğini sorgulatmaktadır.

Betona lif eklenmesi beton sünekliği ve tokluğunu artırması sebebiyle darbe dayanımında da artışa sebep olmaktadır. Lif eklenmesinin yanı sıra beton dayanımının artması da darbe dayanımını arttırmaktadır. Bu sebeple beton dayanımını etkileyen tüm parametreler darbe dayanımını da etkilemektedir.

Çelik lif kullanımının şekilden bağımsız olarak betonun sünekliğini, enerji yutma kapasitesini ve darbe dayanımını arttırdığı açıktır. Ayrıca betonun darbe dayanımını arttırmada çelik lif şeklinin kenetlenme kapasitesinin artması oranında etkili olmaktadır. Özellikle yeni lif şekillerinin betonun darbe dayanımını arttırmada önemli rol oynayabileceği öngörülmektedir.

Genel olarak lif boyunun artması ve lif kullanım oranının lif türüne göre değişmek te beraber çelik liflerde %1 ve %2 arasında kullanılmasının en iyi performansı vereceği görülmektedir. Ayrıca incelik oranının artması da darbe dayanımını arttıran etkenlerdendir. Ek olarak farklı lif şeklinin geliştirilmesi hem çelik hemde diğer lif türlerinde darbe dayanımını etkileyecektir.

### 4. Sonuç

Bu çalışma, betonların darbe dayanımında lif türü, şekli, kullanım oranı ve incelik oranının etkileri üzerine deneysel araştırmaların incelemesi sunulmuştur.

Yapılan çalışmalar çoğunlukla çelik liflerin kullanım hacim oranını kontrollü olarak artırmanın darbe direnci ve mekanik özellikleri artırdığı göstermiştir. Ayrıca, beton karışımına daha iyi kenetlenme etkisi sebebiyle çelik lifler için en uygun şekillerin spiral ve kancalı uçtur. Ek olarak lif uzunluğunun artması da darbe dayanımında artışa sebep olmaktadır.

Darbe dayanımı birçok deney yöntemi ile belirlenebilmektedir. En uygun yaklaşım elamanın maruz kalacağı dinamik yüke göre seçilmelidir. Deney koşulları, elamanın türü vs. parametreler deney seçiminde oldukça etkilidir. Ayrıca deneysel yöntemlerin sayısal simülasyonlar ile karşılaştırılması da betonun darbe davranışı üzerine elde edilecek sonuçların değerlendirilmesinde bir araçtır.

Sonuç olarak, darbe dayanımı deneyi basit yapı malzemeleri üzerinde denenmektedir. Bu sebeple büyük ölçekli yapı elamanlarında tasarım için tamamen güvenli deney sistemi olmadığı açıktır. Birçok darbe dayanımı etki değişkeninin olması da bu deneylerin tek başına etkili tasarım yöntemi olmayacağını göstermektedir. Ek olarak, gelişmiş deney sistemlerinin maliyetleri de araştırmaları engellemektedir. Bu sebeple sayısal analiz yöntemleri geliştirilmeye devam edilmektedir.

### 5. Teşekkür

Bu çalışma, YÖK 100/2000 doktora projesi 'Yapı, Yapı Malzemesi ve Yapı Yönetimi' öncelikli alan vizyonu göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Verilen desteklerinden dolayı ilgili YÖK ve YÖK 100/2000 personeline teşekkür ederiz.

### Kaynakça

- Sığınak Yönetmeliği (1988) 25.08.1988 tarih ve 19910 Sayılı Resmi Gazete.
- Abid, S. R., Abdul-Hussein, M. L., Ayoob, N. S., Ali, S. H., & Kadhum, A. L. (2020). Repeated drop-weight impact tests on self-compacting concrete reinforced with micro-steel fiber. *Heliyon*, 6(1), e03198.
- Aliabdo, A. A., Abd\_Elmoaty, A. M., & Hamdy, M. (2013). Effect Of İnternal Short Fibers, Steel Reinforcement, And Surface Layer On İmpact And Penetration Resistance Of Concrete. *Alexandria Engineering Journal*, 52(3), 407-417.
- Anık, S., *Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri*, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 1999.
- Arel, H. Ş. (2016). Effects of curing type, silica fume fineness, and fiber length on the mechanical properties and impact resistance of UHPFRC. *Results in physics*, 6, 664-674.
- Arıcı, E., Dursun, R., & İnce, R. *Betonun Çarpma Mukavemetinin Tesbiti*.
- Badr, A., Ashour, A. F., & Platten, A. K. (2006). Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 32(11), 1907-1920.
- Banthia, N., Yan, C., & Sakai, K. (1998). Impact Resistance Of Fiber Reinforced Concrete At Subnorma Temperatures. *Cement And Concrete Composites*, 20(5), 393-404.
- Baradan, B. (2003). İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi. *İzmir De Ü. Müh. Fak. Yayın*, (307), 394.
- Edgington, J., Hannant, D. J. And Williams, G. I. T., "Steel Fibre Reinforced Concrete", *Building Research Establishment Current Paper*, Cp 69/74, July 1974.
- Ekinci, C. E. (2019). Savunma Ve Sığınma Yapılarında Kbrn Tehditlerine Karşı Betonların Zırhlanması. *Engineering Sciences*, 14(3), 119-153.

- Erdoğan, T. Y., Beton, Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncı İk Ve İletişim A.Ş., Ankara, Mayıs 2003. 3. Esen, Y., “Poliakrilonitril Lif Takviyeli Betonların Mekaniksel Özelliklerinin Ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, F.Ü. Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 15, Pp.47-54, Elazığ, 2003.
- Fang, Q., & Zhang, J. (2013). Three-Dimensional Modelling Of Steel Fiber Reinforced Concrete Material Under Intense Dynamic Loading. *Construction And Building Materials*, 44, 118-132.
- Feng, J., Sun, W., Wang, L., Chen, L., Xue, S., & Li, W. (2020). Terminal Ballistic And Static Impactive Loading On Thick Concrete Target. *Construction And Building Materials*, 251, 118899.
- Grzymiski, F., Musiał, M., & Trapko, T. (2019). Mechanical properties of fibre reinforced concrete with recycled fibres. *Construction and Building Materials*, 198, 323-331.
- Karşlıoğlu, A , Onur, M . (2020). Uzayda Yerli Kaynaklar ile Yapı Malzemesi Üretimi . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , Ejosat Özel Sayı 2020 (ARACONF) , 216-223 . DOI: 10.31590/ejosat.araconf27
- Kızıllırmak, C., Aydın, S., & Yardımcı, M. Y. (2019). Çelik Lif Kanca Geometrisinin Yüksek Dayanımlı Lifli Betonların Statik Ve Darbe Yükleri Altında Eğilme Özelliklerine Etkisi. *Journal Of The Faculty Of Engineering & Architecture Of Gazi University*, 34(3).
- Kocalmış, Z. (2014). İzod Metodunda Beton Numune Boyutunun Çarpma Dayanımına Etkisi/Effect Of Impact Strength Of Concrete Sample Size İn İzod Method.
- Lee, S., Kim, G., Kim, H., Son, M., Choe, G., Kobayashi, K., & Nam, J. (2021). Impact resistance, flexural and tensile properties of amorphous metallic fiber-reinforced cementitious composites according to fiber length. *Construction and Building Materials*, 271, 121872.
- Mohammadi, Y., Carkon-Azad, R., Singh, S. P., & Kaushik, S. K. (2009). Impact resistance of steel fibrous concrete containing fibres of mixed aspect ratio. *Construction and Building Materials*, 23(1), 183-189.
- Nili, M., & Afroughsabet, V. (2010). The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(6), 927-933.
- Oltulu, M., & Altun, M. G. Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi Ve Yapılan Çalışmalar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 155-163.
- Rajput, A., Iqbal, M. A., & Gupta, N. K. (2018). Ballistic Performances Of Concrete Targets Subjected To Long Projectile Impact. *Thin-Walled Structures*, 126, 171-181.
- Soufeiani, L., Raman, S. N., Jumaat, M. Z. B., Alengaram, U. J., Ghadyani, G., & Mendis, P. (2016). Influences Of The Volume Fraction And Shape Of Steel Fibers On Fiber-Reinforced Concrete Subjected To Dynamic Loading—A Review. *Engineering Structures*, 124, 405-417.
- Xiao, J., Li, L., Shen, L., & Poon, C. S. (2015). Compressive Behaviour Of Recycled Aggregate Concrete Under Impact Loading. *Cement And Concrete Research*, 71, 46-55.
- Xu, Z., Hao, H., & Li, H. N. (2012). Dynamic tensile behaviour of fibre reinforced concrete with spiral fibres. *Materials & Design*, 42, 72-88.
- Xu, Z., Hao, H., & Li, H. N. (2012). Experimental study of dynamic compressive properties of fibre reinforced concrete material with different fibres. *Materials & Design*, 33, 42-55.
- Zhang, H., Wang, L., Bai, L., Addae, M., & Neupane, A. (2019). Research on the impact response and model of hybrid basalt-macro synthetic polypropylene fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 204, 303-316.



# Akciğer Hastalıklarının Dalgacık Katsayıları Kullanılarak Karar Ağaçlarına Dayalı Sınıflandırılması

Merve Çolak <sup>1\*</sup>, Şerife Gengeç Benli <sup>2\*</sup>, Müge Dolu <sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0840-3114), mervecolak.1938@gmail.com

<sup>2\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5527-8574), serifegengec@erciyes.edu.tr

<sup>3\*</sup> (ORCID: 0000-0002-7886-3098), mugeedolu@gmail.com

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903249)

ATIF/REFERENCE: Çolak, M., Gengeç Benli, Ş. & Dolu, M. (2021). Akciğer Hastalıklarının Dalgacık Katsayıları Kullanılarak Karar Ağaçlarına Dayalı Sınıflandırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 463-468.

## Öz

Günümüzde akciğer hastalıkları çok sık görülmektedir ve içerisinde bulunduğumuz Covid-19 salgını dolayısıyla da zatürre gibi bazı akciğer hastalıklarında yoğun artış yaşanmaktadır. Akciğer hastalıklarındaki ilk tanı oskültasyon yardımıyla konulmakta olup bu yöntem fiziksel muayene için ilk olarak tercih edilen düşük maliyetli ve etkili bir yöntemdir fakat oskültasyonda hastalık belirtileri elde edilse bile bu yöntem sesi bileşenlerine ayırıp karakterize etmez. Hastadaki sesleri dinleyen ve ön tanı koyan kişinin tecrübeli olması gerekmektedir buna rağmen ne kadar dikkatli olursa olsun insan kulağı bu sesleri her zaman eksiksiz duyacak kadar hassas bir organ değildir. Tanı sırasında doktora yardımcı olacak, küçük, hassas detayları kaçırmayacak ve sesi kolaylıkla karakterize edip ses bileşenlerin özelliklerini ve hangi hastalık grubunda yer aldığını tanımlayabilecek bir sistem gerekmektedir.

Bu çalışmada elektronik stetoskop kullanılarak kronik obstrüktif akciğer hastalığı, üst solunum yolu enfeksiyonu, pnömoni ve sağlıklı kişilerden oluşan dört gruba ait akciğer sesleri Chebyshev filtre ile filtrelenmiş ve dalgacık dönüşümü, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, güç spektral yoğunluğu kullanılarak elde edilen öznitelikler değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde daha çok tercih edilen dalgacık dönüşümü katsayıları kullanılarak Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) programı üzerinden karar ağaçları ile sınıflandırılma yapılmıştır. Böylelikle akciğer seslerinin çeşitli sinyal işleme metodları ile karakteristik özelliklerinin elde edilmesi ve sonrasındaki sınıflandırma ile %95-%99 değerleri arasındaki yüksek doğruluk oranıyla hastalık teşhisi yapılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer sesleri, Dalgacık dönüşümü katsayıları, Karar ağaçları

## Classification of Lung Diseases Based on Decision Trees Using Wavelet Coefficients

### Abstract

Today, lung diseases are very common and due to the Covid-19 epidemic we are in, there is an intense increase in some lung diseases such as pneumonia. The first diagnosis in lung diseases is made with the help of auscultation, and this method is the first preferred low-cost and effective method for physical examination, but even if disease symptoms are obtained in auscultation, this method does not separate and characterize the voice into its components. The person who listens to the sounds in the patient and makes a preliminary diagnosis must be experienced, however, no matter how carefully the human ear is not a sensitive organ that can always hear these sounds completely. A system is required to assist the doctor during the diagnosis, not to miss small, delicate details, and to easily characterize the sound and define the properties of the sound components and in which disease group it is involved.

In this study, lung sounds belonging to four groups of chronic obstructive pulmonary disease, upper respiratory tract infection, pneumonia and healthy individuals were filtered with Chebyshev filter using electronic stethoscope and features obtained using wavelet transform, short-time Fourier transform, power spectral density were evaluated. Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) program was used to classify decision trees using wavelet transform coefficients, which are more preferred in the literature. Thus, it has been observed that the characteristic features of the lung sounds can be obtained with various signal processing methods and the diagnosis of the disease can be made with a high accuracy rate between 95% and 99% with the subsequent classification.

**Keywords:** Lung sounds, Wavelet coefficients, Decision trees.

\* Sorumlu Yazar: [serifegengec@erciyes.edu.tr](mailto:serifegengec@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Akciğer sesleri oskültasyon yöntemi ile elde edilmekte olup bu yöntemle elde edilen sesler hastalık teşhisi için çok önemlidir. Oskültasyon, stetoskobun cilt üzerine yerleştirilmesi ile hava akımının bronşlar ve alveollerde oluşturduğu titreşimin dinlenmesine dayalı bir muayene tekniğidir. Oskültasyon yöntemi ile akciğer seslerinin değerlendirilmesi sessiz, yeterince aydınlık bir ortamda ve oda ısısında yapılmalıdır. Stetoskobun diyafram kısmı cilt ile her noktadan tam temas halindeyken belli bir sıra takip edilerek akciğerlerin dinlendiği tüm noktalar için en az bir inspiriyum ve ekspiriyumu içine alacak şekilde simetrik olarak değerlendirilmelidir [1]. Bu işlem sessiz bir ortamda, stetoskop tam yerleştirilerek ve simetrik olarak uygulanmalıdır.

Akciğer sesleri 60 ve 1500 Hz aralığında bulunan seslerdir [2]. Analog stetoskoplarda elde edilen bilgi, hastadan hastaya ve sesin alındığı bölgeye göre farklılık göstermesi ve sesleri dinleyen personelin stres, yorgunluk, tecrübesizlik gibi durumlarda olmasından kaynaklı olarak yanlış teşhise neden olabilmektedir. Aynı zamanda analog stetoskoplarda dinlenen ses verileri kayıt altına alınamamakta ve 120 Hz üzerindeki ses frekansları zayıflatıldığı için bu aralıktaki ses bileşenleri kaybolmaktadır [3]. Elektronik stetoskopta ise veriler kaydedilebilmekte ve bilgisayar üzerinden görüntülenebilmektedir.

Akciğer sesleri normal ve ek sesler olarak ikiye ayrılmaktadır. Normal sesler akciğerlerde hiçbir solunum problemi olmadığında soluk alıp verme sırasında havanın göğüsten içeriye ve dışarıya hareketiyle dinlenen seslerken ek sesler normalde var olmayan patolojik durumlarda görülen seslerdir [4]. Çalışmada kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), üst solunum yolu enfeksiyonu, pnömoni ve sağlıklı kişilerden oluşan 4 gruba ait akciğer sesleri kullanılmıştır. KOAH, akciğerlerde alınan havanın kolaylıkla dışarı verilememesi olarak tanımlanırken sakatlık ve ölüme neden olabilecek bir hastalıktır. Üst solunum yolu enfeksiyonu ise genellikle üşüme ve öksürük, boğaz ağrısı, burun akıntısı, burun tıkanıklığı, balgam, baş ağrısı, ateş, kulak ağrısı gibi semptomlara yol açan bir akciğer hastalığıdır. Pnömoni ise zatürre olarak bilinen koronavirüs geçiren kişilerde de görülebilen ağır bir hastalıktır. Akciğerdeki hava keseciklerinin iltihaplı bir sıvı ile dolmasıdır. Bu hastalıklar insan yaşam kalitesini birebir ilgilendirmekle birlikte teşhisinde otomatik sistemlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen 4 gruptan alınan sesler öncelikle Chebyshev filtre ile filtrelenmiş ve dalgacık dönüşümü, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, güç spektral yoğunluğu kullanılarak elde edilen öznitelikler değerlendirilmiş ve literatürde de daha çok tercih edilen dalgacık dönüşümü katsayıları kullanılarak WEKA programı üzerinden karar ağaçlarının farklı algoritmaları ile sınıflandırılma yapılmıştır.

### 1.1 Literatür Taraması

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde KOAH hastalığında wheeze, pnömoni hastalığında ral ek seslerinin olduğu görülmektedir [5]. Yapılan çalışmada sesler karakteristik olarak sınıflandırılmıştır. Alınan verilerde her bir ses 15 saniye süresince olup 9600 örneğe karşılık gelmektedir. Wheeze, raller ve normal solunum sesleri için her biri 200 bölüt olmak üzere 600 bölüt ses

kullanılmıştır. Alınan seslerde öznitelik çıkarımı yapılmış ve güç spektral yoğunluğu, Mel frekansı kepsstral sayıları, algısal doğrusal öngörü yöntemleri için k en yakın komşu ve destek vektör makineleri ile sınıflandırılarak doğruluk yüzdelere ulaşılmıştır. Sonuçlar tek tek incelendiğinde en iyi sonuç algısal doğrusal öngörü yöntemleri olsa da tüm sınıfların ortalama değerine bakıldığında en iyi doğruluk değeri mel frekansı kepsstral sayılarında elde edilmiştir. Destek vektör makineleri birkaç durumda k en yakın komşu sınıflandırmasından daha düşük doğruluk oranı verse de elde ettiği sonuçlar ortalama hem daha iyi hem de daha kararlıdır [5].

Literatürdeki diğer bir çalışmada ise sağlıklı ve sağlıklı olmayan akciğer sesleri dalgacık katsayıları kullanılarak filtrelenmiştir. Çalışmada RALE'den alınan 14 sağlıklı, 20 sağlıksız olmak üzere 34 akciğer sesi kullanılmıştır. Verilerdeki seslerin süresi tek bir nefes alış-veriş döngüsü şeklinde verilirken örneklem frekansı ise 11025 olarak belirlenmiştir. Yüksek bileşendeki gürültüyü yok etmek için 1,5 kHz kesim frekansına sahip 4. dereceden alçak geçiren filtre kullanılmıştır. Deri sürtünmesi, iç organ seslerini ortadan kaldırmak için ise 4. dereceden yüksek geçiren filtre ile bu sesler filtrelenmiştir. Çok katmanlı yapay sinir ağı kullanarak sınıflandırma yapılmış; verilerin %70'i eğitim, %30'u ise test kümesi olarak kullanılıp yapılan sınıflandırma sonucu doğruluk oranı %100 bulunmuştur. Destek vektör makinelerinde de çok katmanlı yapay sinir ağına olduğu gibi verilerin %70'i eğitim, %30'u test kümesi olarak kullanılması sonucu %100 doğruluk oranı elde edilmiştir [6].

Orjuela ve ark. (2014), wheeze, raller ve normal akciğer seslerini sınıflandırmak için yapay sinir ağlarıyla birlikte Mel frekansı kepsstral katsayılarını kullanmışlardır. Sınıflandırmanın doğruluk değeri raller için %70, wheeze için %100 ve normal seslerde %80 olarak elde edilmiştir [7]. Chambres ve ark. (2018), bir karar ağacı modeli ve daha fazla ses bileşenine sahip bir makine öğrenimi yaklaşımı önermişlerdir. Veri seti olarak ICBHI 2017 kullanılmış ve deney sonucu %50 doğruluk oranı elde edilmiştir [8]. İçer ve Gengeç (2014), sağlıklı ve sağlıksız akciğer seslerinde güç spektral yoğunluk değerlerinin frekans oranını ve Hilbert-Huang Dönüşümü özelliklerini kullanarak destek vektör makineleri ile sınıflandırarak %90'ın üzerinde doğruluk elde etmişlerdir [9]. Serbes ve ark. (2013), zaman frekansı ve zaman ölçeği analiziyle özellik çıkarmışlardır. Raller ve raller olmayan sesleri sınıflandırmak için k-en yakın komşu, destek vektör makineleri ve yapay sinir ağları kullanılmıştır. En iyi sınıflandırma sonucu %97,5 olarak destek vektör makinelerinde elde edilmiştir [10]. Jin ve Sattar (2014), solunum seslerini sınıflandırmak için destek vektör makineleri kullanmışlardır. Sinyallerden basıklık, entropi gibi özellikler çıkarılarak %97,7 ile %98,8 arasında doğruluk değeri rapor etmişlerdir [11]. Bahoura (2009), iki sınıftan oluşan akciğer solunum seslerinin sınıflandırılmasında sinyallerden Mel frekansı kepsstral katsayıları ile özellik çıkarıp Gauss karışım modeli ile sınıflandırarak %94,2 doğruluk değeri rapor etmişlerdir [12].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Verilerin Alınması

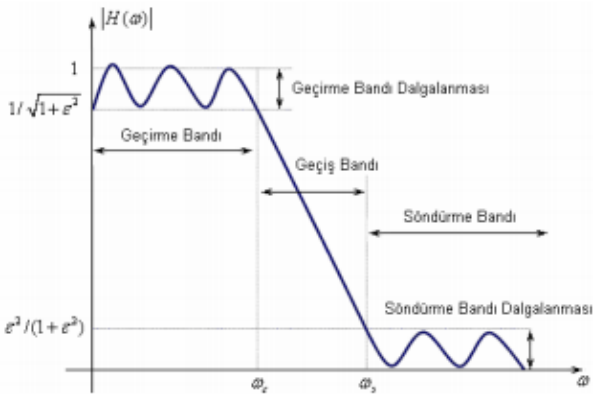
Bu çalışmada analiz edilen veriler ICBHI Challenge sitesinde yayınlanan hazır veri setinden [13] alınmıştır. Çalışmada kullanılmak istenen hastalık durumlarına sahip 6 sağlıklı ve 6



pnömoni, 6 üst solunum yolu enfeksiyonu ile 6 KOAH hastalığı taşıyan kişilerden elde edilen 20 saniye uzunluğuna sahip 24 ses verisi 4'e bölünerek sesin alt çeyrek, üst çeyrek, aralık ve ortalamasına göre 4 adet veri setine bölünmüştür. Böylelikle 24 kişiden oluşan gruba ait 96 ses sinyali içeren veri seti elde edilmiştir. Veri setimizde 12 kadın 12 erkek bulunmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen verilere uygulanan metodlar aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

## 2.2 Chebyshev Filtre

Chebyshev filtreleri bir çeşit yüksek-Q filtreleridir. Bu filtreler; söndürme bandında dik iniş istenildiği zaman, geçiş bandının düz olmasının gerekli olmadığı durumlarda kullanılır. Bu filtre cevabında, geçiş bandı dalgalanmasına izin verilir. Butterworth cevabına oranla söndürme bandındaki başlangıç inişleri daha keskindir [14]. Bu karşılaştırma Şekil 1'de yer almaktadır. Şekilde eğriler n=3 derecesindeki filtreler içindir. Chebyshev filtresi, geçiş bandında 3 dB'lik dalgalanma yapar. Butterworth filtresinden 10 dB kadar söndürme bandında daha fazla zayıflama yapar [15].



Şekil 1: Chebyshev Filtre Karakteristiği [14]

Chebyshev filtresi için zayıflama;

$$\alpha_n = 10 \log[1 + \varepsilon^2 + C_n^2(w)] \text{ dB}$$

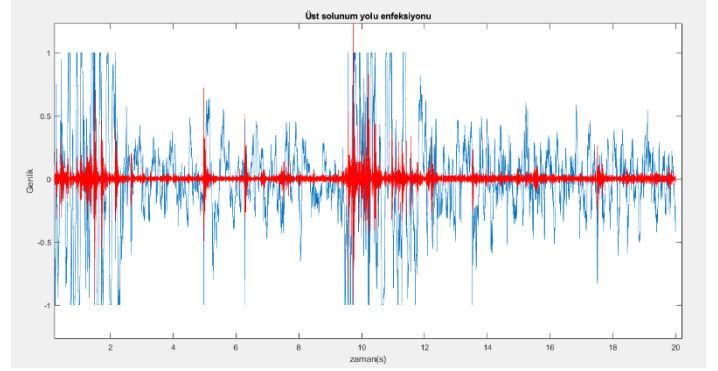
n. dereceden Chebyshev polinomu;

$$C_n(w) = \cosh n \cosh^{-1}(w)$$

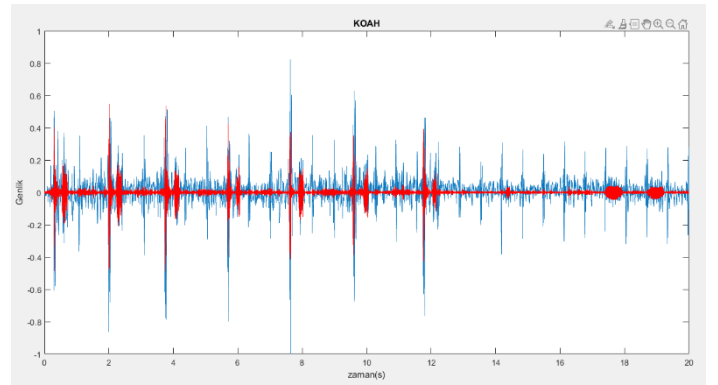
$$|H(jw)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 C_n^2(w)}}$$

Akciğer sesleri 60 Hz-1,5 kHz aralığındadır buna karşın stetoskoplardan alınan verilerde başta kalp sesleri, iç organ sesleri, deri sürtünmeleri ve kas sesleri etkin bir gürültü oluşturmaktadır [1]. Bu çalışmada sesi gürültüden arındırmak için 60-1500 Hz arasındaki frekanslarda bulunan sesin kullanılması kalan gürültülerin ise filtrenmesi gerekliliğinden 9. Dereceden 60Hz ve 1,5kHz kesim frekanslarına sahip bir Chebyshev band geçiren filtre tasarlanmıştır.

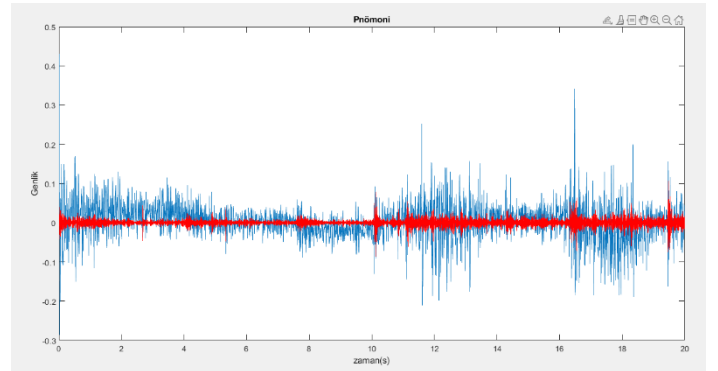
Aşağıdaki şekillerde (Şekil-2, 3, 4, 5) seslerin ait olduğu hastalıkların filtresiz (mavi) ve filtreli (kırmızı) sinyalleri sunulmuş olup uygulanan filtrenin yüksek oranda gürültüyü elimine etmekteki başarısı görülmektedir.



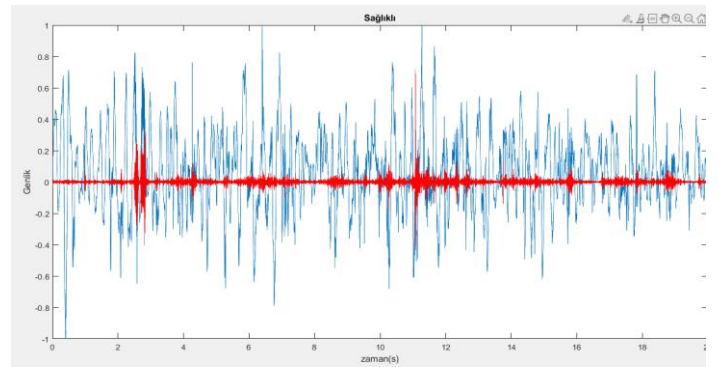
Şekil 2: Üst Solunum Yolu Enfeksiyonu Hastalığı Akciğer Ses Sinyali



Şekil 3: KOAH Hastalığı Akciğer Ses Sinyali



Şekil 4: Pnömoni Hastalığı Akciğer Ses Sinyali



Şekil 5: Sağlıklı Akciğer Ses Sinyali

### 2.3 Öznitelik Çıkarma

Tüm kişilere ait akciğer sesleri filtrelendikten sonra kısa zamanlı Fourier dönüşümü alınmıştır. Bu dönüşümdeki amaç, durağan olmayan işareti durağan olan küçük zaman parçalarına ayırmak ve bu zaman parçalarındaki frekansları belirlemek için bahsedilen aralıkların Fourier analizini yapmaktır [16]. Kısa zamanlı Fourier dönüşümü zaman-frekans eksenlerine ayrılarak kullanılmıştır. Daha sonra güç spektral yoğunluğu alınmıştır ve bu metod elimizdeki ses verisinin enerjisinin frekansla nasıl dağıtıldığını açıklar. Son olarak ise dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Dalgacık dönüşümü solunum sesindeki gibi durağan olmayan yani dinamik sinyallerin analizinde kullanılan bir yöntemdir.

Dalgacık analizi düşük frekans bilgisinin daha önemli olduğu durumlar için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekans bilgisinin daha önemli olduğu durumlar için de daha küçük zaman aralıklarının kullanımına izin veren değişik boyutlarda bölgelere sahip bir pencereleme tekniğidir [17]. Bu yöntemde yaklaşım katsayıları (cA) ve detay katsayıları (cD) olmak üzere iki kısım elde edilmiştir. Yaklaşım katsayıları (cA), sinyalin yüksek ölçekli alçak frekans bileşenlerini ve detay katsayıları (cD) ise sinyalin düşük ölçekli yüksek frekans bileşenlerini göstermektedir [18].

Dinamik sinyallerde Fourier dönüşümü sinyal ile ilgili istenilen bilgiyi sağlayamaz. Fourier dönüşümü sinyalin sadece frekans bileşenlerini gösterse de zaman eksenindeki bileşenler hakkında bilgi vermemektedir.

Dinamik sinyallerde frekans bileşeni zamanda değişkenlik gösterir bu yüzden zaman-frekans bilgisi gereklidir. Dalgacık dönüşümü ise sinyalin süre ve frekanstaki bileşenlerini aynı anda gösterebildiğinden bu yöntemle sınıflandırma yapılmıştır.

#### 2.3.1 Fourier Dönüşümü

Bir sinyalin fonksiyonları zamanla değişmiyorsa, bunlara "durağan sinyal" denir. Durağan bir sinyalde de beklenmeyen olaylar görülebilir, ancak bu olayların olasılığı istatistik olarak tahmin edilebilir bilgilerdir. Durağan sinyalleri incelemek için Fourier dönüşümü kullanılır. Fourier dönüşümü gürültüye karşı olan dayanıklılıklığı ve öteleme bağımsızlığı sebebiyle çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Fourier dönüşümü ile bu sinyaller, sinüs ve kosinüs dalgalarının lineer birleşime ayrışır [19]. Herhangi bir  $f(t)$  fonksiyonunun Fourier dönüşümü,

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i2\pi ft} dt$$

formülü ile ifade edilir.

#### 2.3.2 Güç Spektral Yoğunluğu

Solunum sesi penceresi bir zaman serisi  $x(k)$  olarak düşünülürse, güç spektrum yoğunluğu aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır;

$$P(f) = \frac{1}{K} |X(f)|^2$$

$i=0, \dots, M-1$  olmak üzere,  $X(f)$ ,  $x(k)$  nın Fourier dönüşümüne karşılık gelmektedir. Welch yöntemi güç spektrum yoğunluğunun  $w(k)$  pencereleri ile çarpılmasına ve veri bölütlerinin örtüşmesine izin verdiğinden dolayı kullanılabilirlik sağlamaktadır [20]. Literatürde durağan sinyallerde çoğunlukla Fourier dönüşümü ve güç spektral yoğunluğu, dinamik sinyallerde ise dalgacık dönüşümü metoduna bağlı özellikler kullanılarak analiz ve sınıflandırma tercih edilmiştir [6].

#### 2.3.3 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü akciğer ses sinyalleri gibi durağan olmayan sinyallerin analizinde kullanılacak olan yararlı bir araçtır. Bu durum dalgacık dönüşümünün farklı ölçeklerde yeniden çözüm özelliğinden kaynaklanır. Sinyaller çoğu durum için frekans tanım alanında analiz edilirler. Fourier dönüşümü bir sinyalin ihtiva ettiği frekansları gösterir fakat hangi zaman değerlerinde hangi frekansların mevcut olduğunu bildirmez.

Dalgacık analizi düşük frekans bilgisinin daha değerli olduğu durumlar için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekans bilgisinin daha değerli olduğu durumlar için de daha küçük zaman aralıklarının kullanımına izin veren değişik boyutlarda bölgelere sahip bir pencereleme tekniğidir [6]. Bu özelliğinden dolayı akciğer sesi gibi dinamik özellik taşıyan sinyallerin analizinde yüksek başarı göstermektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1 Karar Ağacı (Decision Tree) ile Sınıflandırma

Veri madenciliği tekniklerinden biri olan karar ağaçları, sınıflandırma ve tahmin yapmak için kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, destek vektör makineleri gibi sınıflandırmalara göre daha kolay anlaşılabilir bir sınıflandırma yöntemidir. Karar ağacında kullanılan veri seti, öğrenme ve sınıflandırma olmak üzere iki bölüme ayrılıp öğrenmeden sonra veriler sınıflandırılarak karar ağacı şeklinde gösterilir. Sınıflandırma aşamasındaysa test verisi sınıflandırmanın doğruluğunu ve sınıflandırmadaki kuralları belirlemek için kullanılır [21]. Bulunan doğruluk istenilen seviyede ise bu kurallar sonraki verilerin de sınıflandırılması için kullanılır.

Bu çalışmada akciğer seslerinin dalgacık katsayılarına karar ağacı algoritmalarından olan random tree, reptree, random forest ve m5p uygulanmıştır.

Random Forest algoritmasında eğitsel verilerdeki örneklerin rastgele bir şekilde seçimi yapılır ve oluşturulan budanmamış ham sınıflandırma ve regresyon ağaçlarından oluşan modellerdir. Özellikle büyük miktarda verilerin sınıflandırılmasında iyi performans göstermektedir. Her bir bağımlı parçalanmasında kullanılacak özelliklerin rastgele seçimi, algoritmanın Adaboost ile yarışacak sonuçlar doğurmasına ve gürültülü değerlere karşı daha dayanıklı olmasına yol açmaktadır [22].

RandomTree algoritması sonucunda oluşan ağaç, olası ağaç kümeleri içinden rastgele olarak seçilmekte olup bu ağaçlar düzensiz dağılım göstermektedir. Bu rastgele ağaçlar, etkili bir şekilde oluşturulmakta ve birçok rastgele oluşturulmuş ağaç modeller genellikle yüksek doğruluk oranına sahiptir [23].

Reptree algoritması en hızlı karar ağaç sınıflandırma algoritmalarından biridir. Bu algoritma regresyon ya da karar ağaçlarının oluşmasında bilgi kazancı ölçütünü kullanır ve oluşan bu ağaç, azaltılmış hata budaması metodolojisine dayalı olarak budama işlemine tabi tutmaktadır. Bu algoritmada, yalnızca sayısal niteliklerin sıralanması işlemi söz konusudur. M5P ise son düğümlerin sürekli sayısal öznitelikler üretebilen doğrusal regresyon fonksiyonlarının olduğu ikili bir regresyon ağacı modelidir. Lineer regresyon modellerini birleştirmektedir [24].

Akciğer seslerinin filtrelenmiş sinyaline uygulanan dalgacık dönüşümlerinden elde edilen katsayılara karar ağaçlarının dört farklı algoritması uygulanarak elde edilen yüksek başarılı sınıflandırma sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada WEKA programı ile karar ağaçlarının Random Forest, Random Tree, M5P ve Reptree algoritmaları kullanılarak sınıflandırılma yapılmıştır.

Yaklaşım katsayıları(cA) ve detay katsayılarına(cD) ayrı sınıflandırma yapılmış, sınıflandırıcıları eğitmek için %75 eğitim, %25 öğrenme metodu ile 10 kat çapraz doğrulama ve birini dışarıda çapraz doğrulama (leave-one-out) metodu kullanılmıştır ve iki yöntemin sonuçlarının yakın olduğu gözlenmiştir. 10 Kat çapraz doğrulama ve birini dışarıda çapraz doğrulama sınıflandırma metodu ile yaklaşım katsayıları ve detay katsayıları kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemlerinin doğruluk değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1: Yaklaşım Katsayıları(cA) Sınıflandırmasında Doğruluk Değerleri

Sınıflandırma Algoritmaları	Doğruluk Değeri
Reptree	%98
Random Tree	%94
Random Forest	%97
M5P	%99

Tablo 2: Detay Katsayıları(cD) Sınıflandırmasında Doğruluk Değerleri

Sınıflandırma Algoritmaları	Doğruluk Değeri
Reptree	%95
Random Tree	%91
Random Forest	%95
M5P	%94

Elde edilen sonuçlara göre yaklaşım katsayılarında M5P algoritması daha yüksek doğruluk değeri verirken detay katsayılarında Reptree ve Random Forest algoritmaları en yüksek doğruluk değerini vermiştir. Her iki sınıflandırma için de en düşük doğruluk değeri Random Forest algoritmasındadır. Bu çalışma sonucunda akciğerdeki solunum sesleri elektronik stetoskop ile alınıp bilgisayar ortamında işlendiğinde akciğer seslerinin sınıflandırmasının yüksek doğrulukta olduğu böylelikle hastalık tayininin başarılı bir şekilde yapılabileceği görülmektedir.

#### 5. Kaynakça

- [1] Aydemir, Y.(2011). Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği, Göğüs Hastalıkları Erişim adresi: <https://www.solunum.org.tr/TusadData/Book/853/1412021102014-1072020165943bolum02.pdf>.
- [2] Reichert, S., Gass, R., Brandt, C., ve Andrès, E. (2008), Analysis of Respiratory Sounds: State of the Art, Clin Med Circ Respirat Pulm Med. 2008; 2: 45–58. doi: 10.4137/ccrpm.s530.
- [3] Gavriely, N., Cugell, D. W. (1995). Breath sounds methodology, CRC Press.
- [4] Şengül Emeksiz, Z, Bostancı, İ. (2018). Akciğer: Sesimi Duyan Var Mı?. Güncel Pediatri, 16 (3), 79-84. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pediatri/issue/40492/485522>.
- [5] Serbes, G, Ulukaya, S, Şen, İ, Kahya, Y. (2018). Akciğer Solunum Seslerinin Spektral Öznitelikler ile Sınıflandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 711-716. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufenbed/issue/38975/456380>.
- [6] Uysal, S., Uysal, H., Bolat, B., & Yıldırım, T., (2013). Sağlıklı ve Sağlıksız Akciğer Seslerinin Dalgacık Katsayıları Kullanılarak Sınıflandırılması. IEEE 22. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, Turkey.
- [7] Orjuela-Cañón, A. D., Gómez-Cajas, D. F., ve Jiménez-Moreno, R. (2014), “Artificial Neural Networks for Acoustic Lung Signals Classification,” Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, pp. 214–221, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-12568-8-27.
- [8] Chambres, G., Hanna, P., ve Desainte-Catherine, M. (2018), “Sound Analysis,” 2018 International Conference on ContentBased Multimedia Indexing (CBMI). IEEE, 2018, doi: 10.1109/cbmi.2018.8516489.
- [9] İçer, S., ve Gengeç, Ş. (2014), “Classification and analysis of non-stationary characteristics of crackle and rhonchus lung adventitious sounds,” Digit. Signal Process., vol. 28, pp. 18–27, 2014, doi: 10.1016/j.dsp.2014.02.001.
- [10] Serbes, G., Sakar, C. O., Kahya, Y. P., ve Aydin, N. (2013), “Pulmonary crackle detection using time–frequency and time–scale analysis,” Digit. Signal Process., vol. 23, no. 3, pp. 1012–1021, 2013. Doi:10.1016/j.dsp.2012.12.009.
- [11] Jin, F., Sattar, F., ve Goh, D. Y. T. (2014), “New approaches for spectro-temporal feature extraction with applications to respiratory sound classification,” Neurocomputing, vol. 123, pp. 362–371, 2014, doi: 10.1016/j.neucom.2013.07.033.
- [12] Bahoura, M. (2009), “Pattern recognition methods applied to respiratory sounds classification into normal and wheeze classes.” Comput. Biol. Med., vol. 39, no. 9, pp. 824–843, Eylül 2009, doi: 10.1016/j.compbiomed.2009.06.011.classes.
- [13] ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Database Erişim adresi: [https://bhichallenge.med.auth.gr/ICBHI\\_2017\\_Challenge](https://bhichallenge.med.auth.gr/ICBHI_2017_Challenge).
- [14] Çekiç, Y. (2004), Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Analizi (Doktora tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- [15] Valkenburg, M.E.V.(1982)., Analog Filter Design: Cbs College College Publishing Company, New York, 1982.
- [16] Çekiç, Y. (2004), Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Analizi (Doktora tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

- [17] Shi Y, Li Y, Cai M, Zhang XD. (2019), A Lung Sound Category Recognition Method Based on Wavelet Decomposition and BP Neural Network. *Int J Biol Sci* 2019; 15(1):195-207. doi:10.7150/ijbs.29863. Erişim adresi: <https://www.ijbs.com/v15p0195.html>.
- [18] Tepe, C., Sezgin, H., EKG Sinyallerinde Gürültü Gidermede Ayrık Dalgacık Dönüşümünde Farklı Ana Dalgacıkların ve Ayrıştırma Seviyelerinin Karşılaştırılması, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun. Erişim adresi: [https://www.emo.org.tr/ekler/48132c7802e7bad\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/48132c7802e7bad_ek.pdf).
- [19] Ayaz, E. (1997), “Dalgacıklar ve Elektrik Mühendisliğindeki Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 53s, İstanbul.
- [20] Welch, P. D. (1967), The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms, *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics* 15, 2(1967), 70-73.
- [21] Breiman, L. (2001), Random Forests, *Machine Learning*, 45 (1): 5-32.
- [22] Priyama, A., Abhijeeta, Gupta, R., Ratheeb, A., ve Srivastava, S. (2013), Comparative Analysis of Decision Tree Classification Algorithms, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.3, No.2
- [23] Nor Haizan, W., Mohamed, W. (2012), A Comparative Study of Reduced Error Pruning Method in Decision Tree Algorithms, 2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering.
- [24] Chaitanya Kumar, S., Deepak Chowdary, E., Venkatramaphanikumar S, Krishna Kishore, K.V. (2016), M5P Model Tree in Predicting Student Performance: A Case Study, 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT).



# Yapay Zeka Tabanlı Görüntü İşleme Tekniklerinin İnsansız Hava Araçları Üzerinde Uygulamaları

İlhan Soyhan<sup>1\*</sup>, Seyfettin Gürel<sup>2</sup>, Sezai Alper Tekin<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5135-7358)

[ilhan.soyhan.38@gmail.com](mailto:ilhan.soyhan.38@gmail.com)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8504-2784), [sgurel@erciyes.edu.tr](mailto:sgurel@erciyes.edu.tr)

<sup>3</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5860-2758), [satekin@erciyes.edu.tr](mailto:satekin@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903181)

**ATIF/REFERENCE:** Soyhan, İ., Gürel, S. & Tekin, S. A. (2021). Yapay Zeka Tabanlı Görüntü İşleme Tekniklerinin İnsansız Hava Araçları Üzerinde Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 469-473.

## Özet

Yapay zeka uygulamalarının insansız hava araçları ile etkileşimi son yıllarda ciddi oranda artış göstermektedir. İnsansız hava araçlarının uygulama alanlarının genişlemesi, yeni ihtiyaçların doğmasına sebep olmuştur. Gelişen drone ve yapay zeka teknolojileri bu modifikasyon sürecini hızlandırmıştır. Yapay zekanın mühendislik disiplinlerindeki artışı yeni metotların doğmasına ve alternatif yöntemlerin oluşmasına olanak sağlamıştır. Görüntü işleme teknikleri bu bağlamda geliştirilmiş alternatif bir yöntemdir. Görüntü işleme yöntemleri ile adım adım görüntünün yakalanması, sayısallaştırılması ve iyileştirilmesi gerçekleştirilir. Mevcut çalışmada insansız bir hava aracına (quadcopter) görüntü işleme tekniklerinin uygulanması, algoritmalarının geliştirilmesi ve insansız hava aracının bu yönteme karşı verdiği tepkiler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, İnsansız Hava Araçları, Yapay Zeka

# Applications of Artificial Intelligence Based Image Processing Techniques on Unmanned Aerial Vehicles

## Abstract

The interaction of artificial intelligence applications with unmanned aerial vehicles has increased significantly in recent years. The expansion of the application areas of unmanned aerial vehicles has led to the emergence of new needs. Developing drone and artificial intelligence technologies have accelerated this modification process in engineering disciplines. The increase of artificial intelligence has enabled the emergence of new methods and the emergence of alternative methods. Image processing techniques are an alternative method developed in this context. With image processing, the image is captured, digitized and enhanced. In this study, the application of image processing techniques to an unmanned aerial vehicle (quadcopter), the development of its algorithms, and the reactions of the unmanned aerial vehicle to this method were examined.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Image processing, Unmanned Aerial Vehicle

\* Sorumlu Yazar: [ilhan.soyhan.38@gmail.com](mailto:ilhan.soyhan.38@gmail.com)

## 1. Giriş

Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Özellikle araç içi otomasyon, güvenlik sistemleri, gezgin robot uygulamaları, askeri alanlarda dost ve düşman kuvvetlerinin gözetlenmesi, tarım uygulamaları, biyomedikal ve tıp alanlarında, coğrafi bilgi sistemlerinde, tasarım ve imalat uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Görüntü işleme; temelinde dijital görüntünün yakalanıp istenilen formata sayısallaştırılması ve analizinin yapılmasına dayanan 3 adımda incelenmektedir. Alınan görüntü istenilen parametrelere dönüştürülerek sonuç çıktısı alınır.

Görüntü işleme: Alınan image datasının belirli algoritmalar ile işlenerek bu görüntülerden nihai sonuç elde edilmeye çalışıldığı süreçtir. Bu çalışmada insansız hava aracında görüntünün işlenmesi için gerekli algoritmaların hepsi python yazılım dili ile yazılmış olup , görüntü işleme en fazla kullanılan OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. OpenCV kütüphanesi, BSD lisansı ile lisanslanmıştır. Özgür lisanslar içinde en özgürü olarak bilinen bu lisansla kodu alan kişi, istediği gibi kullanma özgürlüğüne sahiptir.[2]

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Görüntünün Yakalanması

Görüntü işlemenin ilk adımı görüntünün alınması ile başlamaktadır. Alınan görüntünün işlenmesi için temel görüntü yakalama işlemi birden fazla methodla yapılmaktadır.

```
import cv2

window_name = "kamera"
capture = cv2.VideoCapture(0)

cv2.namedWindow(window_name)

while 1:
    _, frame = capture.read()

    cv2.imshow(window_name, frame)

    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'): break

capture.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Şekil 1. Anlık Görüntünün Yakalanması

OpenCV kütüphanesinden cv2.VİDEOcapture fonksiyonu ile bilgisayara bağlı olan kameranın ID si girilerek o kameradan görüntü alma işlemi başlatılabilir. Bu ID genellikle cihazın bilgisayara bağlanma sırasına göre değişiklik gösterir. Birden fazla cihazın bağlı olması durumunda başlangıç id sı sıfır olmak üzere bir bir artırılarak deneme yanılma yöntemi ile bulunur. Daha sonra eş zamanlı olarak görüntü almak için bir döngü kurulur ve bu döngü içinde videocapture sınıfının read ( ) fonksiyonu kullanılarak kameradan anlık kare alınır ve ekrana imshow fonksiyonu ile ekrana yansıtılır.

### 2.2. Renk uzayının değiştirilmesi

Sayısallaştırma işleminde, görüntü boyutlarının ve her bir pikselin sahip olabileceği parlaklık değerinin belirlenmesi gerekir. Sayısal görüntünün her bir pikselinin sahip olduğu parlaklık değeri gri seviyeler olarak adlandırılır. Her bir pikseldeki parlaklık değerinin kodlandığı bit sayısına göre gri seviye aralığı belirlenir.[3]

Kameradan aktarılan görüntü karesi ( frame ) kare gri renk uzayına çevrilir. Bu yöntemin amacı; sahip olduğumuz 3 renk kanalının (RGB) sayısını bire düşürerek görüntünün toplam boyutunu küçültüp, görüntü işleme algoritmasının hızını arttırmayı amaçlar.



Şekil 2. RGB Uzayındaki Görüntü



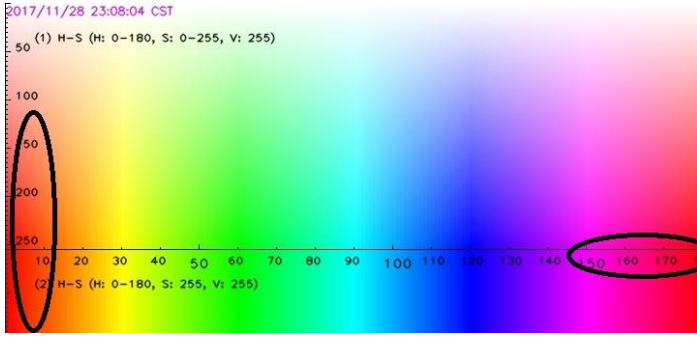
Şekil 3. Gri Frame

### 2.3 Eşikleme

Eşikleme işlemi görüntü üzerindeki piksellerin belirlenen eşik değerinden düşük olması durumunda pikseli siyah, aksi durumda beyaz olacak şekilde dönüştürme işlemidir. Bu işlem fonksiyona verilen parametre ile tam tersi durumda çevrilebilir. Bu işlemden sonra oluşan ikili görüntü üzerinde istenmeyen gürültü (beyaz bölgelerde oluşan siyah noktacıklar) morfolojik işlemler yardımı ile giderilir. Bu çalışmada kullanılan morfolojik işlemler erosion (aşındırma) ve dilation (genişleme) yöntemleridir.

#### 2.3.1 Renk Eşiklemesi

Görüntü üzerinde hsv renk uzayı kullanılarak yapılan eşikleme işlemidir. Bu işlem renk sıklası üzerinde çalışmayı gerektirmektedir. Görüntüdeki odak renk bu sıklada belirlenip çıktının sınırlarının belirlenmesi önemlidir.



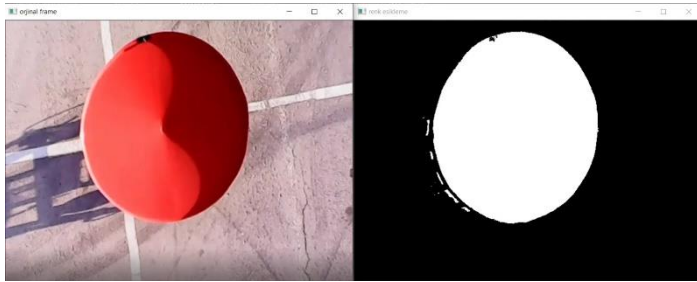
Şekil 4. Rgb Aralığı

Bu çalışmada insansız hava aracının aldığı renkli görüntüden kırmızı nesneyi tespit etmesi amaçlandığı için renkli eşikleme methodu kullanılmıştır. Bu methodun efektif bir şekilde kullanabilmesi için renk uzayının rgb den hsv ye çevrilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi ise hsv renk uzayında renk seçiminin daha doğal olmasıdır. Geniş bir renk aralığı seçilip uygulama ışığa daha az duyarlı hale getirilebilir.

```
hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
mask = cv2.inRange(hsv, (0, 110, 20), (10, 255, 255))
color_mask = cv2.inRange(hsv, (145, 110, 20), (180, 255, 255))
mask = cv2.bitwise_or(mask, color_mask)
cv2.imshow("renk esikleme", mask)
```

Şekil 5. Rgb Maskeleye Algoritması

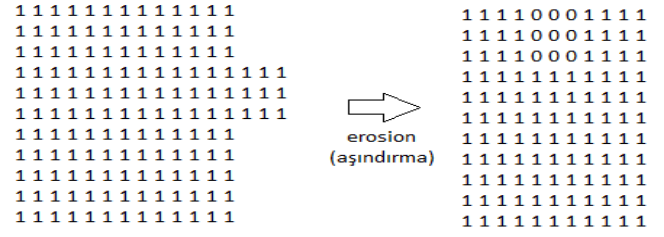
Bu deneyde insansız hava aracından alınan görüntüdeki kırmızı nesnenin tespiti için ilk önce renk aralığı belirlenmiştir. İnsansız hava aracının yakaladığı görüntüdeki alanın kırmızı olması ve kırmızı renginin hsv renk uzayında iki farklı aralıkta bulunmasından dolayı, her iki aralıkta eşikleme işlemi yapılır elde edilen veriler birleştirilerek renk alanı saptanmış olunur.



Şekil 6. Eşiklenmiş Frame

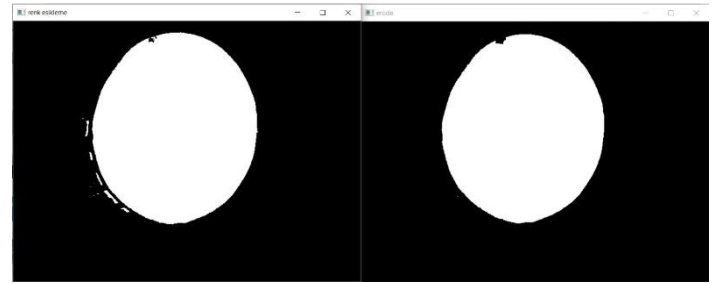
### 2.3.2 Aşındırma ve Genişleme Morfolojik İşlemleri

**Aşındırma:** Bu operatör görüntü üzerinde bir aşındırma işlemi uygular. Parametrelere göre belirtilen alan içerisindeki pikseller aşındırılır ve gürültülü olarak adlandırılan bozuk olan görüntü, gürültüden arındırılarak temizlenir. Bütün bu olaylar matematiksel olarak tanımlanmıştır ve diziler üzerinde gerçekleştirilir. İlk görüntü dizisi aşındırma ile gürültüden arındırılmaktadır [4]



Şekil 7. Aşındırma İşlemi

**Genişleme:** Bu operatör giriş olarak verilen görüntü üzerindeki parametreler ile verilen alan içerisindeki sınırları genişletmektedir, bu genişletme sayesinde piksel gurupları büyür ve pikseller arası boşluklar küçülür. Bu işlem için OpenCV dilation operatörü kullanılmaktadır. Bu metot parametre olarak giriş görüntüsü olacak bir mat nesnesi, çıkış görüntüsü için ikinci bir mat nesnesi ve yapısal element almaktadır



Şekil 8. Genişleme İşlemi

Görselde görüldüğü üzere giriş görüntüsünde bulunan beyaz şekiller dilation operatörü uygulandığında birbirlerine yaklaşmışlardır. Burada önemli nokta zeminin siyah, nesnelerin beyaz olması ve yapısal element. Yapısal element üzerindeki değişiklikler ile aralarındaki mesafe daha da azaltılıp birleştirilebilir.

```
kernel = np.ones((5, 5), np.uint8)
eroded = cv2.erode(mask, kernel, iterations=1)
cv2.imshow("erode", eroded)

dilated = cv2.dilate(eroded, kernel, iterations=1)
cv2.imshow("dilate", cv2.dilate(mask, kernel, iterations=1))

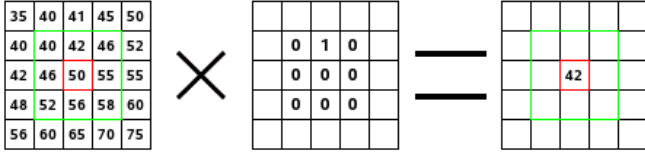
edited_frame = dilated
cv2.imshow("morfolojik", edited_frame)
```

Şekil 9. 5x5 Matris Algoritması

Eşiklenen görüntü verisinin üzerine 5x5 lik birler matrisi gezdirilerek aşındırma ve genişleme işlemleri yapılır. Bu işlem sonucundaki gürültüsü giderilmiş görüntü çıktısı alınır.

### 2.4 Filtreleme

Filtreleme operasyonu görüntü işlemede en çok gerçekleştirilen operasyonlardan biridir. Bu operasyonlar iki boyutlu görüntü dizimizdeki her piksel ve çevresindeki pikseller için tanımlanır. Filtreleme operasyonlarının büyük çoğunluğu bir pikselin ve çevresindeki komşu piksellerin uygun başka bir matrisle çarpılması ile gerçekleştirilir. Bu matrise *kernel* ismi verilir.[5]

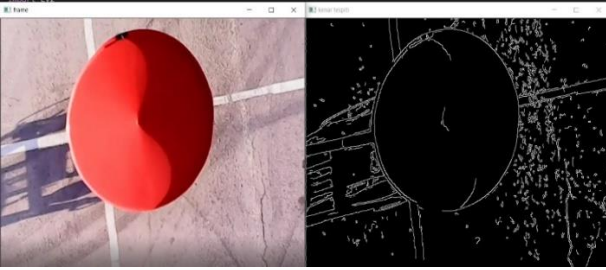


Şekil 10. Kernel Matrisi

Filtreleme işlemi genellikle gürültü gidermeyi amaçlar. Gürültüyü bir görüntü üzerindeki istenmeyen kalabalık bütünü olarak tanımlayabiliriz. Filtrelemenin birçok methodu olmasına karşın mevcut çalışmada insansız hava aracının yüksek irtifada seyir etmesinden dolayı alınan görüntüler üzerinde gürültü giderme amaçlı blur ve morfolojik işlemler uygulandıktan sonra kenar tespit etme işlemi (Canny methodu) uygulanmıştır.

### 2.4.1 Kenar Tespiti

Mevcut görüntüdeki kenarların tespiti için canny kenar tespiti algoritması kullanılmıştır. Görüntüde bulunan bütün kenar çizgileri açıkça tespit edilmiştir



Şekil 11. Hedef Cisim Kenar Tespiti

```
import cv2

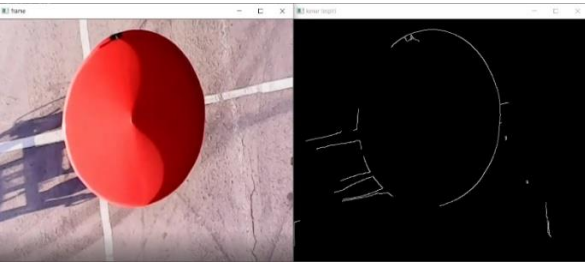
cv2.namedWindow("kenar tespiti")

frame = cv2.imread("./test_images/5.jpg")
edge_frame = cv2.Canny(frame, 100, 200)

cv2.imshow("frame", frame)
cv2.imshow("kenar tespiti", edge_frame)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

Şekil 12. Kenar Tespiti Algoritması

Algoritmada kullanılan eşik değerlerinin (100 , 200) değişmesi ile mevcut görüntüdeki tespit edilen kenarlarda değişiklik göstermektedir. Bu eşik değerleri hedeflenen kenar belirginliğine göre değişiklik gösterir ve deneysel olarak belirlenir.

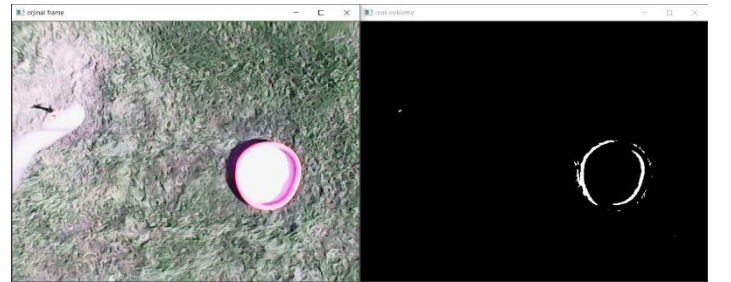


Şekil 13. Optimum Kenar Tespiti

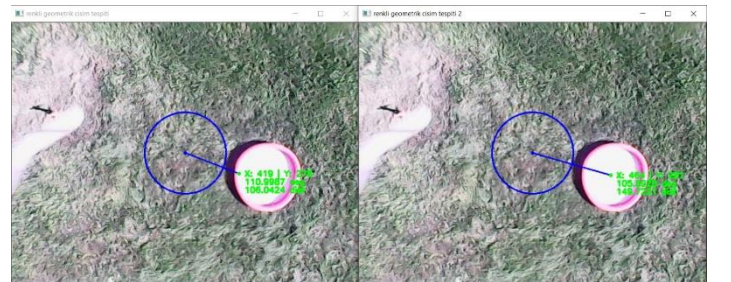
## 3. Araştırma Sonuçları ve Yaşanılan Problemler

Bu çalışmada insansız hava aracı tarafından alınan görüntüdeki daire geometrisine sahip cismin bulunduğu konum tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu işlem için kameradan alınan görüntüler gaussian blur algoritmasına tabii tutulmuştur bunun sebebi görüntü üzerindeki keskin hatların yumuşatılarak gürültülerin giderilmesi ve sistem verisini eşikleme adımına hazırlamaktır. Görüntü işlem ön hazırlık süreci tamamlandıktan sonra renk eşiklemesi yapılabilmesi için görüntünün renk uzayı RGB den HSV renk uzayına çevrilir. Tespit edilmesi istenilen cismin sahip olduğu kırmızı renk diğer renklerden ayrıştırılır (elde edilen görüntü ikili bir görüntüdür, bu ikili görüntüdeki beyaz renk ayrıştırdığımız rengi temsil ederken ,siyah renk kalan renkleri temsil etmektedir.) Bu ayrıştırma işleminden sonra morfolojik yöntemler uygulanarak gürültü minimum seviyeye indirilir ve veri toplama aşamasına geçilir. Bu aşama mevcut çalışmada 6 Adımdan oluşur

1. Kontur tepiti ve tespit edilen konturlerin koordinat bilgisi
2. Tespit edilen konturlerin komşuluk derecesine göre filtrelenmesi
3. İşlem yapılacak konturun kesilerek diğer ortamdan ayrıştırılması
4. Ayrıştırılan kontur üzerinde çember tespiti metodu olan hough circles metodunun uygulanması
5. Kontur alanının içinde kalan çember merkezlerinin filtrelenmesi
6. Cisim tespiti



Şekil 14. Kontur Tespiti

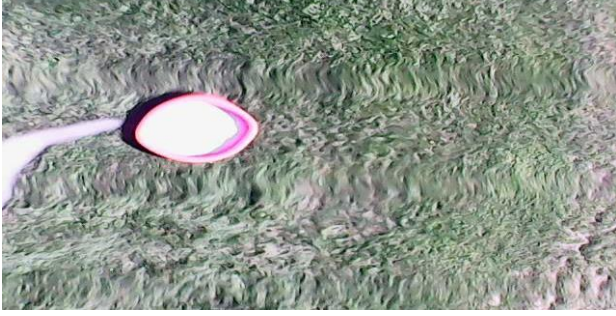


Şekil 15. Cisim Merkez Noktasının İşlenmesi



Yaşanılan problemler: kameranın ortam ışığına adaptasyonunun kuvvetli olmamasından dolayı, cisim parlayıp farklı bir renk olarak algılanmıştır. Örnek olarak resimde görünen kırmızı renkli cismin parlamadan dolayı kameraya pembe gibi yansması.

İnsansız hava aracına bağlanan kamera mekanizmasının titreşim sönümlenme sisteminin yeterli olmadığından dolayı oluşan titreşimlerin görüntüye yansıyor cismin sahip olduğu geometri dışında gözükmesi problem teşkil etmiştir.



Şekil 16.İnsansız Hava Aracından Yakalanan Görüntü

#### 4. Sonuç

Yapılan çalışmada görüntü işleme teknikleri ve uygulamaları bir insansız hava aracında uygulanmış olup optimum çalışma algoritmaları ve parametreleri deneysel bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu çalışma esnasında, Hough Circle methodu merkezlerin belirlenmesinde tek başına yeterli olmamıştır. Bunun sebebi, gözle görünmeyen fakat görüntü içinde mevcut olan dairelerin yer almasıdır. Bu dairelerin hangilerinin cisme ait olduğu bilgisi yetersiz olduğundan dolayı ek bir methodun yardımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada, yardımcı ek method olarak renk eşikleme kullanılmasıyla cismin görüntüde bulunduğu alan tespit edilip bu alan içerisindeki yer alan daireler kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan filtreleme işlemleri ile görüntü işlenmesi başarıyla sağlanmıştır.

Görüntü işleme tekniklerinin adım adım uygulanması ile oluşan geometrik cisim tespit algoritması üzerindeki parametreler deneysel olarak değiştirilip gözlemlenmiş ve bu işlem sonucunda 10 m irtifada uçuş sergileyen insansız hava aracı için optimum parametreler (Area, Radius, Distance, Range) belirlenmiştir.

#### Kaynakça

1. Solak, Serdar, and Umut ALTINIŞIK. "Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması." *Sakarya University Journal of Science* 22.1 (2018): 56-65.
2. Erişti, Ezgi. "Görüntü İşlemede Yeni Bir Soluk, OPENCV. (2010).
3. Görüntü İşleme Teknikleri Ders Notları, İbrahim Çayıroğlu, (Web sayfası: [http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/GoruntuIsleme/Goruntu\\_Isleme\\_Ders\\_Notlari-1.Hafta.pdf](http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/GoruntuIsleme/Goruntu_Isleme_Ders_Notlari-1.Hafta.pdf))
4. Erosion Aşındırma ( Web Sayfası : <https://mesutpiskin.com/blog/opencv-erosion-asindirma.html> )
5. Genişleme ( Web Sayfası : <https://medium.com/@sddkal/python-ile-g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC-i%C3%BCle-me-ve-median-filtreler-1891cdbef632> )



## Near-Zero-Index Split Ring Resonator: A Lens Antenna

İsmail Yıldız<sup>1</sup>, Turgut İkiz<sup>2</sup>, Şule Çolak<sup>3</sup>, Faruk Karadağ<sup>4</sup>, Muharrem Karaaslan<sup>5</sup>, Duygu Nazan Gençoğlan\*<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Çukurova University, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Turkey, 0000-0000-0000-0000, ismailyildiz82@gmail.com

<sup>2</sup> Çukurova University, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Turkey, 0000-0002-0197-5761, tikiz@cu.edu.tr

<sup>3</sup> Adana Alparslan Turkes Science and Technology University, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Turkey, 0000-0002-9529-4544, scolak@atu.edu.tr

<sup>4</sup> Çukurova University, Dept. of Physics, Adana, Turkey, 0000-0001-7862-9085, fkaradag@cu.edu.tr

<sup>5</sup> İskenderun Technical University, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Turkey, 0000-0003-0923-1959, muharrem.karaaslan@iste.edu.tr

<sup>6</sup> Adana Alparslan Turkes Science and Technology University, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Turkey, 0000-0001-5014-9514, dngencoglan@atu.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903929)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, İ, İkiz, T., Çolak, Ş., Karadağ, F., Karaaslan, M. & Gençoğlan, D.N. (2021). Near-Zero-Index Split Ring Resonator: A Lens Antenna. *European Journal of Science and Technology*, (24), 474-478.

### Abstract

In this study, a metamaterial structure, which consists of rectangular split ring resonator arrays, is investigated numerically and experimentally in the frequency range from 1 GHz to 5GHz. FR-4 material is used as the substrate material due to its low cost. During the numerical analysis (simulation analysis), a parametric study is performed to determine the optimal dimension of the unit cell structure.  $S_{11}$  (reflection coefficient),  $S_{21}$  (transmission coefficient), and  $n$  (refractive index) are examined in the frequency range of interest. As a result of the parametric study, the value of  $n$  is obtained as approximately zero. By increasing the split ring width, near-zero index is observed at higher frequencies. Hence, it is also deduced that the metamaterial structure behaves as a super lens antenna at the related frequency. Numerical analysis is performed via CST Microwave Studio (MWS). The simulation results are confirmed with experimental results obtained by network analyzer.

**Keywords:** Split Ring Resonator, Super Lens Antennas, Metamaterials, MEMS

## Sıfıra Yakın İndeksli Ayırık Halka Rezonatörü: Lens Anten

### Öz

Bu çalışmada dikdörtgen bölünmüş halkalı rezonatör dizilerinden oluşan bir malzeme yapısı 1 GHz ile 5 GHz frekans aralığında sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Düşük maliyeti nedeniyle FR-4 malzemesi alt tabaka malzemesi olarak kullanılmıştır. Sayısal analiz (simülasyon analizi) sırasında, tek hücre yapısının optimal boyutunu belirlemek için parametrik çalışma yapılmıştır. İlgili frekans aralığında  $S_{11}$  (yansımaya katsayısı),  $S_{21}$  (iletim katsayısı) ve  $n$  (kırılma indisi) incelenmiştir. Parametrik çalışma sonucunda,  $n$  değeri yaklaşık sıfır olarak elde edilmiştir. Bölünmüş halka genişliği artırılarak, daha yüksek frekanslarda sıfıra yakın indeks gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, metalmalzeme yapısının ilgili frekansta bir süper lens (mercek) anten gibi davrandığı da saptanmıştır. Sayısal analiz CST Microwave Studio (MWS) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, ağ analizörü ile elde edilen deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ayırık Halka Rezonatörü, Süper Lens(Mercek) Anten, Metalmalzemeler, MEMS

## 1. Introduction

In recent years, metamaterials, artificial materials not found in nature, have been the subject of attention for most researchers. The idea of negative values of permittivity  $\epsilon$ , permeability  $\mu$  and refractive index  $n$  put forward by Veselago (Veselago, 1968) was first theoretically proved by Pendry (Pendry et al., 1999). Smith et al. (Smith and Croll, 2000; Smith et al., 2004) first produced the materials which could be designed with the desired electromagnetic properties. These structures are used in many application areas such as cloaking (Cai et al., 2007; Schuring, 2006), sensing (Altıntaş et al., 2019; Abdulkarim, 2019; Bakır et al., 2019; Talai et al., 2017), antennas (Abdalla, 2017; Hamad, 2019; Kawdungta, 2017; Fu et al., 2016; Salamin et al., 2020; Mark, et al., 2020; Mishra et al., 2019), energy harvesting (Zeng et al., 2019; Wang et al., 2015; Bağmancı et al., 2019; Bağmancı et al., 2019; Haque et al., 2015), and super lens (Khoomwong and Phongcharoenpanich, 2017; Li et al., 2016; Orazbayev et al., 2015; Pen et al., 2019). Several studies concerning metamaterials have been performed in microwave frequencies, THz frequencies (Abbas et al., 2020), infrared and optical ranges. Metamaterials are widely manufactured by periodically placing metal elements on a substrate. The metal elements on the substrate can have many different geometries or forms. The split ring resonators (SRR) (Sabah and Roskos, 2012) are the most commonly used structures in the production of metamaterials. The split ring resonators consist of two intertwined metal strips and splits on the metal strips. The split ring resonator unit is an artificial magnetic resonator which resonates at a frequency with a wavelength  $\lambda_0$  that is much larger than the split ring resonator length. The split ring resonators shows inductive effect due to metallic parts and capacitive effect due to split and cavity parts. Therefore, the split ring resonators can be modeled as LC circuits. The metamaterial sensor applications created by using the split ring resonator are mainly based on sensing the variations in the parameters by observing changes in the resonance frequency of the metamaterial sensor. The remarkable variation in resonant frequency of a resonator depends on the values of the capacitance and the inductance of the resonator. The split ring resonator-based metamaterials are produced by placing metal resonators in different shapes by using printed circuit technique on the substrate. The split ring resonator can be of different types according to its geometry, depending on the state of the metal parts and cavities, for example complementary split ring resonator (Reddy and Raghavan, 2013; Karimzadeh et al., 2007).

Inasmuch as its wide operating band, high directivity, low production cost, and simple processing etc., the lens antenna has got considerably attention in communication systems, radar applications and space technology (Boybay and Ramahi, 2012). The conventional array antennas possess complicated feed network, the reflector antenna is not compact and difficult to integrate into any surfaces. The lens antenna tackles the deficiencies of the above two types of antennas as well as having high directivity. However, the specific form of the classic lens will increase the complexity of the machining process, and is not easy to install. With the rapid improvement on the millimeter and sub-millimeter wave circuit technology in recent years, there has been a renovated attention on lens antennas (Fernandes et al., 2016), which exhibit a more reasonable dimension at these frequencies. Lenses can be used to make a change in the phase and/or the amplitude of the main feed radiation pattern for the purpose of exchanging a certain output radiation pattern.

A Microelectromechanical system (MEMS) is the technology of tiny size mechanical devices with leastways a few of their dimensions in the micrometer range are tilled by electricity. Generally, a central unit arises that processes the data, the microprocessor, and many components that interact with the outside (Sauleau et al., 2005). MEMS provide a very good facility for applications in the dispatch or control of industrial systems and processes. Their advantages of small size, low cost, high sensitivity, and small power consumption make them excellent renewals of preceding macro size components. Furthermore, several applications are just feasible in the case at the micrometer scale (Mamilla and Chakradhar, 2014). The split width, correspondingly the frequency range where refractive index  $n$  goes to zero can be controlled by using the MEMS.

In this study, for the rectangular split ring resonators, the variations of the reflection coefficient  $S_{11}$ , the transmission coefficient  $S_{21}$  and the refractive index  $n$  according to the width of the split of the resonator are examined numerically and experimentally. In numerical analysis, the proposed structure is simulated at 1-5 GHz frequency range by using CST Microwave Studio Program. Specifically, the variation of refractive index of the proposed structure due to variation of the splits has been investigated. The graphs of the reflection coefficient, the transmission coefficient and the refractive index are obtained clearly. The reflection coefficient and the transmission coefficient of the proposed structure is fabricated and then measured by using the vector network analyzer. The results obtained both numerically and experimentally are compared with each other.

## 2. Design and Simulation

The proposed structure is shown in Fig.1 with its front and back views. It consists of a rectangular split ring resonator with splits in opposite directions, and a strip is placed behind the FR-4 substrate being perpendicular to the splits of the resonator. The dimension of the used FR-4 based metamaterial structure is 10 mm x10 mm x1.6 mm. The metallic parts of the resonator and strip behind the substrate are made up of copper material with thickness of 0.035 mm. The strips of the resonator and the strip behind the substrate have a width of 0.7 mm and the distance between the strips of the resonator is 0.8 mm. The longest side of the outer strip of the resonator is 9 mm and the inner strip has longest size of 6 mm. The splits of the resonator are identical and dimensions of splits are swept from 0.5 mm to 2 mm with steps of 0.5 mm. The strip perpendicular to the splits has a length of 9.8 mm.

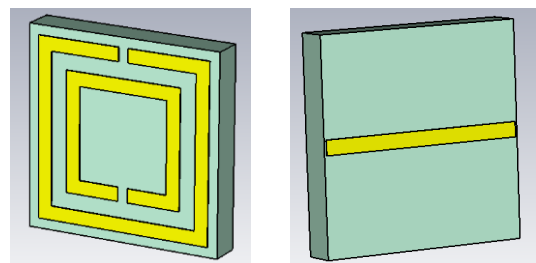


Figure 1: Front and back view of the structure

The proposed structure is simulated by using CST MWS simulation program in the frequency range of 1-5 GHz. In simulation, the resonator width of splits is varied from 0.5 mm to 2 mm. Then, s-parameters and refractive index  $n$  are observed and investigated for each case.

The graph of the reflection coefficient  $S_{11}$  is shown in Fig.2. It is clear that the resonance frequency of the resonator increases while the width of the splits increases. The reflection coefficient goes to zero rapidly at 2.15 GHz when the split width is 0.5 mm. The resonance frequency increases to 2.22, 2.28 and 2.33 GHz while the width is 1, 1.5, and 2 mm respectively.

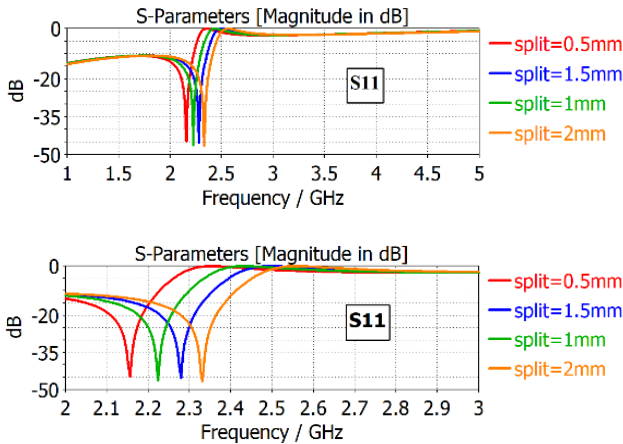


Figure 2: Graph of variation of  $S_{11}$  parameter with different split widths in the simulation

The transmission coefficient  $S_{21}$  for different split widths can be seen in Fig.3. It is also clear from Figure 3 that the transmission coefficient  $S_{21}$  is compatible with the result of  $S_{11}$  graph. That is, the resonance frequency of the resonator increases while the width of the split increases. The transmission coefficient goes to zero rapidly at 2.35 GHz when the split width is 0.5 mm. The frequency increases to 2.43, 2.49 and 2.56 GHz while the width is 1, 1.5, and 2 mm respectively.

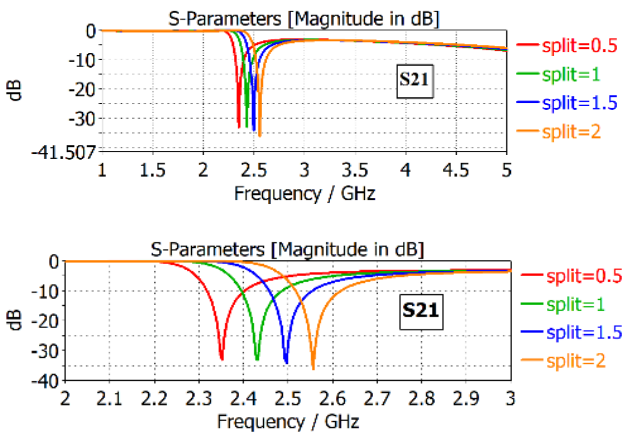


Figure 3: Graph of variation of  $S_{21}$  parameter with different split widths in the simulation

The graph of the refractive index  $n$  is shown in Fig.4. As it can be seen from below graph,  $n$  is very close to zero in a certain frequency range and this range shifts to higher frequencies when the width increases. When the width of the split is 0.5, the refractive index  $n$  very closed to zero in the frequency range 2.35-2.65 GHz in 300 MHz frequency band. When the width is 1, 1.5 and 2 mm, the frequency range is 2.45-2.75 GHz, 2.52-2.82 GHz and 2.6-2.9 GHz respectively.

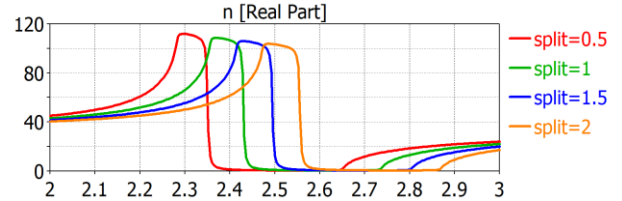
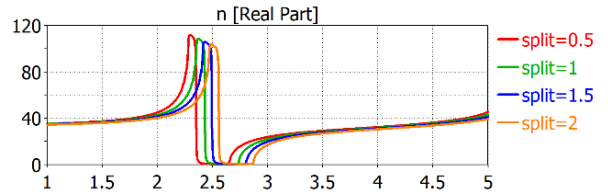


Figure 4: Graph of variation of  $n$  parameter with different split widths in the simulation

In this part, it is outlined that the value of  $n$  is obtained as approximately zero. In other words, it is deduced that the proposed structure behaves as a super-lens antenna in the frequency range from 2.35 GHz to 2.65 GHz. While the width of the splits increases, the near zero index shifts towards higher frequencies. By using the MEMS, the width of the split can be arranged for desired width, so the proposed structure can work as a lens antenna in the desired frequency range.

### 3. Fabrication and Measurement

In order to verify the simulation results, the proposed structure is fabricated by using LPKF Proto-Mat E33 and a common printed circuit board method. The unit cell of the structure has the dimension of  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ . The fabricated structure is composed of  $18 \times 18$  unit cells. This is because the largest dimension of the horn is 16 cm and the structure must be bigger than the largest dimension of the horn. The fabricated structure is shown in Fig. 5.

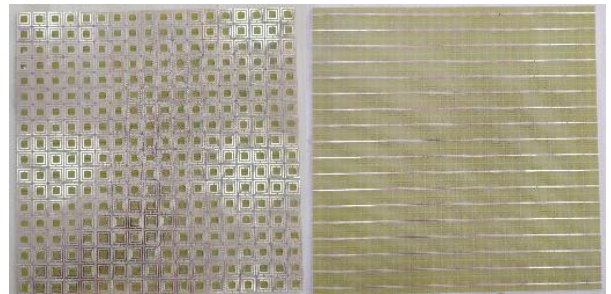


Figure 5: Front and back view of the structure produced with  $18 \times 18$  unit cells

Agilent PNA-L series vector network analyzer (VNA) and a linearly polarized standard gain horn antenna which works at the 2-4.8 GHz frequency range with the aperture dimensions of 13-16 cm are used to measure the reflection coefficient  $S_{11}$  and the transmission coefficient  $S_{21}$ . Fig. 6 shows the experimental setup.

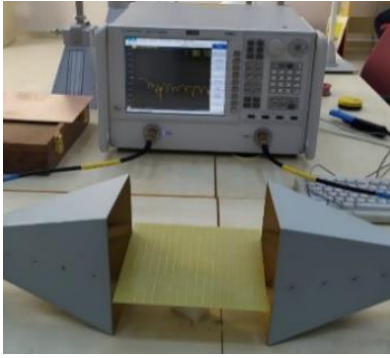
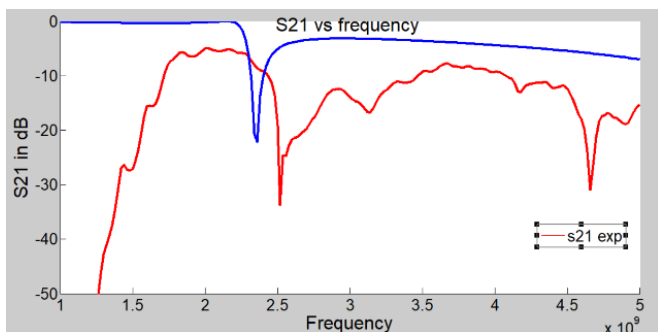
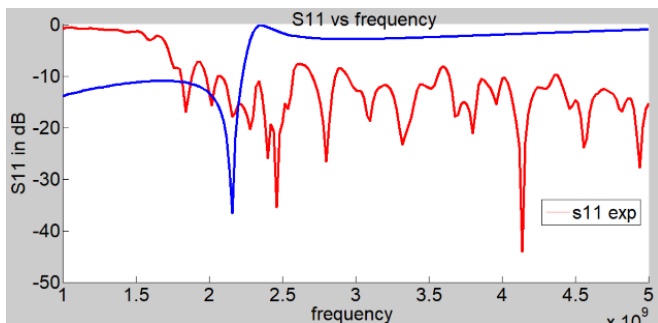


Figure 6: Experimental Setup

The experimental data is transferred to computer, and the graphs of  $S_{11}$  and  $S_{21}$  are obtained by using MATLAB program in order to compare with numerical results. Both simulation and experiment graphs of the reflection coefficient  $S_{11}$  and the transmission coefficient  $S_{21}$  are obtained and sketched simultaneously as shown in Fig. 7.

## 4. Results and Discussion

Figure 7: Simulation and experiment results of  $S_{11}$  and  $S_{21}$ 

As can be seen clearly from Fig. 7, the graphs of  $S_{11}$  and  $S_{21}$  obtained by simulation and experimental analysis are in good agreement. Based on these results, it can be said that the simulation is confirmed experimentally. Numerical and experimental results are not compatible below 2 GHz and above 4.5 GHz. Because the antennas used in the experiment operate in the frequency range of 2-4.8 GHz.

## 5. Conclusion and Recommendations

In this work, a metamaterial structure consisting of rectangular split ring resonators is investigated numerically and experimentally according to the variation of the split of the resonator. The variations of the reflection coefficient  $S_{11}$ , the transmission coefficient  $S_{21}$  and the refractive index  $n$  are given  
e-ISSN: 2148-2683

graphically and interpreted clearly. The numerical results of  $s$ -parameters are confirmed experimentally.

As can be seen from the numerical and experimental results,  $n$ , refractive index parameter, is very close to zero within a certain frequency range. It means that the proposed structure is obtained as a super lens antenna in the frequency range of interest. The frequency ranges in which the  $n$  parameter decreases to zero with the change in the width of the splits shift in proportional to the split's variation. This result allows the structure to be used as a mechanically adjustable antenna. In other words, the proposed structure is controlled by MEMS (MEMS based metamaterial structure). By adjusting the width of the splits, the antenna structure radiates efficiently in the desired frequency range.

## 5. Acknowledge

This work was supported by the by the Scientific Research Projects Unit (BAP) In Çukurova University. Project No: 12479. Project Title: Design and Characterization of Split Ring Resonators for Antenna and Sensor Applications.

## References

- Abbas, A. A., El-Absi, M., Abuelhaija, A., Solbach, K., Kaiser, T. (2020). Wide-Angle RCS Enhanced Tag Based on Dielectric Resonator-Lens Combination. *Frequenz*, 74(1-2), 1-8.
- Abdalla, M. A., Ibrahim, A. A. (2017). Simple  $\mu$ -negative half mode CRLH antenna configuration for MIMO applications. *Radioengineering*, 26(1), 45-50.
- Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Altıntaş, O., Ünal, E., Karaaslan, M. (2019). Metamaterial absorber sensor design by incorporating swastika shaped resonator to determination of the liquid chemicals depending on electrical characteristics. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 114, 113593.
- Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Karaaslan, M., Unal, E. (2019). Determination of the liquid chemicals depending on the electrical characteristics by using metamaterial absorber based sensor. *Chemical Physics Letters*, 732, 136655.
- Altıntaş, O., Aksoy, M., Ünal, E., Karaaslan, M. (2019). Chemical liquid and transformer oil condition sensor based on metamaterial-inspired labyrinth resonator. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(6), B482.
- Bağmancı, M., Akgöl, O., Özaktürk, M., Karaaslan, M., Ünal, E., Bakır, M. (2019). Polarization independent broadband metamaterial absorber for microwave applications. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(1), e21630.
- Bağmancı, M., Karaaslan, M., Unal, E., Özaktürk, M., Akgöl, O., Karadağ, F., Bakır, M. (2019). Wide band fractal-based perfect energy absorber and power harvester. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(7), e21597.
- Bakır, M., Karaaslan, M., Karadağ, F., Dalgac, S., Ünal, E., Akgöl, O. (2019). Metamaterial Sensor for Transformer Oil, and Microfluidics. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 34(5).
- Boybay, M. S., Ramahi, O. M. (2012). Material characterization using complementary split-ring resonators. *IEEE Transactions on instrumentation and Measurement*, 61(11), 3039-3046.
- Cai, W., Chettiar, U. K., Kildishev, A. V., Shalaev, V. M. (2007). Optical cloaking with metamaterials. *Nature photonics*, 1(4), 224-227.

- Fernandes, C. A., Lima, E. B., Costa, J. R. (2016). Dielectric lens antennas. *Handbook of antenna technologies*, 1001-1064.
- Fu, Q., Fan, C. L., Li, S. J., Wang, G., Cao, X. Y. (2016). Ultra-broad band radar cross section reduction of waveguide slot antenna with metamaterials. *Radioengineering*, 25(2), 241.
- Hamad, E. K., Nady, G. (2019). Bandwidth Extension of Ultra-wideband Microstrip Antenna Using Metamaterial Double-side Planar Periodic Geometry. *Radio Engineering*, 28(1), 25-32.
- Haque, A., Reza, A. W., Kumar, N. (2015). A novel design of circular edge bow-tie nano antenna for energy harvesting. *Frequenz*, 69(11-12), 491-499.
- Karimzadeh Bae, R., Dadashzadeh, G., Kharakhili, F. G. (2007, December). Using of CSRR and its equivalent circuit model in size reduction of microstrip antenna. In *2007 Asia-Pacific Microwave Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- Kawdungta, S., Jaibanaem, P., Pongga, R., Phongcharoenpanich, C. (2017). Superstrate-integrated switchable beam rectangular microstrip antenna for gain enhancement. *Radioengineering*, 26(2), 430-437.
- Khoomwong, E., Phongcharoenpanich, C. (2017). Simple and low-cost dual-band printed microwave absorber for 2.4-and 5-GHz-band applications. *Frequenz*, 71(11-12), 591-600.
- Li, Z., Su, J., Li, Z. (2016, October). Design of high-gain lens antenna based on phase-gradient metasurface. In *2016 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)* (pp. 135-138). IEEE.
- Mamilla, V. R., Chakradhar, K. S. (2014). Micro machining for micro electro mechanical systems (MEMS). *Procedia materials science*, 6, 1170-1177.
- Mark, R., Das, S. (2020). Near Zero Parameter Metamaterial Inspired Superstrate for Isolation Improvement in MIMO Wireless Application. *Frequenz*, 74(1-2), 17-23.
- Mishra, N. K., Das, S., Vishwakarma, D. K. (2019). Wideband High Gain Cylindrical Dielectric Resonator Antenna for X-Band Applications. *Frequenz*, 73(3-4), 109-116.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., Stewart, W. J. (1999). Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 47(11), 2075-2084.
- Orazbayev, B., Beruete, M., Pacheco-Pena, V., Crespo, G., Teniente, J., Navarro-Cia, M. (2015). Soret fishnet metalens antenna. *Scientific reports*, 5(1), 1-7.
- Pen, T., Huang, B., Sun, H., Sun, X., Li, L. (2019). Broad-Band Substrate-Free Planar Metamaterial Lens Based on a Geometric Transformation of Polygon. *Frequenz*, 73(9-10), 331-337.
- Reddy, A. N., Raghavan, S. (2013, March). Split ring resonator and its evolved structures over the past decade: This paper discusses the nuances of the most celebrated composite particle (split-ring resonator) with which novel artificial structured materials (called metamaterials) are built. In *2013 IEEE International Conference ON Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology (ICECCN)* (pp. 625-629). IEEE.
- Sabah, C., Roskos, H. G. (2012). Terahertz sensing application by using planar split-ring-resonator structures. *Microsystem technologies*, 18(12), 2071-2076.
- Salamin, M. A., Das, S., Zugari, A. (2020). Closed Loop Resonator Based Compact UWB Antenna with Single Notched Band Varying between WLAN and X-band for UWB Applications. *Frequenz*, 1(head-of-print).
- Sauleau, R., Fernandes, C. A., Costa, J. R. (2005, June). Review of lens antenna design and technologies for mm-wave shaped-beam applications. In *11th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics [ANTEM 2005]* (pp. 1-5). IEEE.
- Schurig, D., Mock, J. J., Justice, B. J., Cummer, S. A., Pendry, J. B., Starr, A. F., Smith, D. R. (2006). Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science*, 314(5801), 977-980.
- Smith, D. R., Kroll, N. (2000). Negative refractive index in left-handed materials. *Physical review letters*, 85(14), 2933.
- Smith, D. R., Pendry, J. B., Wiltshire, M. C. (2004). Metamaterials and negative refractive index. *Science*, 305(5685), 788-792.
- Talai, A., Gold, G., Frank, M., Mann, S., Weigel, R., Koelpin, A. (2017). A coplanar waveguide resonator based in-line material characterization sensor for bulk and metallized dielectrics. *Frequenz*, 71(3-4), 173-183.
- Wang, H., Sivan, V. P., Mitchell, A., Rosengarten, G., Phelan, P., Wang, L. (2015). Highly efficient selective metamaterial absorber for high-temperature solar thermal energy harvesting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 137, 235-242.
- Veselago, V. G. (1968). The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Physics-Uspeski*, 10(4), 509-514.
- Zeng, Y. C., Zhang, H., Min, X. L., Zhang, Y. (2019). A Triple Band-Notched UWB Antenna Using Folded Resonators. *Frequenz*, 73(1-2), 37-43.



# Kuvars ve Turmalin Malzemelerinin Piezoelektrik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Behiye BORAN<sup>1\*</sup>, Buse BATUKAN<sup>2</sup>, Aybüke ALTUNBAŞ<sup>3</sup>, Sezai Alper TEKİN<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3823-3080), [behiyeboran@outlook.com](mailto:behiyeboran@outlook.com)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1480-2739), [busebatukan@outlook.com](mailto:busebatukan@outlook.com)

<sup>3</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9945-8622), [altunaybuke0@gmail.com](mailto:altunaybuke0@gmail.com)

<sup>4</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5860-2758), [satekin@erciyes.edu.tr](mailto:satekin@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.905232)

ATIF/REFERENCE: Boran, B., Batukan, B., Altunbaş, A. & Tekin, S. A. (2021). Kuvars ve Turmalin Malzemelerinin Piezoelektrik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 479-483.

## Öz

Piezoelektrik malzemeler günümüzde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemeler uygulanan işlemler sonucunda elektrik sinyallerini harekete veya hareketi elektrik sinyallerine dönüştürme özelliklerinden dolayı akıllı malzemeler grubunda yer almaktadır. Piezoelektriksel etki sergileyen malzemelerin çeşitleri ve etkileri hala araştırılmaya devam edilmektedir. Yapılan deneyin en önemli amacı piezoelektrik malzemelerden elektrik sinyali üretilebilmektir. İstenilen elektrik üretimi yapılabildiği takdirde bu akıllı malzemeler kullanıldığı alanların dışına çıkarak çok büyük etki yaratacaktır. Aynı boyutlara sahip iki malzemenin farklı kuvvet altında ürettiği elektrik sinyali ve bu sinyal değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Piezoelektrik Malzemeler, Kuvars, Turmalin, Akıllı Malzemeler

## Comparison Of Piezoelectric Properties Of Quartz And Tourmaline Materials

### Abstract

Piezoelectric materials have been used commonly. These materials are included in the group of smart materials due to their ability to transform electrical signals into force or vice versa as a result of the processes applied. The types and effects of materials that exhibit piezoelectric effect are still being researched. The most important purpose of the experiment is to generate electrical signals from piezoelectric materials. If the desired electricity generation can be achieved, these smart materials will go beyond the areas where they are used and have a huge impact. It is aimed to compare the electrical signal produced by two materials with the same dimensions under different strength and these signal values.

**Keywords:** Piezoelectric Materials, Quartz, Tourmaline, Smart Materials

\* Sorumlu Yazar: [behiyeboran@outlook.com](mailto:behiyeboran@outlook.com)

## 1. Giriş

Kuvars, en bol ve en yaygın bulunan değerli taşlardan bir tanesidir. Hem kimyasal hem mekanik ayrışmaya karşı dayanıklı metaformik ve tortul kayalardandır. En yaygın Brezilya ve Madagaskar'da çıkarılır. Özellikle mavi kuvars yaygın olarak Brezilya'da çıkarılmaktadır. Kuvars malzemelerin formülü  $\text{SiO}_2$  olarak ifade edilmektedir. İşlenmemiş olan kuvarlarda %46.5 oranında Si, %53.3 oranında  $\text{O}_2$  bulunmaktadır. Mohs sertlik cetvelinde sertlikleri 7, birim hacimlerinin ağırlığı  $2.65 \text{ gr/cm}^3$  olarak gözlenmiştir. Aynı zamanda ergime sıcaklıkları  $1785 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Yeryüzünde olabildiğince fazla şekilde bulunan minerallerdendir. Katı haldeki saf kuvarlarda temel olarak Al, Ti, Mg, Na ve Li elementleri bulunmaktadır. Yaygın olarak renksiz olmakla beraber geniş bir renk yelpazesi vardır. Renkli halleri sıvı, katı ve gaz kapanımlar şeklinde oluşmuşlardır. Bu kapanımlar; hidrokarbon, NaCl,  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{O}_2$  gibi minerallerle oluşmaktadır. Kuvars kristalinin erime özelliği yoktur, yalnızca hidroflorik asit ile tepkimeye girerek çözünmektedir. Ayrıca kuvarlar özellikleri bakımından piezoelektrik ve piroelektrik davranış sergilemektedirler [1].

Kuvarlar elektrik ile ilgili alanlarda osilatör olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda eritildiklerinde genişleme düzeyleri çok düşük camlar ortaya çıkmaktadır. Tercih edilmelerinin bir diğer sebebi ise anlık gerçekleşen ısı değişimlerinden etkilenmemeleridir. Kuvars malzemeler piezoelektrik özellikler sergilemektedirler. Kuvars bir malzemeye kuvvet uygulandığında elektrik enerjisi üretmektedirler. Kristal osilatörlerde oldukça yaygın bir kullanımı vardır. Özellikle hassas ölçümlerde kullanılmaktadırlar [2].



Şekil 1. Kuvars Çeşitleri

Turmalin, oldukça pahalı ve yarı değerli olarak bilinen bor kristal madeni olarak bilinir. Çeşitli amaçlarda kullanılan turmalin taşı özellikle estetik görünümüne sahip olması ile takı malzemesi olarak tercih edilmesi ile popülerdir.

Turmalin kristalleri  $\text{Na}(\text{Mg,Fe,Li,Al,Mn})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH,F})_4$  şeklinde ifade edilen bir kristaldir. Bu kristallerin sertlikleri 7 ve birim hacimlerinin ağırlıkları  $3-3.2 \text{ gr/cm}^3$  olarak görülmektedir. Yaygın olarak yapısındaki kristaller paralel, ışınal ve çizikli olarak karşımıza çıkmaktadır fakat bazen masif yapıda da görülebilir. Çoğunlukla yeryüzünde mavi-siyah, şeffaf, siyah, yeşil ve pembe olarak bulunmaktadır [3]. Genelde takı malzemesi olarak kullanılması ile birlikte Turmalin, mikrofonlarda, titreşim algılayıcılarında, hızölçerlerde, sigortalarında, sonik dönüştürücülerde, kulaklıklarda, sonarlarda ve osilatörlerde kullanılır [4].



Şekil 2. Turmalin Çeşitleri

Piezoelektrik malzemelerle çalışırken önce bu malzemelerin kuvvet uygulandığı zaman yeterli miktarda enerji üretimi gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun sebebi, verimli bir şekilde yeterli miktarda enerji üretimi için, sürekli bir enerji kaynağı olarak yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca piezoelektrik malzemeler kolay taşınması ve sisteme kolay adapte olması sebebiyle avantajlıdır [5,6]. Bu çalışmada, iki farklı kuvars ve turmalin piezoelektrik özellikleri sensör tasarlanması açısından karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

İlk olarak işlem görmemiş kuvars ve turmalin malzemeleri temin edilmiştir. Temin edilen malzemeler boyut olarak büyük olduğundan dolayı üzerlerinde öncelikle kırma işlemi yapılmıştır. Gravür seti ile oldukça düzensiz olan parçalar, dikkörtgenler

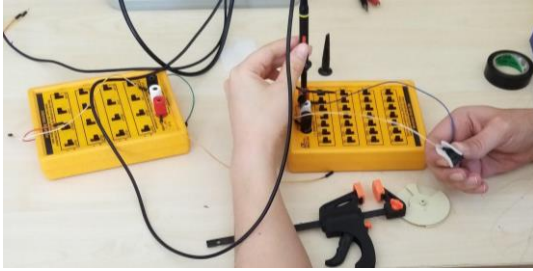


prizması geometrisinde ve pürüzsüz olacak şekilde zımparalanmıştır.



Şekil 3. Zımpara ile Taş Şekillendirme

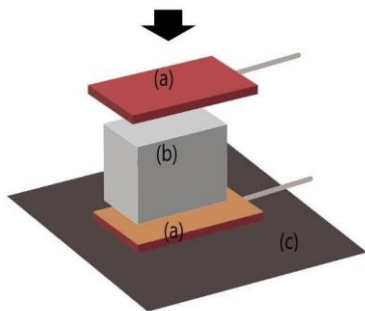
Zımparalama işleminde dikkat edilen ilk husus, oluşturulan parçalarda herhangi sivri bir yüzey bırakmamaktır çünkü sivri kalan kısımlara yük akışı daha fazla olmaktadır. Sivri kenarlarda oluşabilecek bu yük yoğunluğu ölçümleri olumsuz etkileyeceğinden olabildiğinde pürüzsüz ve yumuşak kenarlar oluşturmak amaçlanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda 13x12x8 mm ve 20x18x17 mm olacak şekilde iki farklı boyutta kuvars ve turmalin malzemesi elde edilmiştir.



Şekil 4. Osiloskop ile Ölçüm Alma Aşaması

## 2.2. Deney Aşaması

Deney aşamasında 7,5x10cm büyüklüğünde bakır plaketter temin edilmiştir. Malzemeler ile multimetrenin bağlantısını sağlamak amacıyla bakır plakettere delme işlemi yapılmıştır. Delinen noktalardan iletken tel geçirilerek lehimleme işlemi yapılmıştır. Ardından ölçümü alınacak olan malzeme iki bakır plaket arasına yerleştirilmiştir ve kaymaması için bant ile sabitlenmiştir. Krokodil kısıkaçlar sayesinde lehimlenen tellerin multimetre ile bağlantısı yapılmıştır.

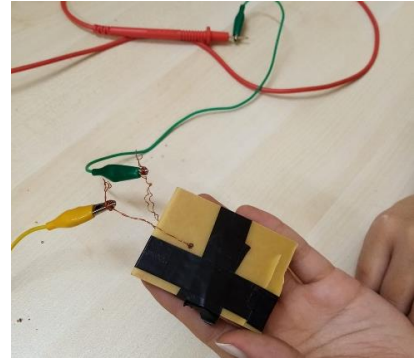
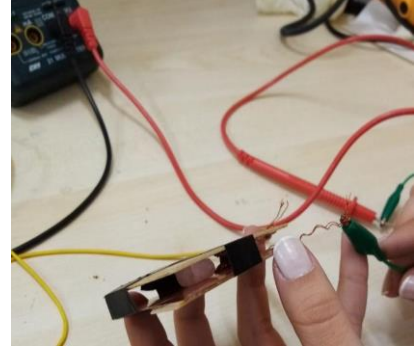


Şekil 5. Deneyin Şematik Gösterimi

Şekil 5'de yapılan deneyin şematik gösterimi verilmektedir. Burada bulunan;

- (a) Bakır Plaket
- (b) Malzeme
- (c) Sabit Yüzey'i göstermektedir.

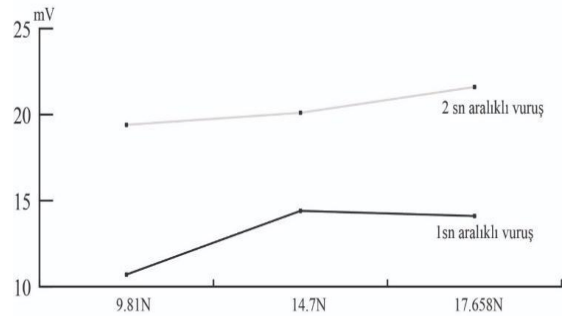
Ölçümü alınacak olan malzemeden doğru ölçümü alabilmek için bakır plaketter arasına malzeme koyulduktan sonra düzenek sabit bir yüzeye bağlanmıştır.



Şekil 6. Deneyin Uygulanması

Deney yapılacak olan düzenek tamamlandıktan sonra 9.8 N, 14,7 N ve 17,658 N ağırlığında farklı kuvve değerleri uygulanmıştır. İlk ölçümlerde kuvvet 10 saniye boyunca birer saniye aralıklarla olacak şekilde uygulanmıştır. İkinci ölçümler ise yine 10 saniye boyunca ikişer saniye aralık olacak şekilde uygulanmıştır.

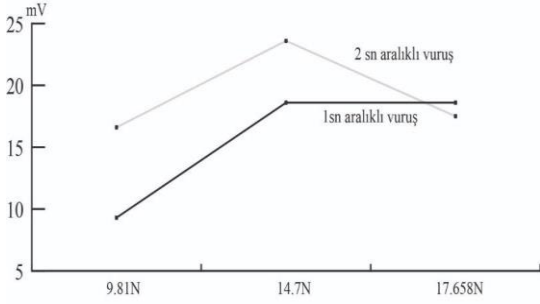
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma



Şekil 7. Küçük Boyuttaki Kuvars Malzemesi için Farklı Kuvvetlerde Alınan Max Değer Grafiği

13x12x8 mm boyutlarındaki kuvars malzemeye farklı değerlerde kuvvet uygulanmıştır. 1 sn. aralıklı vuruşta max; 9.81 N'da 10.7 mV, 14.7 N'da 14.4 mV, 17.658 N'da 14.1 mV elde edilmiştir. 2 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 19.4 mV, 14.7 N'da 20.1 mV, 17.658 N'da 21.6 mV elde edilmiştir.

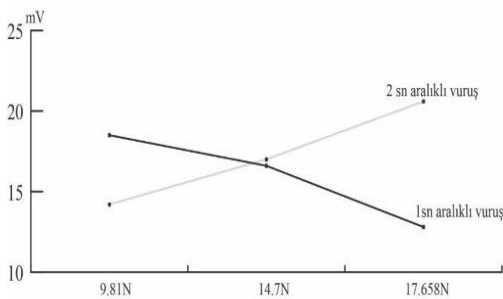
1 sn. aralıklarla kuvvet uygulandığında 9.81 N ve 14.7 N kuvvet altında doğru orantılı arttığı görülmüştür fakat 17.658 N'da 0.3 mV değerinde düşüş görülmektedir. 2 sn. aralıklarla uygulandığında ağırlık ile doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlenmektedir.



Şekil 8. Küçük Boyuttaki Turmalin Malzemesi için Farklı Kuvvetlerde Alınan Max Değer Grafiği

13x12x8 mm boyutlarındaki turmalin malzemeye farklı değerlerde kuvvet uygulanmıştır. 1 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 9.3 mV, 14.7 N'da 18.6 mV, 17.658 N'da 18.6 mV elde edilmiştir. 2 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 16.6 mV, 14.7 N'da 23.3 mV, 17.658 N'da 17.5 mV elde edilmiştir.

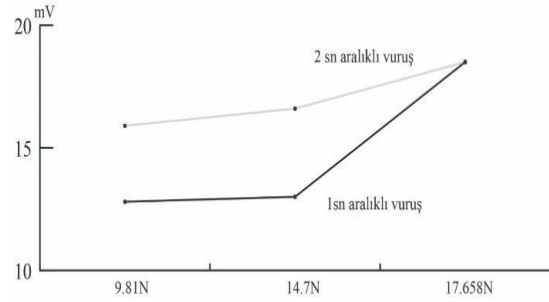
1 sn. aralıklarla kuvvet uygulandığında 9.81 N ve 14.7 N kuvvet altında doğru orantılı arttığı görülmüştür fakat 17.658 N'da sabit olarak devam ettiği görülmektedir. 2 sn. aralıklarla kuvvet uygulandığında 9.81 N ve 14.7 N kuvvet altında doğru orantılı arttığı görülmüştür fakat 17.658 N'da 5,8 mV azalış gözlemlenmektedir.



Şekil 9. Büyük Boyuttaki Turmalin Malzemesi için Farklı Kuvvetlerde Alınan Max Değer Grafiği

20x17x16 mm boyutlarındaki turmalin malzemeye farklı değerlerde kuvvet uygulanmıştır. 1 sn. aralıklı vuruşta max; 9.81 N'da 18.5 mV, 14.7 N'da 16.6 mV, 17.658 N'da 12.8 mV elde edilmiştir. 2 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 14.2 mV, 14.7 N'da 17.0 mV, 17.658 N'da 20.6 mV elde edilmiştir.

1 sn. aralıklarla basınç uygulandığında kuvvet ile doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir. 2 sn. aralıklarla kuvvet uygulandığında doğru orantılı arttığı görülmüştür.



Şekil 10. Büyük Boyuttaki Kuvars Malzemesi için Farklı Kuvvetlerde Alınan Max Değer Grafiği

22x18x17 mm boyutlarındaki kuvars malzemeye farklı değerlerde kuvvet uygulanmıştır. 1 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 12.8 mV, 14.7 N'da 13.0 mV, 17.658 N'da 18.5 mV elde edilmiştir. 2 sn. aralıklı vuruşta; 9.81 N'da 15.9 mV, 14.7 N'da 16.6 mV, 17.658 N'da 18.5 mV elde edilmiştir.

1 sn. ve 2 sn. aralıklarla kuvvet uygulandığında her ikisinde de kuvvet ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada iki farklı piezoelektrik malzeme incelenerek karşılaştırılması yapılmıştır. Yüzey alanı küçük olan kuvarstan maksimum 21.6mV değeri elde edilirken, yüzey alanı büyük olan kuvarstan maksimum 18.5mV değeri elde edilmiştir. Yüzey alanı küçük olan turmalinden elde edilen maksimum değer 23.3mV iken, yüzey alanı büyük olan turmalinden 20.6mV değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında her iki malzemede de üretilen elektrik sinyalinin yüzey alanı ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada 3 farklı kuvvet değeri uygulanmıştır. En az uygulanan kuvvet ile en yüksek uygulanan kuvvet arasında voltaj değerlerinde çok yüksek farklılıklar görülmemiştir. Ayrıca bütün değerler incelendiğinde, 1sn aralıklarla uygulanan kuvvet ile 2sn aralıklarla uygulanan kuvvet arasında farklar görülmüştür. Kuvvet uygulanma aralığı arttıkça daha yüksek voltaj değeri elde edilmiştir. Gelecekte bu malzemelerin akım voltaj karakteristikleri de, enerji üretimi açısından incelenecektir.

Sonuç olarak üretilen enerjinin düşük olduğu görülmektedir. Fakat hassas ölçüm yapan basınç sensörü tasarlanmasında malzeme olarak turmalin kullanılabilir.

## Kaynakça

- [1] Kuvars. (tarih yok). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars> adresinden alındı
- [2] Kuvars. (tarih yok). Vikipedi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kuvars> adresinden alındı

- [3] *Turmalin*. (tarih yok). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/turmalin> adresinden alındı
- [4] Aslan, E., Bilgin, Z. M., & Erfidan, T. (2016). Piezoseramik Malzemelerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi ve Depolanması. *Journal of Advanced Technology Sciences*, 66-76.
- [5] Ergün, Yılmaz, Özdemir, Gül, & Kalenderli. (2006). Piezoelektrik Malzemeler ve Uygulamaları. *11th International Materials Symposium*. Denizli.
- [6] Sodano, H., Inman, D., & Park, G. (2004). A Review of Power Harvesting from Vibration using Piezoelectric Materials.
- [7] Nechibvute, A., Chawanda, A., & Luhanga, P. (2012). Piezoelectric Energy Harvesting Devices: An Alternative Energy Source for Wireless Sensors. *Smart Materials Research*.



# Sezgisel Regresyon Teknikleri ile Sayısal Yükseklik Modellenmesi

Vahdettin Demir<sup>1\*</sup>, Esra Aslı Çubukçu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6590-5658), vahdettin.demir@karatay.edu.tr

<sup>2</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4159-205X), cubukcuasli@gmail.com

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916012)

**ATIF/REFERENCE:** Demir, V. & Çubukçu, E. A. (2021) Sezgisel Regresyon Teknikleri ile Sayısal Yükseklik Modellenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 484-488.

## Öz

Bu çalışmada, Samsun Mert Irmağı Havzası'nda, hâlihazır haritalardan temin edilmiş yatay ve düşey koordinat bilgilerinin yer aldığı noktalardan yükseklik değerleri, M5 model ağacı (M5-tree) ve çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri (MARS) sezgisel regresyon yöntemleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar Tek ve Çok Değişkenli Regresyon (TDR-ÇDR) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada 3 farklı giriş senaryosu incelenmiştir. Bunlar: X yönündeki koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini (i); Y yönündeki koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini (ii); X ve Y koordinat bilgisiyle yükseklik tahmini şeklindedir (iii). Karşılaştırma kriterleri olarak determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH) kullanılmıştır. Modelleme sonuçları incelendiğinde; (1) M5-tree regresyon yönteminin en iyi sonucu verdiği, (2) MARS yöntemi ÇDR ve TDR yöntemlerine göre daha iyi olduğu, (3) En kötü sonuç TDR yöntemi kullanılarak yapılan doğrusal regresyon modellemesinde tespit edilmiştir. (4) Özellikle, M5-tree sezgisel regresyon yönteminin yükseklik modellemesinde oldukça başarılı bir metot olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal Yükseklik Modeli, M5-tree, MARS, Samsun.

# Digital Elevation Modeling with Heuristic Regression Techniques

## Abstract

In this study, elevation values of the Mert River Basin of Samsun were estimated by M5 model tree (M5-tree) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) using base map which contains horizontal and vertical location informations. Results were compared with univariate and multivariate linear regression methods (MLR). In the study, three different input scenarios were tried as: (i) elevation forecast with X coordinate information, (ii) elevation forecast with Y coordinate information, (iii) elevation forecast with X and Y coordinate information. Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and coefficient of determination ( $R^2$ ) were utilized as comparison criteria. According to modeling results: (1) M5-tree regression method provided the best results, (2) MARS method was more suitable than the univariate and multivariate linear regression methods, (3) Single variable linear regression method provided the worst estimate, (4) M5-tree regression method can be successfully used in elevation modeling.

**Keywords:** Digital Elevation Models, M5-tree, MARS, Samsun.

\* Sorumlu Yazar: [vahdettin.demir@karatay.edu.tr](mailto:vahdettin.demir@karatay.edu.tr)

## 1. Giriş

Birçok mühendislik uygulamasında, topoğrafik yüzeye ihtiyaç duyulmakta ve topografyanın uygun doğrulukta belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Sayısal Yükseklik Modeline (SYM) dayalı uygulamalarda olduğu gibi, yatay ve düşey konum bilgileri kullanılarak yükseklik değerleri uygun yöntemlerle belirlenebilir (Akçın, Kutoğlu, & Terlemezoğlu, 2005). İster arazi üzerinden alım isterse uzaktan algılama yöntemlerine göre olsun yükseklik bilgisinin belirlenmesi mühendislikte her zaman güç bir konu olmuştur (Demir & Ülke, 2020). Bu güçlü bilinen fonksiyonların dışında son zamanlarda sıklıkla kullanılan sezgisel regresyon yaklaşımlarıyla modellenen birliği bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Su kaynaklarının yönetimi, kentsel ve kırsal planlama, ulaştırma planlaması, tarım, ormancılık, havza yönetimi, afet risk değerlendirmesi vb. birçok alanda arazi noktalarından üretilmiş sayısal modeller kullanılmaktadır. Bu modeller özellikle mühendislik çalışmalarının temel proje altlığını oluşturmaktadır. Sayısal yüzey modelleri ile yer altı ve yüzey hakkında bilgiler işlenebilir, analiz edilebilir ve görsel olarak sunulabilir. Ancak, arazideki tüm noktaların yüksekliklerini ölçmek zor ve yüksek maliyetlidir. Bu nedenle arazi noktalarının matematiksel fonksiyonlar kullanılarak yoğunlaştırması veya ara noktaların tahmin edilmesi hızlı ve ücretsiz olarak sağlanabilir. Bu çalışmada yükseklik modellemesi, M5 model ağacı (M5-tree) ve çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri (MARS) sezgisel regresyon yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar regresyon yöntemiyle karşılaştırılmıştır. MARS, 1991 yılında J.H. Friedman tarafından tanıtılan bir regresyon analizi türüdür. Bu yöntem doğrusal modellerin bir uzantısı olan parametrik olmayan regresyon tekniklerindedir. M5-tree ise 1992 yılında J. R. Quinlan tarafından ilk kez kullanılan ve ikili karar ağaçlarına dayanan sezgisel regresyon yaklaşımlarındandır. Gerçek bir ağaca yapısal olarak benzeyen M5-tree yöntemi, "IF-THEN" türündeki kurallarla modellenen değişkeni tahmin etmektedir. MARS ve M5-tree birçok mekanizma ve sistemin çıktılarını hesaplamak için akademisyenler tarafından farklı disiplinlerde (meteoroloji, hidroloji, kıyı mühendisliği, finans, bankacılık, balıkçılık vb.) başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Abolfathi, Yeganeh-Bakhtiary, Hamze-Ziabari, & Borzooei, 2016; Adamowski, Chan, Prasher, & Sharda, 2012; Bhattacharya & Solomatine, 2005; De Andrés, Lorca, De Cos Juez, & Sánchez-Lasheras, 2011; Elith & Leathwick, 2007; Etemad-Shahidi & Mahjoobi, 2009; Leathwick, Rowe, Richardson, Elith, & Hastie, 2005; Lee, Chiu, Chou, & Lu, 2006; Put, Xu, Massart, & Vander Heyden, 2004; W. G. Zhang & Goh, 2013; W. Zhang & Goh, 2014). Fakat bu yöntemler ilk defa sayısal yükseklik modellemesinde kullanılacaktır. Bu çalışmada modelleme performansı 3 farklı giriş senaryosu için denenmiştir. Bunlar: (i) X koordinat bilgisiyyle yükseklik tahmini; (ii) Y koordinat bilgisiyyle yükseklik tahmini; (iii) X ve Y koordinat bilgisiyyle yükseklik tahmini şeklindedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Veri ve Çalışma Alanı

Topoğrafik yüzeyin tahmin edilmesi modelleme çalışmalarının ilk aşamasıdır. Bu modelleme ile yer altı ve yüzey hakkında bilgiler işlenebilir, analiz edilebilir ve görsel olarak sunulabilir. Bu nedenle çalışmamızda Samsun ili Mert Irmağı Havzası ve kent sınırlarının keşiştiği alanda, hâlihazır haritalardan

temin edilmiş yersel noktalardan kot değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanı

Çalışma verilerine ait istatistiksel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir

Tablo 1. Tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Değişken (m)	Veri sayısı	Maksimum değeri (m)	Minimum değeri (m)	Ortalama (m)	Standart sapma	Çarpıklık
X koordinat	14362	4572051.15	4568584.58	4570318	889.7	0.008
Y koordinat	14362	530920.69	528296.48	52955	686.6	0.057
Z Kot	14362	238.13	0.07	43.68	52.35	1.429

### 2.2. Metot

#### 2.2.1 M5-Tree

M5 model ağacı algoritması Quinlan tarafından 1992 yılında geliştirilen yeni bir regresyon yöntemidir (Quinlan, 1992). İki bileşenli karar ağacı bu modelin belkemiğidir. Son yaprak düğümlerine (terminal leaf nodes) uygulanan lineer regresyon fonksiyonu bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlar. M5 model ağacı, kategorik veri için kullanılan diğer karar ağaç modellerinden daha iyidir (Mitchell, 1997). Model aynı zamanda sayısal verilere odaklanır. Bu özellik, diğer modellerle kıyaslandığında modelin önemini artırır. M5 model ağacı iki aşamalı bir modeldir. İlk aşamasında, veri karar şemasını (ağacını) üretmek için alt setlere ayrılır. Bir düğüme ulaşılan sınıf değerinin standart sapması, kriterlere ayırmak için kullanılır. Bu düğüme etki eden elemanların test edilmesinin sonucu olarak ortaya çıkan hataya bağlı olarak beklenen indirgeme hesaplanır (Pal & Deswal, 2009; Solomatine & Xue, 2004). Standart sapma indirgemesinin (SDR) formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (1)$$

Bu formülde sd standart sapma olarak ifade edilir. T düğüme etki eden bir dizi örneği simgeler. Potansiyel verilerin i inci sonuçlarına sahip olan alt küme örnekleri  $T_i$  tarafından simgelenir. Gruplara ayrılma sürecinde alt düğümler verilerin standart sapmasında üst düğümlerden daha azdır. Her bir alt grup kontrol edildikten sonra öngörülen hatayı en çok azaltan tercih edilir. Ancak bu aşama genellikle geniş ağaçsı bir tasarım sunar. İkinci aşamasında ise büyümüş olan ağaç budanır. Ve sonrasında budanmış alt ağaçlar genellikle lineer regresyon fonksiyonları ile

değiştirilir (Quinlan, 1992). Bu çalışmada M5 model ağacı sayısal yükseklik modellemesinden kullanılmıştır.

### 2.2.2. MARS

Türkçesi çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri olan MARS, lineer olmayan sürekli sayısal sonuçları tahmin etmek için kullanılan bir modeldir. Model, tahmin yöntemi ve bağımlı değişkenler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkiyi açıklar. MARS algoritması ileriye ve geriye doğru olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. İleriye doğru adım algoritması ile bir dizi uygun giriş değişkenlerini seçer (De Andrés et al., 2011). Geriye doğru adım algoritması ile de önceden seçilmiş sette var olan gereksiz değişkenleri elimine eder. Bu yöntem aynı zamanda tahminlerin doğruluğunu artırır. İki temel fonksiyon veya giriş aralığı boyunca sapma noktasında tanımlanan her iki değişken değeri tarafından X değişkeninden yeni değişken Y'ye fonksiyon çizilir (Sharda, Patel, Prasher, Ojasvi, & Prakash, 2006).

$$Y = \max(0, X - c) \quad (2)$$

$$Y = \max(0, c - x) \quad (3)$$

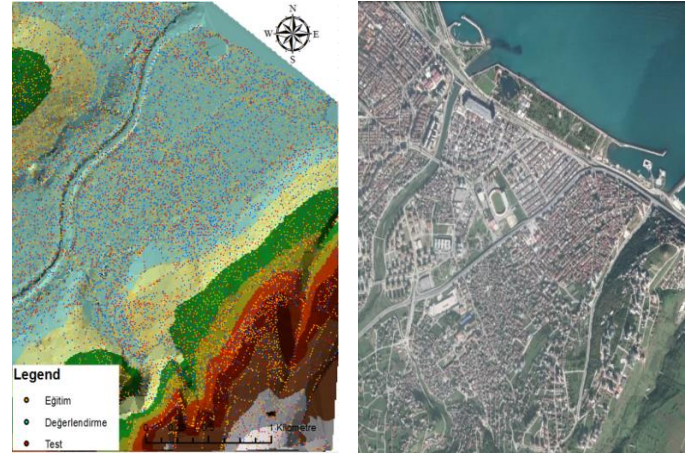
Burada c eşik (alt sınır) değerini temsil eder. MARS modeli özellikle mali işler yönetim sistemi, zaman serisi verisinde ve birçok alanda kullanılmaktadır (P. Bera et al., 2006; Sephton, 2001). Fakat yöntem topoğrafik amaçlı herhangi bir modelleme çalışmasında kullanılmamıştır.

### 2.2.3. Regresyon Analizi

Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre değişkenler arasında ilişkiyi belirlemek için; bağımsız değişkenlere dayanarak bağımlı değişkeni tahmin etmek için regresyon analizi kullanılır (Dipova & Cangir, 2010). Birden fazla bağımsız değişken kullanılarak yapılan analize çok değişkenli regresyon analizi (ÇDR), tek bir bağımsız değişken kullanılarak yapılan analize ise tek değişkenli regresyon analizi denir (TDR) (Demir & Ülke, 2020).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada regresyon yöntemlerinden M5-tree ve MARS yöntemleri kullanılarak yükseklik değerleri modellenmiştir. Giriş verileri olarak X ve Y (ED-50) koordinat verileri kullanılmıştır. Modelleme üç aşamada (eğitim, değerlendirme ve test) gerçekleşmiştir. Eğitim aşamasında verilerin %50'si, değerlendirme ve test aşamasında ise verilerin %25'i kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarda genellikle verilerin %50'si eğitimde kalan %25'i de değerlendirme ve test aşamasında kullanılmaktadır (Pourghasemi & Rossi, 2019). Eğitim, değerlendirme ve test verilerinin rastgele dağılımı Şekil 2'te, istatistik bilgileri ise Tablo 2'de yer almaktadır. Yükseklik değerlerinin çok değişken olduğu tablodan açıkça görülmektedir.



Şekil 2. Eğitim, değerlendirme ve test verilerinin dağılımı

Yükseklik modellemesinde (Z kot) üç farklı giriş durumu denenmiş olup bunlar: (i) X koordinat bilgileri; (ii) Y koordinat bilgileri; (iii) X ve Y koordinat bilgileri şeklindedir. M5-tree ve MARS modellemeleri ayrıca TDR ve ÇDR ile de karşılaştırılmıştır. Değerlendirme kriterleri olarak KOKH (Karekök Ortalama Karesel Hata), OMH (Ortalama Mutlak Hata) ve R<sup>2</sup> (Determinasyon katsayısı) kullanılmıştır (Demir, Bilge, & Bektaş, 2017; Demir, Çıtakoğlu, Geyikli & Kuyucu 2017). KOKH ve OMH formülleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Denklem 4, 5).

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_t - Z_g)^2} \quad (4)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_t - Z_g| \quad (5)$$

$$R^2 = \left( \frac{N * (\sum Z_g * Z_t) - (\sum Z_g) * (\sum Z_t)}{\sqrt{((N * \sum Z_g^2) - (\sum Z_g)^2) * ((N * \sum Z_t^2) - (\sum Z_t)^2)}} \right)^2 \quad (6)$$

Yukardaki eşitliklerde Z<sub>t</sub> ve Z<sub>g</sub> tahmin edilen ve gözlenen Z değerlerini, N ise veri sayısını göstermektedir.

Tablo 2. Eğitim, değerlendirme ve test veri setlerine ait bilgiler

Veri Seti	Değişken	Veri sayısı	Maksimum değeri (m)	Minimum değeri (m)	Ortalama (m)	Standart sapma	Çarpıklık
Eğitim	X	7182	4572051.1	4568584.5	4570314.8	888.84	0.010
	Y	7182	530920.69	528298.59	529544.74	683.08	0.077
	Z	7182	237.38	0.07	43.41	52.04	1.436
Değerl.	X	3590	4572048.4	4568585.2	4570329.7	894.21	0.002
	Y	3590	530918.31	528298.77	529578.42	685.23	0.025
	Z	3590	238.13	0.07	43.80	52.43	1.423
Test	X	3590	4572049.8	4568591.2	4570314.5	892.78	0.006
	Y	3590	530919.13	528296.48	529561.80	689.89	0.040
	Z	3590	236.00	0.07	44.12	52.88	1.422

M5-tree yöntemiyle 3 farklı giriş durumu modellenmiş ve Tablo 3'te eğitim, değerlendirme ve test aşamalarında elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablodan açıkça görüldüğü gibi X ve Y girişini kullanan M5-tree modeli test aşamasında diğerlerine göre daha düşük KOKH (3.54 m), OMH (2.04 m) ve daha büyük R<sup>2</sup>

(0.995) değerleri vermiştir. En kötü sonuç 1'inci durumda (sadece X koordinat bilgisi kullanılarak) yapılan tahminde elde edilmiştir.

Tablo 3. M5-tree modellerinin eğitim, değerlendirme ve test aşamasındaki hataları

Veri Seti	Model	Giriş	KOKH (m)	OMH (m)	R <sup>2</sup>
Eğitim	(i)	X	40.34	28.67	0.399
	(ii)	Y	28.78	19.51	0.694
	(iii)	X,Y	2.49	1.50	0.997
Değerlendirme	(i)	X	51.62	37.81	0.113
	(ii)	Y	36.58	25.31	0.523
	(iii)	X,Y	3.54	2.04	0.996
Test	(i)	X	51.62	37.82	0.101
	(ii)	Y	36.58	25.31	0.538
	(iii)	X,Y	<b>3.54</b>	<b>2.04</b>	<b>0.995</b>

Tablo 4. MARS modellerinin eğitim, değerlendirme ve test aşamasındaki hataları

Veri Seti	Model	Giriş	KOKH (m)	OMH (m)	R <sup>2</sup>
Eğitim	(i)	X	46.23	35.28	0.210
	(ii)	Y	32.78	23.88	0.603
	(iii)	X,Y	24.67	19.65	0.775
Değerlendirme	(i)	X	46.56	35.60	0.211
	(ii)	Y	32.92	24.03	0.606
	(iii)	X,Y	24.60	19.40	0.779
Test	(i)	X	47.01	35.88	0.209
	(ii)	Y	33.34	24.26	0.602
	(iii)	X,Y	<b>24.95</b>	<b>19.90</b>	<b>0.777</b>

MARS yönteminden eğitim, değerlendirme ve test aşamasında elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi tüm veri setlerinde X ve Y girişini kullanan MARS modeli (iii) diğerlerine göre daha düşük KOKH, OMH ve daha büyük R<sup>2</sup> değerleri vermiştir. En kötü sonuçlar X koordinat bilgilerinin kullanıldığı (i) giriş modelinden elde edilmiştir.

Tablo 5. TDR ve ÇDR modellerinin test aşamasındaki hataları

Giriş	Katsayılar a, b	KOKH (m)	OMH (m)	R <sup>2</sup>
X (TDR)	-0.0398; 181948.2	48.98	38.57	0.142
Y (TDR)	0.0273;-14434.1	38.35	31.30	0.468
X,Y(ÇDR)	-0.0378; 0.0216; 161682.6	46.61	36.80	0.552

TDR ve ÇDR'ye ait test sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. En küçük kareler ile elde edilen regresyon katsayıları da tabloda görülmektedir. M5-tree ve MARS sonucuna benzer şekilde en iyi tahmin her iki koordinat bilgisinin kullanıldığı (iii) giriş modelinde elde edilmiştir. Tablo 3-5 karşılaştırıldığında M5-tree modelinin, MARS ve TDR-ÇDR yöntemlerine göre Z değerlerini daha iyi tahmin ettiği görülmektedir.

## 4. Sonuç

Topografyanın oluşturulması, başka bir ifade ile yatay, düşey koordinatlarının yanı sıra yükseklik değerlerinin uygun doğrulukta belirlenmesi, hidrografik amaçlı mühendislik uygulamalarının çoğunda ihtiyaç duyulan temel işlevlerdendir. Bu çalışmada Samsun Mert Irmağı Karadeniz çıkış havzasının, kentsel sınırlarla kesiştiği bölgede üç farklı sezgisel regresyon yöntemine göre sayısal yüksekliklerin modellenen bilirliliği araştırılmıştır. Kullanılan yöntemler, M5 model tree ve çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri yöntemleri ve literatürde sıkça kullanılan doğrusal regresyon yöntemidir. Yöntemlerin performansları incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

(1) M5-tree, MARS ve doğrusal regresyon yöntemlerine göre Z değerlerini daha iyi tahmin etmektedir,

(2) M5-tree ile yapılan tahminde en iyi sonucu X ve Y koordinat bilgileri (iii) kullanılarak yapılan modelleme vermiştir,

(3) MARS modellemesi regresyon modellemelerine göre Z değerlerini daha iyi tahmin etmektedir,

(4) ÇDR yöntemi ise, TDR yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Bu çalışma ile yüzey modellemesinin modern regresyon yöntemleri yardımıyla elde edilebileceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara incelendiğinde modern regresyon modellemeleri ÇDR ve TDR gibi regresyon modellemesinden daha başarılıdır. Bu sonuçlar modern regresyon tekniklerinin hidrolik modellemeler gibi birçok mühendislik çalışmalarının temel altlığını oluşturan yükseklik modellemelerinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

## 5. Teşekkür

Yazarlar maddi desteklerinden dolayı KTO Karatay Üniversitesine teşekkür etmektedir.

## Kaynakça

- Abolfathi, S., Yeganeh-Bakhtiary, A., Hamze-Ziabari, S. M., & Borzooei, S. (2016). Wave runup prediction using M5' model tree algorithm. *Ocean Engineering*, 112, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.12.016>
- Adamowski, J., Chan, H. F., Prasher, S. O., & Sharda, V. N. (2012). Comparison of multivariate adaptive regression splines with coupled wavelet transform artificial neural networks for runoff forecasting in Himalayan micro-watersheds with limited data. *Journal of Hydroinformatics*, 14(3), 731–744. <https://doi.org/10.2166/hydro.2011.044>
- Akçın, H., Kutoğlu, H. Ş., & Terlemezoğlu, B. (2005). Deniz Dibi Topografyasının Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi (pp. 1–8). Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- Bhattacharya, B., & Solomatine, D. P. (2005). Neural networks and M5 model trees in modelling water level-discharge relationship. *Neurocomputing*, 63(SPEC. ISS.), 381–396. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2004.04.016>

- De Andrés, J., Lorca, P., De Cos Juez, F. J., & Sánchez-Lasheras, F. (2011). Bankruptcy forecasting: A hybrid approach using fuzzy c-means clustering and multivariate adaptive regression splines (MARS). *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1866–1875. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.117>
- Demir, V., & Ülke, A. (2020). Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Yükseklik Modellemesi (Samsun -Mert Irmağı Havzası Örneği ) Height Modeling with Artificial Neural Networks ( Samsun-Mert River Basin). *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 54–61. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.05>
- Demir V, Bilge H, & Bektaş S. (2017) Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Sayısal Yükseklik Modellemesi, IX. Ulusal Hidroloji Kongresi 04 – 06 Ekim 2017 Diyarbakır/Türkiye (Özet Bildiri)
- Demir V, Çıtakoğlu H, Geyikli M. S., & Kuyucu H. (2017). Estimation of Digital Elevation Model by Artificial Intelligence Methods. 1 st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 257, November 2-4 Tokat/Türkiye (Özet Bildiri)
- Dipova, N., & Cangir, B. (2010). Lagün kökenli kil-silt zeminde sikişabilirlik özelliklerinin regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile belirlenmesi. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 21(3), 5069–5086.
- Elith, J., & Leathwick, J. (2007). Predicting species distributions from museum and herbarium records using multiresponse models fitted with multivariate adaptive regression splines. *Diversity and Distributions*, 13(3), 265–275. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00340.x>
- Etemad-Shahidi, A., & Mahjoobi, J. (2009). Comparison between M5 tree model tree and neural networks for prediction of significant wave height in Lake Superior. *Ocean Engineering*, 36(15–16), 1175–1181. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2009.08.008>
- Leathwick, J. R., Rowe, D., Richardson, J., Elith, J., & Hastie, T. (2005). Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish. *Freshwater Biology*, 50(12), 2034–2052. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01448.x>
- Lee, T.-S., Chiu, C.-C., Chou, Y.-C., & Lu, C.-J. (2006). Mining the customer credit using classification and regression tree and multivariate adaptive regression splines. *Computational Statistics & Data Analysis*, 50(4), 1113–1130. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2004.11.006>
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- P. Bera, S. O. Prasher, R. M. Patel, A. Madani, R. Lacroix, J. D. Gaynor, ... S. H. Kim. (2006). Application of MARS in Simulating Pesticide Concentrations in Soil. *Transactions of the ASABE*, 49(1), 297–307. <https://doi.org/10.13031/2013.20228>
- Pal, M., & Deswal, S. (2009). M5 model tree based modelling of reference evapotranspiration. *Hydrological Processes*, 23(10), 1437–1443. <https://doi.org/10.1002/hyp.7266>
- Pourghasemi, H. R., & Rossi, M. (Eds.). (2019). *Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques (Vol. 48)*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73383-8>
- Put, R., Xu, Q. S., Massart, D. L., & Vander Heyden, Y. (2004). Multivariate adaptive regression splines (MARS) in chromatographic quantitative structure-retention relationship studies. *Journal of Chromatography A*, 1055(1–2), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.112>
- Quinlan, J. R. (1992). *Learning With Continuous Classes*. *World Scientific*, 92, 343–348. <https://doi.org/10.1.1.34.885>
- Sephton, P. (2001). Forecasting recessions: can we do better on MARS? *Review*, 83(2), 39–49.
- Sharda, V. N., Patel, R. M., Prasher, S. O., Ojasvi, P. R., & Prakash, C. (2006). Modeling runoff from middle Himalayan watersheds employing artificial intelligence techniques. *Agricultural Water Management*, 83(3), 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.003>
- Solomatine, D. P., & Xue, Y. (2004). M5 Model Trees and Neural Networks: Application to Flood Forecasting in the Upper Reach of the Huai River in China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(6), 491–501. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2004\)9:6\(491\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:6(491))
- Zhang, W. G., & Goh, A. T. C. (2013). Multivariate adaptive regression splines for analysis of geotechnical engineering systems. *Computers and Geotechnics*, 48, 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2012.09.016>
- Zhang, W., & Goh, A. T. C. (2014). Multivariate adaptive regression splines and neural network models for prediction of pile drivability. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.10.003>





# Doğu Karadeniz Bölgesi Meteorolojik Parametrelerinin Trend Analizi

Cavit Berkay Yılmaz<sup>1</sup>, Vahdettin Demir<sup>2\*</sup>, Mehmet Faik Sevimli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2734-2073), [cavitberkayyilmaz@gmail.com](mailto:cavitberkayyilmaz@gmail.com)

<sup>2\*</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6590-5658), [vahdettin.demir@karatay.edu.tr](mailto:vahdettin.demir@karatay.edu.tr)

<sup>3</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4676-8782),  
[mehmet.faik.sevimli@karatay.edu.tr](mailto:mehmet.faik.sevimli@karatay.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916018)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, C., Demir, V. & Sevimli, M. F. (2021). Doğu Karadeniz Bölgesi Meteorolojik Parametrelerinin Trend Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 489-496.

## Öz

Doğu Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesidir. Bu nedenle sıcaklık, yağış gibi meteorolojik parametrelerdeki değişimler bölgedeki hayatı büyük ölçüde etkilemektedir. Bu değişimlerin aşırı yağışların etkisi ile taşkın veya giderek artan sıcaklıkların etkisiyle ortaya çıkan kuraklık gibi insan hayatını ve bölgedeki üretimi etkileyerek sıcaklık ve yağış değişkenleri üzerinde meydana gelen değişikliklerin önemini gözler önüne sermektedir. Bu değişiklikleri tespit etmek amacıyla birçok parametrik ve parametrik olmayan yöntem geliştirilmiştir, bu yöntemlerin başında trend analizleri gelmektedir. Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt illerinde bulunan 6 istasyondan elde edilen 1960-2016 yılları arasında kapsayan 57 yıllık sıcaklık, buharlaşma, rüzgâr ve yağış verileri üzerinde %95 güven aralığında gerçekleştirilen trend analizlerinde parametrik bir yöntem olan Lineer Trend yöntemi ve parametrik olmayan Modifiye Mann-Kendall yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda Lineer Trend yöntemi ve Modifiye Mann-Kendall yönteminden elde edilen sonuçların %86.1-97.22 oranında uyduğu saptanmıştır. Sonuçlar olarak incelendiğinde sıcaklık ve yağışların artan yönde eğilim gösterdiği, rüzgarların Trabzon istasyonunda artan, Rize ve Bayburt istasyonlarında azalan yönde anlamlı eğilimler gösterdiği tespit edilmiştir. Buharlaşma verileri ise Bayburt istasyonunda azalan, Gümüşhane ve Trabzon istasyonlarında artan bir eğilim göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Lineer Trend, Modifiye Mann-Kendall, Sıcaklık, Yağış, Rüzgâr.

## Trend Analysis of Meteorological Parameters of Eastern Black Sea Region

### Abstract

The Eastern Black Sea region is the rainiest region of Turkey. Therefore, changes in temperature, precipitation, etc., affect life in the region to a great extent. These changes show the importance of changes in temperature and precipitation variables by affecting human life and production in the region, such as flood caused by excessive precipitation or droughts caused by global warming. In order to detect these changes, many parametric and non-parametric methods have been developed. In this study trend analyzes were applied on 57 (1960-2016) years temperature, winds, evaporation and precipitation data of 6 stations in Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt provinces belonging to Turkish State Meteorological Service. Study was performed in 95% confidence interval. As a result of this study, the results obtained from Linear Trend method and Modified Mann-Kendall method were found to be 86.1-97.22 % concordant. When the results of the Eastern Black Sea Region are examined, it is observed that temperature and precipitation are showed in increasing direction, winds showed significant tendencies in the direction of increasing in Trabzon station and decreasing in Rize and Bayburt stations. Evaporation data showed decreasing trend in Bayburt station and increasing trend in Gümüşhane and Trabzon stations.

**Keywords:** Linear Trend, Modified Mann-Kendall, Precipitation, Temperature, Winds.

\* Sorumlu Yazar: [vahdettin.demir@karatay.edu.tr](mailto:vahdettin.demir@karatay.edu.tr)

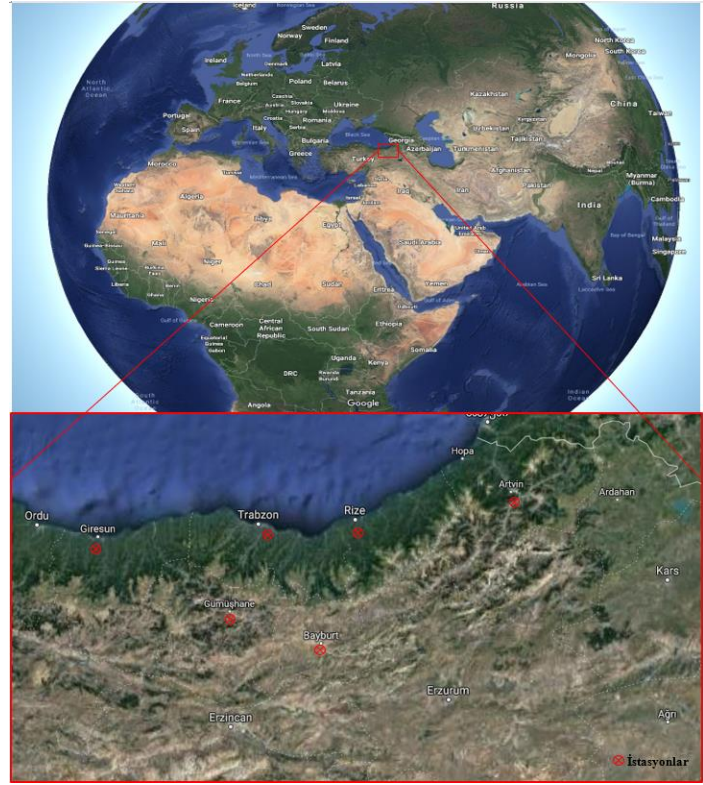
## 1. Giriş

Karadeniz bölgesinin Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi olması sebebiyle meteorolojik parametrelerin bölgeye etkisi göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Bu etki sıcaklıkların artmasıyla kuraklık şeklinde ortaya çıkabileceği gibi aşırı yağışlar ile taşkın sel vb. şekillerde ortaya çıkarak insan hayatını ve bölgenin ekonomisini tehdit edebilmektedir. Bu yüzden sıcaklık, yağış gibi hidrolojik parametrelerin incelenmesi, geleceğe yönelik eğilimlerinin araştırılması çok önemlidir. Yeryüzü şekilleri, toprak ve bitki örtüsünün oluşumu ile insan faaliyetleri üzerinde iklim faktörünün oldukça belirleyici ve sınırlayıcı etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, iklim elemanlarında zaman içerisinde meydana gelen değişim ve eğilimlerin belirlenmesi, değişim ve eğilimin yönü ve boyutunun tespit edilmesi son derece önemlidir. İklimde zaman içerisinde meydana gelen olumlu ve olumsuz yöndeki değişim ve eğilimlerin ortaya konulması, ekstrem koşullara rastlanması durumunda alınması gereken tedbirlerin erkenden fark edilmesini kolaylaştırmaktadır (Yılmaz, 2018). Çeribaşı ve Doğan (2015) Batı Karadeniz, Doğu Karadeniz ve Sakarya havzalarının yıllık ortalama yağış miktarlarına ait veriler üzerinde trend analiz yöntemlerini uygulayarak elde etmiş olduğu sonuçlarda Batı Karadeniz Havzası'nda artan veya azalan yönde bir trend varlığına rastlamamış, Doğu Karadeniz Havzası'nda ise artan yönde, Sakarya havzasında ise azalan yönde trend varlığı gözlemlemiştir. Çeribaşı (2019) Doğu Karadeniz havzasında bulunan 9 istasyona ait yağış verilerine periyodu 1971-2000 yılları arası olmak üzere uygulamış olduğu trend testleri sonucunda Rize, Ünye ve Pazar istasyonlarında %90 güven aralığında artan yönde trend varlığına rastlarken geriye kalan 6 istasyonda trend varlığına rastlamamıştır. Partal (2003) Türkiye genelinde incelediği 96 istasyonda yapmış olduğu çalışma içerisinde yağış verilerinin incelenmesi sonucu kış mevsimi incelendiğinde Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde azalma trendi varlığını saptamıştır. Yılmaz (2018) yapmış olduğu tez çalışmasında Karadeniz Bölgesi'ndeki 16 istasyona uygulamış olduğu Mann-Kendall ve Spearman Rho trend test yöntemlerinden elde ettiği sonuçlar incelendiğinde Batı Karadeniz'de sıcaklık değerlerinde artan yönde trend varlığına rastlamıştır. Özkoca (2015) Orta Karadeniz'in kıyı şeritlerinde yapmış olduğu çalışmada sıcaklık açısından bölge genelinde artan yönde trend varlığına ve bölgedeki yağışlar açısından ise iç kesimlerdeki istasyonların denize yakın istasyonlara göre azalan yönde trend varlığı gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Nemli (2017) Doğu Karadeniz Bölgesi'ne ait 10 adet meteoroloji istasyonu üzerinde yürütmüş olduğu çalışmada standart zamanlarda maksimum yağış yüksekliklerini incelemiş ve bölge genelinde artan trend varlığını saptamıştır. Demir (2018) yapmış olduğu tez çalışmasında Karadeniz Bölgesi yağışlarının trend analizini gerçekleştirerek, Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi'nde artan trend, Batı Karadeniz Bölgesi'nde ise azalan trend tespit etmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri çalışma alanı

Bu çalışmada, Şekil 1'de gösterilen istasyonlara ait, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, 1960-2016 (57 yıl) yıllarını kapsayan aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı ve buharlaşma verileri kullanılmıştır. Tablo 1 de istasyonlara ait bilgiler yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan istasyonlar

Tablo 1. İstasyonlara Ait Konum Bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
17034	Giresun	40.92	38.39	37
17037	Trabzon	41	39.78	39
17040	Rize	41.04	40.5	9
17045	Artvin	41.18	41.82	628
17088	Gümüşhane	40.46	39.47	1219
17089	Bayburt	40.25	40.43	1584

### 2.2. Yöntemler

#### 2.2.1. Lineer trend yöntemi (LT)

LT yöntemi temelinde Regresyon analizine dayanır ve verilerin normal dağılıma uyduğunu varsayan parametrik bir testtir. "x" ve "y" değişkenleri arasındaki ilişkiyi, doğrusal bir trendin var olup olmadığını test eder (Karabulut ve Cosun 2009). Bu yöntemle elde edilen  $y_i = a + bx_i$  şeklindeki eğrinin "b" terimi eğimi "a" terimi ise eğrinin Kartezyen koordinat sisteminde "y" eksenini kestiği noktayı gösterir. "a" ve "b" terimleri (Denklem 1 ve 2) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (1)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (2)$$

Trendin olup olmadığı ise t dağılımı ve t testi ile belirlenir. “t” dağılımı normal dağılım gibi simetrik bir dağılımdır. Ortalaması 0’dır. Dağılımın serbestlik derecesi n=N-1 dir. Burada N veri sayısıdır. Denklem 1 yardımıyla hesaplanan b değerine (eğim) ait t değeri hesaplanır (thes) ve seçilen bir anlamlılık düzeyi ile karşılaştırılır (bu çalışmada %95 güven aralığında). Eğer kabul edilen aralığı aşıyorsa gidiş vardır ve işaretine göre artan ya da azalandır. Aşmıyorsa (-t<sub>cri</sub><t<sub>hes</sub><t<sub>cri</sub>) gidiş yoktur denilmektedir (Demir, 2018).

### 2.2.2. Modifiye Mann-Kendall yöntemi (M-MK)

Mann-Kendall (MK) testi için ilk olarak “S” yani MK test istatistiği toplam değeri hesaplanmalıdır. Bu amaçla veri sütunları ilk ölçüm tarihinden son ölçüm tarihine sıralanmalıdır (i=1, ..., n-1’e kadar sıralanmış x<sub>i</sub> veri sütunu ile j=i+1, ..., n’e kadar sıralanmış x<sub>j</sub> veri sütunlarını oluşturacak şekilde). Ardından, x<sub>i</sub> veri sütunu başlangıç olarak kullanılır ve diğer sıralanmış x<sub>j</sub> ile Denklem 3’deki signum fonksiyonu kullanılarak Denklem 4’deki belirtilen “S” değeri hesaplanır. Bu işlemler sonucunda tüm veri çiftlerinin farkı (x<sub>j</sub>-x<sub>i</sub>) ile pozitif ve negatif değerlerin sayısının toplamı bulunmuş olur.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Eğer } x_j > x_i \\ 0; & \text{Eğer } x_j = x_i \\ -1; & \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (3)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (4)$$

Veri sayısı "n" olmak üzere n > 10 ise seriler için varyans hesabı yapılır (Denklem 5) ve yaklaşık olarak normal dağılıma uygun olduğu öngörülür. Varyans hesaplandıktan sonra, Denklem 4’de bulunan “S” değerine göre “Z” hesaplanır. Hesaplanan Z değeri de, belirlenen olasılık düzeylerine karşılık gelen normal dağılım çizelgesindeki standart Z değerleriyle karşılaştırılır (Yu vd., 1993).

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{Eğer } S > 0 \\ 0; & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Denklem 5’te;

n: veri serisi uzunluğu,

P: serideki bağlı grupların sayıları,

t<sub>i</sub>: i uzunluğundaki bir seride bağlı gözlemlerin sayısını ifade etmektedir.

Trendin olup olmadığı ise Normal dağılımın Z değerleri ile belirlenir. Denklem 6 yardımıyla hesaplanan Z değeri, α e-ISSN: 2148-2683

anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın Z<sub>1-α/2</sub> değerinden büyük olduğu durumlarda sıfır hipotezi (H<sub>0</sub>) kabul edilmemektedir. Yani, zaman serisinde bir eğilimin söz konusu olduğu sonucuna varılmaktadır. Benzer şekilde Z değeri, dağılım çizelgesindeki Z<sub>1-α/2</sub> değerinden küçük olduğu durumlarda H<sub>0</sub> kabul edilmemektedir ve zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin olmadığı anlaşılmaktadır. S değeri pozitif hesaplanırsa, incelenen olayda artan yönde, negatif hesaplanırsa azalan yönde bir eğilim olduğu sonucuna varılır (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Modifiye Mann-Kendall (M-MK) yöntemi ise test istatistiğinin varyansındaki modifiye değere dayanarak, otokorele edilmiş veriler için uygun olan değiştirilmiş bir parametrik olmayan trend yöntemidir. Modifiye testin ampirik önem seviyesi açısından doğruluğunun, herhangi bir güç kaybı olmadan orijinal Mann-Kendall trend testinden üstün olduğu tespit edilmiştir. M-MK testinde ise hesaplanan varyans değerinde oto-korelasyonun etkisi de dikkate alınır. Düzeltilmiş varyans ifadesi aşağıda verildiği gibi hesaplanır ve Denklem 6 yardımıyla Z değerleri bulunur (Hamed ve Rao, 1998).

$$V(S) = Var(S) * \frac{n}{n_s^*} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} * \frac{n}{n_s^*} \quad (7)$$

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-2)\rho_s(i) \quad (8)$$

Burada n/n<sub>s</sub><sup>\*</sup>, verilerdeki oto-korelasyon nedeniyle bir düzeltmeyi temsil eder. “n” gerçek gözlem sayısıdır ve ρ<sub>s</sub> (i) gözlem saflarının oto-korelasyonudur.

## 3. Uygulama

Trend bir parametrenin zaman serisi boyunca ölçülen büyüklüklerinde anlamlı bir azalma veya artmanın olması olarak tanımlanmaktadır. Hidrolojik büyüklükler (yağış, buharlaşma, akış, sızma) zaman içerisinde rastgele değişen karakterde olduğundan, azalma veya artma eğiliminin araştırılmasında özel yöntemlerin kullanılması gerekir (Helsel ve Hirsch, 1992).

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinde bulunan 6 adet istasyona ait 1960-2016 yılları arasındaki aylık toplam yağış (mm) verileri, ortalama rüzgâr hızı (m/s), buharlaşma (mm) ve ortalama sıcaklık verileri (C) kullanılarak trend analizleri iki farklı yöntemle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Analizlerde, M-MK ve LT yöntemler aylık, yıllık bazda ve %95 güven aralığında incelenmiş ve trendler Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojileri yardımıyla haritalandırılmıştır. Çalışmada kullanılan M-MK yöntemi parametrik olmayan testlerdendir. LT ise parametrik bir testtir (Gümüş, 2006). Trend analizlerinin gerçekleştirilmesinde Microsoft Office Excel programı ve MATLAB kullanılmış, haritalar ArcGIS yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. LT ve M-MK yöntemlerine ait yıllık sonuçlar Tablo 4’de, aylık sonuçlar ise Tablo 2 ve 3’de yer almaktadır.

Tablo 2. Yıllık Trend Sonuçları

İstasyon	Parametre	LT	M-MK
Giresun	Sıcaklık	<b>3.74</b>	<b>3.33</b>
	Yağış	<b>3.49</b>	<b>3.57</b>
Tabzon	Sıcaklık	1.05	0.96
	Yağış	<b>5.41</b>	<b>4.93</b>
Rize	Sıcaklık	<b>4.83</b>	<b>5.37</b>
	Yağış	<b>2.51</b>	<b>2.11</b>
Artvin	Sıcaklık	1.44	1.74
	Yağış	1.98	<b>2.21</b>
Gümüşhane	Sıcaklık	<b>2.94</b>	<b>2.25</b>
	Yağış	<b>2.08</b>	<b>2.07</b>
Bayburt	Sıcaklık	<b>2.53</b>	<b>2.83</b>
	Yağış	<b>2.51</b>	<b>2.66</b>

Tablo 2 incelendiğinde güven aralığının %95'lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğilim gösteren sonuçlar koyu/bold olarak belirtilmiştir. Giresun istasyonuna ait sıcaklık ve yağışlar incelendiğinde, her iki değişkeninde hem LT hem de M-MK yöntemlerine göre artan yönde eğilim gösterdiği görülmüştür. Trabzon istasyonu incelendiğinde, her iki yöneme göre de sıcaklıklar artan yönde eğilim gösterse de bu eğilim istatistiksel olarak anlamlı değildir. Trabzon istasyonunda yağışlar ise artan yönde bir eğilim göstermektedir. Rize istasyonunda sonuçlar Giresun, Gümüşhane ve Bayburt istasyonlarına benzer şekilde her iki yöntemde de iki parametrede artan yönde eğilim göstermektedir. Artvin istasyonunda ise sadece yağış değerleri M-MK yöntemine göre anlamlı bir artış eğilimi göstermektedir. Sonuç olarak, LT ve M-MK yöntemi benzer sonuçlar vererek (Artvin istasyonu yağışları hariç) bölgede hem yağış hem de sıcaklık değerlerinin artan yönde eğilim gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Yıllık Trend Sonuçları

İstasyon	Parametre	LT	M-MK
Giresun	Rüzgar	0.61	0.13
	Buharlaştırma	*	*
Tabzon	Rüzgar	<b>5.38</b>	<b>6.62</b>
	Buharlaştırma	2.46	1.87
Rize	Rüzgar	<b>-8.82</b>	<b>-5.60</b>
	Buharlaştırma	*	*
Artvin	Rüzgar	-0.69	-0.84
	Buharlaştırma	*	*
Gümüşhane	Rüzgar	0.13	0.38
	Buharlaştırma	2.06	<b>1.97</b>
Bayburt	Rüzgar	<b>-8.06</b>	<b>-3.63</b>
	Buharlaştırma	-1.52	-1.10

\*: veri sayısı trend testlerini uygulamak için gereken veri sayısından az olduğu (<30) için test gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 3 incelendiğinde güven aralığının %95'lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğilim gösteren sonuçlar koyu/bold olarak belirtilmiştir. Trabzon istasyonu incelendiğinde rüzgâr

verileri için her iki yöntemde de artan yönde istatistiksel olarak anlamlı trend varlığı bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Rize istasyonuna ait rüzgâr verileri incelendiğinde ise her iki yöntemde negatif yönde anlamlı trend varlığı bulunduğu sonucu elde edilmiştir. Gümüşhane istasyonunda buharlaştırma verileri incelendiğinde Modifiye Mann-Kendall yöntemine göre istatistiksel olarak anlamlı pozitif yönde trend söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bayburt istasyonu incelendiğinde ise Rize ve Trabzon istasyonlarında olduğu gibi iki test rüzgâr verileri için benzer sonuçlar vermiş ve negatif yönde anlamlı trend varlığı gözlenmiştir.

Tablo 4. Sıcaklıklara ait trend analizi sonuçları

İstasyon	Aylar												Yöntem
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	
Giresun	1.24	0.67	1.31	0.91	1.89	<b>3.74</b>	<b>5.12</b>	<b>7.12</b>	<b>4.36</b>	<b>2.31</b>	-0.32	-0.58	LT
	1.58	1.37	1.52	1.15	<b>2.30</b>	<b>5.37</b>	<b>6.44</b>	<b>5.66</b>	<b>3.83</b>	<b>2.11</b>	-0.23	-0.96	M-MK
Trabzon	0.13	-	0.43	1.27	1.16	1.90	<b>3.44</b>	<b>4.32</b>	<b>2.06</b>	0.27	<b>-2.39</b>	<b>-2.21</b>	LT
	-0.06	0.11	0.47	1.92	1.38	<b>3.04</b>	<b>3.10</b>	<b>3.70</b>	1.73	0.33	<b>-4.69</b>	<b>-5.37</b>	M-MK
Rize	0.67	0.71	1.52	1.30	<b>3.33</b>	<b>5.25</b>	<b>6.16</b>	<b>7.68</b>	<b>5.54</b>	<b>2.96</b>	-0.45	-0.74	LT
	0.78	0.82	1.51	1.65	<b>2.88</b>	<b>5.12</b>	<b>7.11</b>	<b>5.87</b>	<b>7.43</b>	<b>2.84</b>	-0.32	<b>-1.97</b>	M-MK
Artvin	0.38	0.51	0.14	-0.14	-0.01	<b>1.96</b>	<b>2.86</b>	<b>4.10</b>	<b>2.16</b>	0.96	-1.15	-0.57	LT
	0.46	0.44	0.43	-0.34	-0.40	1.79	<b>2.57</b>	<b>3.53</b>	1.64	0.97	-0.69	-0.82	M-MK
Gümüşhane	1.36	1.38	0.75	0.93	0.62	<b>2.55</b>	<b>2.59</b>	<b>3.29</b>	<b>2.69</b>	<b>2.63</b>	0.01	-0.02	LT
	1.84	1.45	0.85	0.87	-0.12	<b>2.14</b>	1.86	<b>2.52</b>	0.98	<b>2.16</b>	0.09	-0.29	M-MK
Bayburt	1.28	1.35	1.99	1.37	0.82	<b>2.84</b>	1.87	<b>3.80</b>	1.39	1.26	-0.42	-0.64	LT
	1.34	1.32	<b>11.75</b>	<b>2.39</b>	0.93	<b>3.35</b>	<b>1.97</b>	<b>3.46</b>	0.93	1.65	-0.39	-0.60	M-MK

Tablo 4'te güven aralığının %95'lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğilim gösteren sıcaklık sonuçları koyu/bold olarak belirtilmiştir. Aylık sonuçlar incelendiğinde ocak ve şubat aylarında herhangi bir trend gözlemlenmezken ağustos ayında tüm istasyonlarda artan yönde eğilim görülmektedir. Bölgede artan eğilimler özellikle Mayıs – Ekim aylarında görülmektedir ve artan yöndedir. Ayrıca Kasım-Aralık aylarında genellikle azalan yönde eğilimler görülse de Trabzon (LT ve M-MK) ve Rize (M-MK) istasyonlarında bu azalışlar anlamlıdır. Her iki yöneme göre de toplamda  $12 \times 6 = 72$  analiz bulunmaktadır ve bu analizlerden sadece 10 tanesi uyumsuzdur. Yani 10 istasyonda yöntemin biri anlamlı eğilim gösterirken diğeri anlamlı olmayan eğilim göstermiştir. Bu da yöntemleri %86.1 oranında benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir % 86.1  $((72-10) \times 100) / 72$ .

Tablo 5. Yağışlara ait trend analizi sonuçları

İstasyon	Aylar												Yöntem
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	
Giresun	0.29	-0.65	1.20	-1.01	1.11	1.60	0.99	-0.93	1.69	<b>2.15</b>	1.56	0.04	LT
	0.32	0.01	1.07	-1.01	0.94	1.40	0.30	-0.72	1.03	<b>2.82</b>	1.51	0.00	M-MK
Trabzon	1.51	0.50	1.70	0.72	0.90	0.13	0.30	1.95	1.15	<b>2.16</b>	0.96	1.08	LT
	1.34	0.97	1.71	0.77	0.80	-0.2	0.32	1.16	0.85	<b>2.68</b>	1.56	0.77	M-MK
Rize	-0.12	-0.47	0.17	-1.10	-0.45	1.87	1.55	0.01	1.84	<b>2.64</b>	0.33	0.19	LT
	-0.71	-0.35	0.56	-0.88	-0.44	1.50	1.18	-0.06	<b>2.74</b>	<b>2.23</b>	0.30	0.82	M-MK
Artvin	0.53	0.18	1.76	-0.06	0.48	0.51	1.47	1.37	1.59	1.04	0.88	-0.83	LT
	0.66	-0.17	1.58	-0.49	0.72	0.30	1.39	1.54	0.36	1.63	0.35	-0.62	M-MK
Gümüşhane	0.91	1.36	1.10	1.16	-0.39	0.35	1.38	0.54	<b>2.42</b>	1.52	0.56	<b>-2.09</b>	LT
	1.53	1.22	1.37	1.09	-0.24	0.14	<b>3.00</b>	1.20	<b>3.75</b>	1.32	0.00	-1.94	M-MK
Bayburt	1.81	1.81	1.71	1.74	0.98	-1.7	1.44	0.69	0.82	1.96	-0.43	-0.39	LT
	1.54	<b>2.40</b>	1.50	1.91	<b>2.46</b>	-1.6	1.71	1.10	0.46	<b>2.81</b>	-0.5	1.54	M-MK

Tablo 5'te güven aralığının %95'lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğilim gösteren yağış sonuçları koyu/bold olarak belirtilmiştir. Toplam yağışlara ait aylık sonuçlar incelendiğinde, eğilimler genellikle Ekim aylarında anlamlı ve artan yöndedir. Azalan

yönde eğilimler ise sadece Gümüşhane (LT) istasyonunda görülmektedir. Yöntemlere ait sonuçlar % 91.6  $\left(\frac{(72-6) \times 100}{72}\right)$  oranında benzerdir. Toplamda  $12 \times 6 = 72$  analiz bulunmaktadır ve bu analizlerden sadece 6 tanesi uyumsuzdur. Yani 6 istasyonda (Rize-Eylül, Gümüşhane-Aralık-Temmuz, Bayburt-Şubat-Mayıs-Ekim) yöntemin biri anlamlı eğilim gösterirken diğeri anlamlı olmayan eğilim göstermiştir.

Tablo 6. Rüzgâr ait trend analizi sonuçları

İstasyon	Aylar												Yöntem
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	
Giresun	0.15	0.71	2.26	1.31	1.07	0.86	1.19	-0.16	0.22	-0.74	-0.30	0.01	LT
	0.32	0.39	<b>1.97</b>	0.59	1.39	0.52	0.97	-0.20	-0.36	-0.92	-0.20	-0.18	M-MK
Trabzon	<b>4.01</b>	2.17	<b>2.88</b>	<b>3.52</b>	<b>3.22</b>	<b>4.14</b>	<b>5.94</b>	<b>5.10</b>	<b>4.52</b>	<b>3.95</b>	<b>3.94</b>	<b>3.03</b>	LT
	<b>3.48</b>	1.48	<b>2.70</b>	<b>3.53</b>	<b>3.90</b>	<b>3.42</b>	<b>16.16</b>	<b>4.48</b>	<b>3.91</b>	<b>3.64</b>	<b>4.57</b>	<b>2.59</b>	M-MK
Rize	<b>-5.57</b>	<b>-5.47</b>	<b>-2.92</b>	<b>-3.29</b>	<b>-3.72</b>	<b>-7.45</b>	<b>-8.03</b>	<b>-6.35</b>	<b>-8.71</b>	<b>-7.80</b>	<b>-5.77</b>	<b>-10.35</b>	LT
	<b>-5.01</b>	<b>-4.07</b>	<b>-2.06</b>	<b>-3.49</b>	<b>-2.42</b>	<b>-4.68</b>	<b>-5.26</b>	<b>-5.23</b>	<b>-5.73</b>	<b>-10.67</b>	<b>-3.42</b>	<b>-5.86</b>	M-MK
Artvin	-1.72	-0.61	-0.73	0.82	-1.28	1.33	0.39	1.06	0.24	-1.57	-0.41	-1.54	LT
	-1.22	-0.80	<b>-2.04</b>	0.12	-1.02	1.36	0.66	1.36	0.34	-1.53	-0.05	-1.12	M-MK
Gümüşhane	-0.60	-2.03	-0.11	1.28	0.54	0.44	0.83	1.29	1.49	0.42	-1.32	-2.60	LT
	0.07	-0.99	1.15	<b>2.04</b>	1.07	1.07	0.91	0.63	0.69	0.91	-0.59	-1.31	M-MK
Bayburt	<b>-6.06</b>	<b>-5.53</b>	<b>-5.19</b>	<b>-5.62</b>	<b>-5.75</b>	<b>-6.30</b>	<b>-7.65</b>	<b>-10.54</b>	<b>-8.51</b>	<b>-6.12</b>	<b>-5.82</b>	<b>-6.60</b>	LT
	<b>-5.49</b>	<b>-5.11</b>	<b>-3.98</b>	<b>-3.15</b>	<b>-3.88</b>	<b>-3.72</b>	<b>-4.59</b>	<b>-9.52</b>	<b>-5.18</b>	<b>-4.84</b>	<b>-3.90</b>	<b>-3.98</b>	M-MK

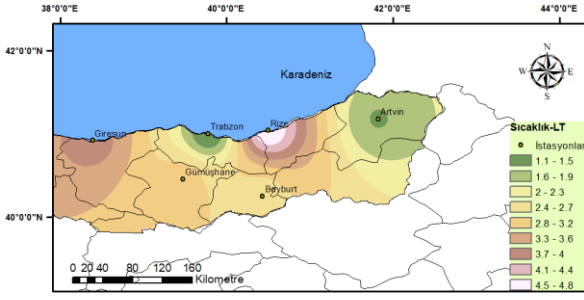
Tablo 6’da güven aralığının %95’lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğim gösteren rüzgâr sonuçları koyu/bold olarak belirtilmiştir. Rüzgarlara ait sonuçlar aylık olarak incelendiğinde, eğilimler genellikle Trabzon, Rize ve Bayburt istasyonlarında yoğun olarak trend varlığı saptanmış ve yöntemlere ait sonuçlar %95.8  $\left(\frac{(72-3) \times 100}{72}\right)$  oranında benzerdir. Toplamda 72 (12x6) analiz bulunmakta ve bu analizlerden sadece 3 tanesi uyumsuzdur. Yani 6 istasyonda (Giresun-Mart, Artvin-Mart, Gümüşhane-Nisan) yöntemlerden biri anlamlı eğilim gösterirken diğeri anlamlı olmayan eğilim göstermiştir.

Tablo 7. Buharlaşmalara ait trend analizi sonuçları

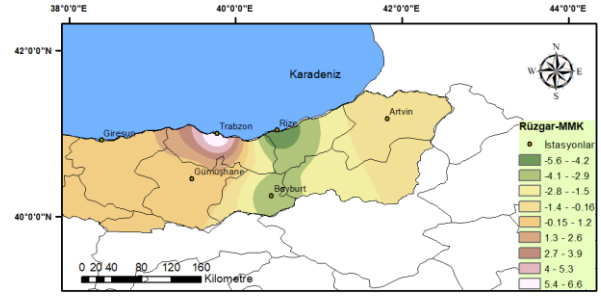
İstasyon	Aylar						Yöntem
	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	
Trabzon	1.74	0.93	2.25	<b>3.14</b>	<b>3.47</b>	-0.98	LT
	1.34	1.79	<b>2.36</b>	<b>4.42</b>	<b>4.94</b>	-0.44	M-MK
Gümüşhane	1.23	1.13	2.28	<b>3.12</b>	1.82	0.51	LT
	1.22	1.39	<b>2.39</b>	<b>2.70</b>	1.75	0.54	M-MK
Bayburt	-1.30	-1.26	-0.55	-0.26	-0.25	<b>-2.94</b>	LT
	-1.11	-0.86	-0.45	-0.31	-1.30	<b>-2.80</b>	M-MK

Tablo 7’de Giresun, Rize, Artvin, istasyonlarında buharlaşma verilerine ait veri sayısı 30’dan küçük olduğu için analizler gerçekleştirilmemiştir. Güven aralığının %95’lik kısmında istatistiksel olarak anlamlı eğim gösteren buharlaşma sonuçları koyu/bold olarak belirtilmiştir. Buharlaşmalara ait sonuçlar aylık olarak incelendiğinde, eğilimler genellikle Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında rastlanmıştır. Yöntemlere ait sonuçlar %97.22  $\left(\frac{(72-2) \times 100}{72}\right)$  oranında benzerdir. Toplamda 72 (12x6) analiz bulunmakta ve bu analizlerden sadece 2 tanesi uyumsuzdur. Yani 6 istasyonda (Trabzon-Temmuz, Gümüşhane-Temmuz) yöntemlerden biri anlamlı eğilim gösterirken diğeri anlamlı olmayan eğilim göstermiştir.

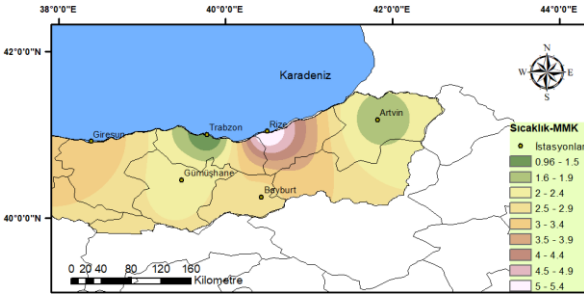
Elde edilen yıllık sonuçlar ArcGIS ortamına aktararak sıcaklık verileri için Şekil 2 ve Şekil 3’te, yağış verileri için Şekil 4 ve Şekil 5’te, rüzgâr verileri için Şekil 6 ve Şekil 7’de, buharlaşma verileri için ise Şekil 8 ve Şekil 9’da trend haritaları oluşturulmuştur.



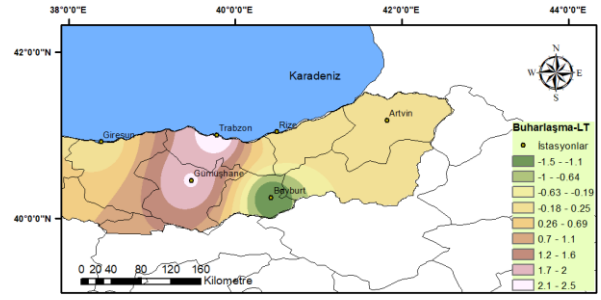
Şekil 2. Linear trend yöntemine ait sıcaklık haritası



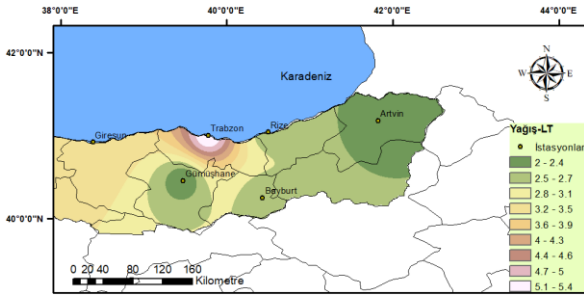
Şekil 7. Modifiye Mann-Kendall yöntemine ait rüzgâr haritası



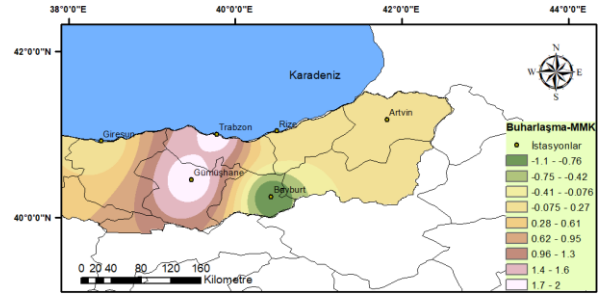
Şekil 3. Modifiye Mann-Kendall yöntemine ait sıcaklık haritası



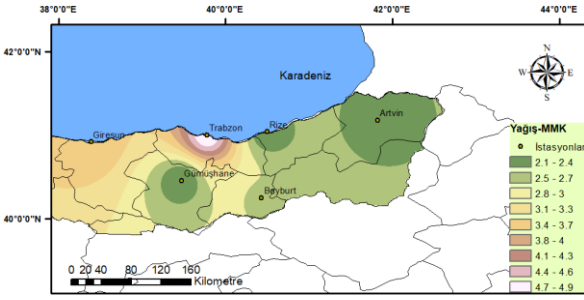
Şekil 8. Linear trend yöntemine ait buharlaşma haritası



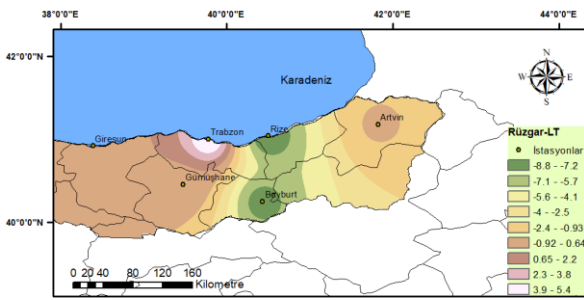
Şekil 4. Linear trend yöntemine ait yağış haritası



Şekil 9. Modifiye Mann-Kendall yöntemine ait buharlaşma haritası



Şekil 5. Modifiye Mann-Kendall yöntemine ait yağış haritası



Şekil 6. Linear trend yöntemine ait rüzgâr haritası

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane ve Bayburt meteoroloji gözlem istasyonlarına ait 1960-2016 yılları arasındaki aylık toplam yağış verileri (mm), ortalama rüzgâr hızı (m/s), buharlaşma (mm) ve ortalama sıcaklık verileri (°C) üzerinde trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde LT ve M-MK yöntemleri güven aralığının %95'lik kısmında test edilmiştir. Sonuçlar aylık ölçeklerde tablo ve yıllık ölçeklerde hem tablo hem de Coğrafi Bilgi Sistemi teknikleriyle hazırlanmış haritalar ile görselleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise;

- LT ve M-MK yöntemleri %86.1-%97.22 oranında benzer sonuçlar vermiştir.
- Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yıllık sonuçlar hem yağış değerleri hem de sıcaklık değerleri için artan yönde eğilim gösterdiği tespit edilmiştir.
- Aylık sonuçlar incelendiğinde ise hem yağış değerleri hem de sıcaklık değerleri genellikle artan yönde eğilim göstermektedir.
- Şekil 2-9'da bulunan haritalar incelendiğinde LT ve M-MK yönteminden elde edilen sonuçların benzer olduğu bir kez

daha görülmekte ve sıcaklık verileri için hazırlanmış olan Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde maksimum trend değerinin Rize’de, minimum trend değerinin ise Trabzon’da bulunduğu, yağış verileri için hazırlanmış olan Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde maksimum trend değerinin Trabzon’da bulunduğu, minimum trend değerinin ise Artvin’de bulunduğu, rüzgâr verileri için hazırlanmış olan Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde maksimum trend değerinin Trabzon’da bulunduğu, minimum trend değerinin ise Rize’de bulunduğu, buharlaşma verileri için hazırlanmış olan Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde maksimum trend varlığı Trabzon’da, minimum trend ise Bayburt’ta gözlemlenmiştir.

## 5. Kaynaklar

- Çeribaşı, G. (2019). Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 254-264. DOI: 10.21597/jist.439569
- Çeribaşı, G. ve Doğan, E. (2015) Karadeniz ve Sakarya Havzalarında Yıllık Ortalama Yağışların Trend Analizi. *SDU International Technologic Science*. 7(1), 1-7.
- Demir, V. (2018). Karadeniz Bölgesi Yağışlarının Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun. 148 p.
- Gümüş, V. (2006). Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi ile Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa. 75 p.
- Helsel, D. R. and Hirsch, R. M. (1992). *Statistical Methods in Water Resources*. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States. Geological Survey, Amsterdam. 546 p.
- Hamed, K. H. and Rao, A. R. (1998). A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data. 204:182–96.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Chtirles Griffin, London. 68 p.
- Karabulut, M. And Cosun, F. (2009). Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7(1), 65–83.
- Mann, H. B. (1945). Non-Parametric Test Against Trend. *Econometrika*, 13:3,245-259.
- Nemli, M. Ö. (2017). Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Yıllık Maksimum Yağışların Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon. 106 p.
- Özkoca, T. (2015). Orta Karadeniz Bölgesi Kıyı İllerinin Hidrometeorolojik Parametrelerinin Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun. 77 p.
- Partal, T. (2003). Türkiye Yağış Verilerinin Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 101 p.
- Yu, Yun-Sheng, Zou, S., and Whittemore, D. (1993). Non-Parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas. *Journal of Hydrology* 150(1), 61–80.
- Yılmaz, A. (2018). Batı Karadeniz Bölümünde Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Karabük. 361 p.





## Ölçü Transformatörlerinin Elektrik Alan Analizleri

Yıldırım Özüpak\*

Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8461-8702), yildirimozapak@gmail.com

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916018)

**ATIF/REFERENCE:** Özüpak, Y. (2021). Ölçü Transformatörlerinin Elektrik Alan Analizleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 497-501.

### Öz

Transformatörler sargılarında beklenmedik bir anda oluşan aşırı gerilim ve akımlara karşı transformatörün mekanik açıdan dayanıklılığının tahmin edilebilmesi, transformatör üreticileri için tasarım sürecinde çok önemlidir. Ani olarak meydana gelen yüksek gerilim ve akımlar elektrik güç sistemleri önem teşkil etmektedir. Bu nedenle beklenmedik ani akım ve gerilimlerin analizlerinin doğru gerçekleştirilmesi güç sistemlerinde son derecede önemlidir. Ani olarak meydana gelen akımlara karşı transformatörlerin mekanik dayanımının sağlanabilmesi için tasarım sürecinde aşırı akımlara maruz kalan kısımların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Maxwell ortamında modellenen ölçü transformatörlerinin, elektrik alan dağılımları, transformatörlerin sargılarında meydana gelen aşırı akımlar, yalıtım malzemelerinde meydana gelen zorlanmalar ve sargılardaki elektrik alan-gerilim dağılımı ilişkileri analiz edilmiştir. Bunun için Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne (SEY) dayanarak çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell yazılım programı ile transformatörlerin 2D modelleri kullanılmıştır. Bu sayede, sargılardaki elektrik alan-gerilimi dağılımları, mekanik dayanımın az olduğu bölgeler ve yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik alanı, Ölçü transformatörü, SEY, Maxwell-3D.

## Electric Field Analysis of Instrument Transformers

### Abstract

Predicting the mechanical strength of the transformer against overvoltages and currents unexpectedly occurring in transformer windings is very important for transformer manufacturers in the design process. Suddenly occurring high voltages and currents are important in electrical power systems. Therefore, accurate analysis of unexpected inrush current and voltage is extremely important in power systems. In order to ensure the mechanical strength of transformers against suddenly occurring currents, the parts exposed to excessive currents must be determined during the design process. In this study, the electric field distributions of the instrument transformers modeled in the Maxwell environment, the overcurrents in the transformers' windings, the stresses in the insulation materials and the electric field-voltage distribution relations in the windings are analyzed. For this, 2D models of transformers were used with ANSYS@Maxwell software program, which realizes a solution based on Finite Element Method (FEM). Thus, electric field-voltage distributions in the windings, regions with low mechanical strength and critical regions that may cause deterioration in insulation materials were determined.

**Keywords:** Electric field, transformer, FEM, Maxwell-3D.

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

## 1. Giriş

Transformatörler, elektrik enerjisini farklı voltaj seviyelerinde kullanmak için çok önemli elektrik makineleridir. Yıldırım darbesi, aşırı gerilim nedeniyle tüm elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım darbe analizi, güç sistemlerini yıldırım hasarlarına karşı korumak için önemli bir çalışmadır. Literatürde simülasyon programları kullanılarak transformatörlerin yıldırım analizi ve yalıtım malzemeleri ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Darbe geriliminin sargılar içerisindeki dağılımı ve darbeye maruz kalmayan sargılardaki etkinin incelenmesi amacıyla yıldırım darbe geriliminin net bir şekilde analiz edilmesi önemli bir hal almıştır. Özellikle darbeye maruz kalmayan sargıların izolasyon yapısı belirlenmelidir. Ayrıca sarımda kullanılan aparatların izolasyon malzemeleriyle olan koordinasyonunun sağlanması gereklidir.

Trafo sargıları üzerindeki yıldırım-darbe gerilim dağılımlarının analizlerini, azaltılmış ölçekli modele dayalı trafo sargılarındaki geçici aşırı gerilim dağılımının analizini, sonlu eleman modellerini ve geçici potansiyel ve alan dağılımının hesaplanması için yıldırım darbe testini içerir (Özüpak ve Mamiş, 2019; Heatcote, 2007; Turan ve Çekirdekli, 2007). Güç transformatörlerinin sargı sisteminde, geçici rejim altında güç transformatöründe modelleme ve yalıtım tasarım metodolojisi, yıldırım darbesi modellemesi ve güç ve dağıtım transformatörlerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Wojda ve ark., 2013; Özüpak ve ark., 2019). Devre tekniğine bağlı SEY yıldırım darbesi altında bir güç trafosunun sargı ve yalıtım tasarımlarının geçici analizi için, yıldırım darbe analizi ile kuru tip bir transformatörün ayrıntılı bir modeli için birleştirilmiş analitik ve SEY yöntemleri incelenmiştir (Yazdani ve ark., 2013). Yıldırım darbe analizi transformatör yağında yük taşımada iyonik ayrışma, güç aktarımında iç yalıtım tasarımı iyileştirmeleri için elektrik alan analizine sahip transformatörler, dağıtım güç transformatörleri aracılığıyla yıldırımın neden olduğu aşırı gerilimlerin hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

Bu makalenin katkıları şunları içerir: Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımı üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sargının elektrik alan dağılımları araştırılmış ve 2-B sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak analiz edilmiştir. Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımına etkisi, daha önceki çalışmalarda araştırılmamış olan konularda ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Aralıklı sargı yapısı, transformatörlerin kaçak endüktansını azaltabildiği görülmüştür. Elektrik alan dağılımı ve analiz sonuçlarının incelenmesi için önerilen yöntemin, transformatörlerde elektrik alan dağılımının iyileştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Tasarımla İlgili Hususlar

Bir tasarımda, bir makinenin gerçekleştirilmesi için bilim, teknoloji ve icatların uygulanması ile gerekli performans ve özellikleri karşılayacak bir kavram biçimlendirilir. Bir tasarım süreci yalnızca mühendislik hesaplamaları değildir, aynı zamanda tasarım temeli, spesifikasyonlar, tasarım aktarımı ve bilgi güncellemesinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini içerir.

Bir transformatörün karşılaması gereken özellikleri ve spesifikasyonları bilerek, ana tasarım alanları şunları içerir:

- Manyetik devre; çekirdek, pencere vb.
- Elektrik devresi; sargılar.
- Yalıtım
- Mekanik yapı

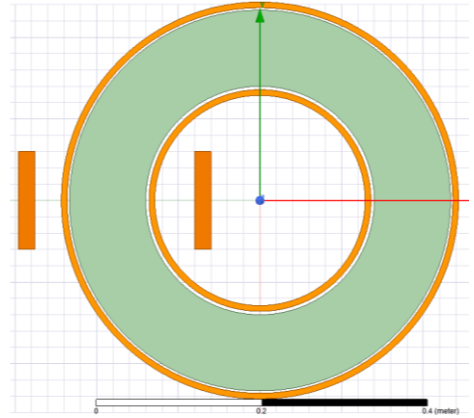
Tasarımcının işi, alan çerçeveye, çekirdeğe, hava boşluğuna, sargılara, yalıtıma ve transformatördeki soğutma devresine uygun şekilde tahsis etmektir. Dahası, üretim maliyetlerinde ekonomi, işletme ve işletme maliyetleri de göz önünde tutulur.

Tasarımda aşağıdaki nedenlerden dolayı sınırlamalar getirilmiştir:

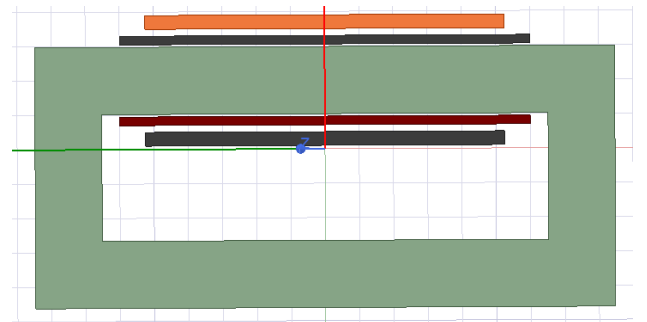
- Manyetik parçaların doygunluğu
- Yüksek çıktı altında sıcaklık artışı
- Yüksek voltaj gradyanları nedeniyle yalıtım arızası.

### 2.2. Ölçü Transformatörlerinin Modellenmesi

Transformatör modelinde, sınır koşulları, dış geometri ve tüm materyallerin özellikleri üzerinde tanımlanmaktadır. Ölçü trafolarının Maxwell ortamında tasarlanan prototipleri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

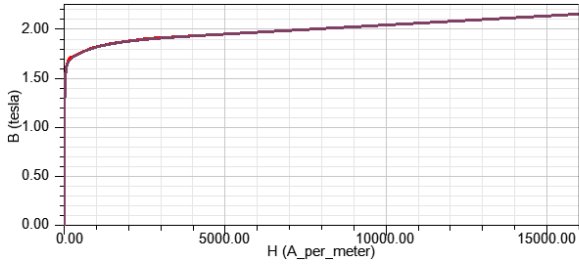


Şekil 1. Akı transformatörü.

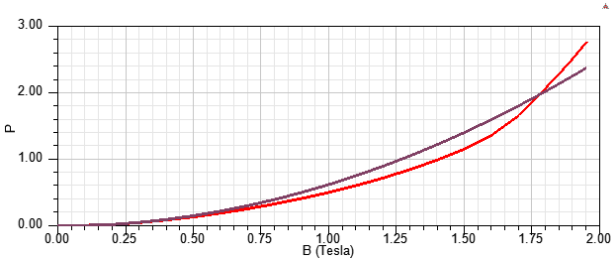


Şekil 2. Gerilim transformatörü.

Manyetik çekirdek, manyetizasyonun Şekil 3'de verilen B-H eğrisi gibi ince laminasyonlarla karakterize edilir. Şekil 4 B-P eğrisini temsil etmektedir.



Şekil 3. Çekirdek laminasyonlarının B-H eğrisi



Şekil 4. Çekirdek yoğunluğunun P-B eğrisi

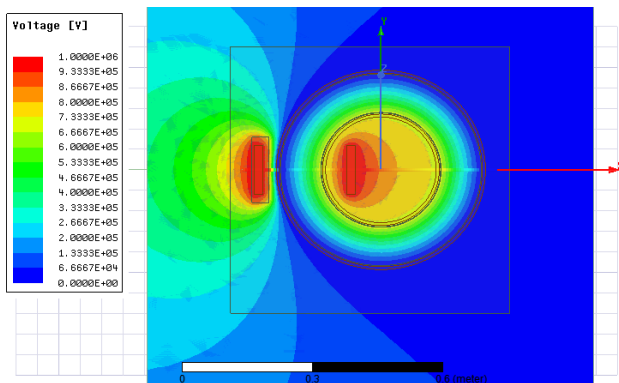
Transformatörün işletmede kullanımı sırasında yüksek frekanslı aşırı gerilimlerden zarar görmeden çalışması için üretilen transformatörler standart olarak 1,2  $\mu$ s tepe ve 50  $\mu$ s yarılanma süresi olan yıldırım darbe gerilimi ile test edilmiştir. Amaç en az üretim ve işletme maliyeti ile aşırı gerilimlere karşı dayanıklı yıllarca çalışan transformatör tasarlamaktır.

Normal çalışma koşullarındaki bir gerilim transformatörünün yıldırım darbesine karşı tepkisini analiz etmek için bu test gerçekleştirilmiştir. Burada amaç, ani gerilim dalgalanmalarında trafodaki elektrik alan dağılımını ve yalıtım malzemesindeki kuvvet etkilerini belirlemektir. Buna bağlı olarak trafoda meydana gelebilecek hasarı tasarım aşamasından önce belirlemektir. Ani akımı uygulamak için tasarlanan modelin AG sargılarına gerilim uyarması verilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Yüksek gerilimi uygulamak için "SheetScan" yöntemi kullanılmıştır. Yeni bir koordinat sistemi ve eğri oluşturulmuştur. Analiz, 0-100 $\mu$ saniye aralığında birer mikro-saniyelik aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan Ani yüksek gerilimin maksimum değeri 1 MV'dir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

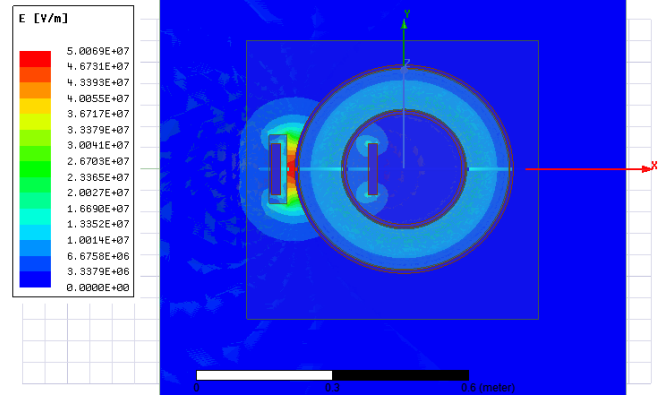
#### 3.1. Akım Transformatörünün Analizi

Tasarlanan trafo ANSYS@Maxwell-3D ile simüle edilmiştir. Simülasyondan elde edilen elektrik alan dağılımları Şekil 5-10'da verilmiştir.

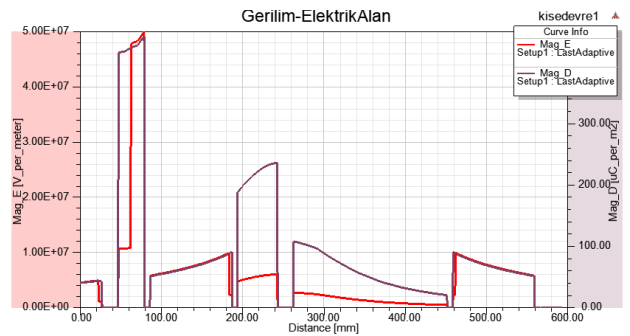


Şekil 5. Uygulanan gerilimin dağılımı

Gerilim seviyesi 1 MV ve analiz süresi için 0-50 $\mu$ saniye aralığı için 1 $\mu$ saniyelik adımlar seçilmiştir. Test gerçekleştirildikten sonra trafoda meydana gelen elektrik alan ve gerilim-elektrik alan dağılımı Şekil 6'da ve Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. 2D transformatör modelinin elektrik alanı

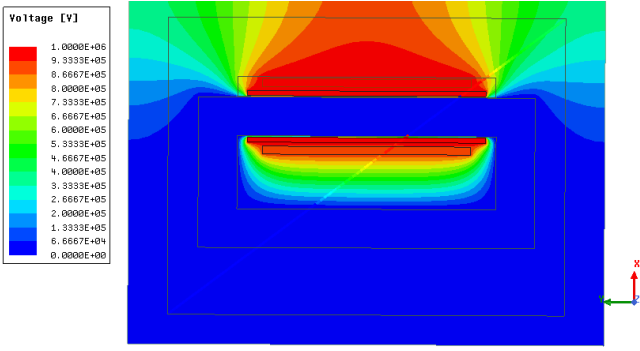


Şekil 7. Gerilim-elektrik alan dağılımı

Akım transformatörünün elektrik alan analizleri ANSYS@MAXWELL ortamında 2D olarak gerçekleştirilmiştir. Termal alan analizleri için çoklu fizik analizlerini birlikte gerçekleştirebilen ANSYS@MAXWELL ve ANSYS@Mechanical birleştirilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan modelin geçici rejim çalışma koşullarındaki elektrik alan ve transformatörde meydana gelen kuvvet incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Normal çalışma koşullarında akım transformatörünün primer ve sekonder sargıları nominal akımları taşımaktadırlar.

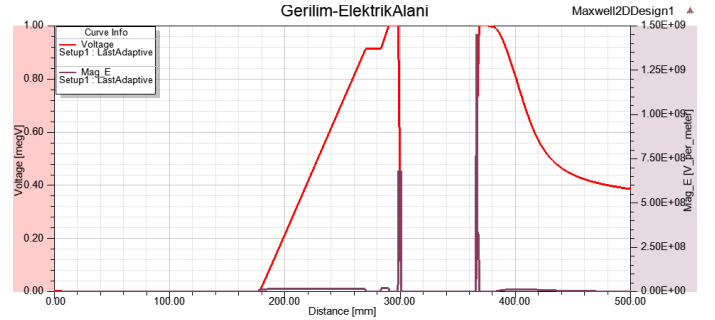
#### 3.2. Gerilim Transformatörünün Analizi

Normal çalışma koşullarındaki bir gerilim transformatörünün ani gerilimlere ve akımlara karşı tepkisini analiz etmek için bu test gerçekleştirilmiştir. Burada amaç, ani gerilim yükselmelerinde trafodaki elektrik alan dağılımını ve sargılardaki kuvvet etkilerini belirlemektir. Buna bağlı olarak trafoda meydana gelebilecek hasarı tasarım aşamasından önce belirlemektir. Analiz, 0-100 $\mu$ saniye aralığında birer mikro-saniyelik aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan gerilimin maksimum değeri 1 MV'dir. Şekil 8'de, uygulanan gerilimin trafodaki dağılımı ve değeri sunulmuştur.



Şekil 8. Uygulanan gerilimin dağılımı.

Gerilim seviyesi 1 MV ve analiz süresi için 0-100µ saniye aralığı için 1µ saniyelik adımlar seçilmiştir. Test gerçekleştirildikten sonra trafoda meydana gelen elektrik alan dağılımı ve elektrik alanının gerilim değerine bağlı olarak değişimi Şekil 9'da ve Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Gerilim trafosunun gerilim-elektrik alan ilişkisi

Sonlu Elemanlar Yöntemine (SEY) dayanarak çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell-2D ile gerilim trafosunun elektrik alan, elektromanyetik alan, termal alan, elektromanyetik kuvvet ve yıldırım darbe analizleri gerçekleştirilmiştir. Termal alan analizleri için çoklu fizik analizlerini birlikte gerçekleştirebilen ANSYS@Maxwell ve ANSYS@Mechanical birleştirilerek kullanılmıştır.

Kısa devre durumunda, büyük elektromanyetik kuvvetler meydana gelmektedir. Bu büyük elektromanyetik kuvvetler daha büyük elektrodinamik gerilimler meydana getirebilirler ve ölçü trafolarına ciddi zararlar verebilirler. Birleştirilmiş manyetik ve mekanik alan kullanılarak, mekanik dayanıklılık bakımından gerilim trafosunun zayıf ve güçlü noktaları belirlenmiştir.

Gerilim trafosu geçici rejim olayındaki elektrik alan ve sargılardaki kuvvet değerleri aşağıda verilmiştir.

Elektrik alan  $1.45 \times 10^5$  V/m

Maksimum elektromanyetik kuvvet 3411 N

verebilirler. Birleştirilmiş manyetik ve mekanik alan kullanılarak, mekanik dayanıklılık bakımından gerilim ve akım trafosunun zayıf ve güçlü noktaları belirlenmiştir. Her iki trafo için de elektrik alan dağılımı ve elektrik alanının gerilim değerine bağlı olarak değişimi elde edilmiştir.

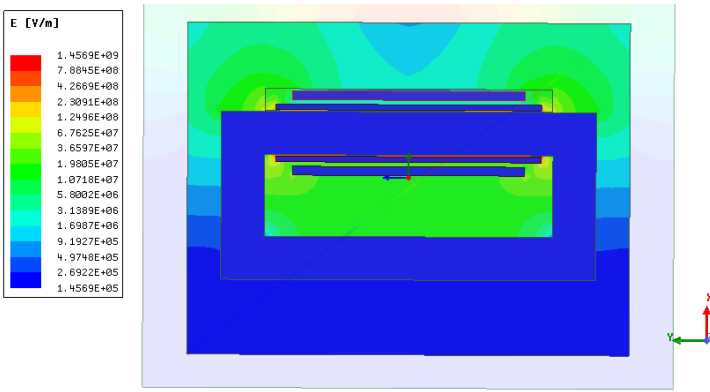
## 5. Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

Dönük A (2012) Modeling and Design of Iron-Core Shunt Reactors With Discretely Distributed Air-Gaps. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, Turkey.

Zheng T, Zhao YJ, Ying J, Chen PL, Zhang FF (2015) "Design and analysis on the turn-to-turn fault protection scheme for the control winding of a magnetically controlled shunt reactor". IEEE Transactions, 30(2), 967-975.



Şekil 9. 2D transformatör modelinin yüksek gerilimdeki elektrik alan dağılımı

## 4. Sonuç

Geçici rejim çalışma koşulunda nüvedeki manyetik akı yoğunluğu normal çalışma koşullarındaki akı yoğunluğundan çok daha büyük olmuştur ve nüve doyuma gitmiştir. Geçici rejim durumundaki akım normal çalışma şartlarındaki akımdan çok yüksek olmuştur. Oluşan bu yüksek akımda büyük elektromanyetik kuvvetler meydana getirmiştir. Meydana gelen bu büyük elektromanyetik kuvvetler daha büyük elektrodinamik gerilimler meydana getirebilirler ve ölçü trafolarına ciddi zararlar

## Kaynakça

Özupak Y, MAMIS M. S. (2019) Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.

Heatcote M, (2007) J&P Transformer Book. Thirteenth Edition, Oxford, United Kingdom, Newness An imprint on Elsevier.

Turan H, Çekirdekli D (2007) Hava Aralığı Bulunan Reaktör Çeşitlerinin İrdelenmesi ve Bir Prototip için Uygulama

- Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K (2013)"Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", *Power Electronics, IET*, 6 (6), 1058-1068.
- Özupak Y, MAMIS M. S (2019) Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- Özupak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H (2019) Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. *International Journal of Engineering And Computer Science*, 8(1), 24451-24460. (Yayın No: 5774086)
- Yazdani-Asrami M, Mirzaie M, Akmal A. S (2013) No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis, *Energy*, vol. 50, no. 1, pp. 205-219.
- M. Ostrenko and B. Andriienko. (2017). "Transformer impulse surges calculation by FEM coupled to circuit," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, no. 6, pp. 1-4, June, Art no. 7401804.
- T. Zupan, B. Trkulja, R. Obrist, T. Franz, B. Cranganu-Cretu, and J. Smajic. (2016). Transformer windings rlc parameters calculation and lightning impulse voltage distribution simulation. *IEEE Transactions on Magnetics*, 52(3):1-4, March.



# Debi-Sürek Eğrisi Yardımıyla Taban Akımının Hesaplaması: Samsun Kürtün Irmağı Örneği

Vahdettin Demir<sup>1\*</sup>, Aziz Uğur Tona<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6590-5658), vahdettin.demir@karatay.edu.tr

<sup>2</sup> Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7367-7731), azizugur.tona@omu.edu.tr

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916024)

**ATIF/REFERENCE:** Demir, V., Uğur Tona, A. (2021). Debi-Sürek Eğrisi Yardımıyla Taban Akımının Hesaplaması: Samsun Kürtün Irmağı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 502-507.

## Öz

Taban akımı yağış miktarı azaldığında veya kurak zamanlarda yağış olmadığında nehrin kurumasını engeller ve nehirdeki akışın devamlılığını sağlar. Ayrıca taban (baz) akımı çok yağış alan ve kar erimesinin uzun süre devam ettiği drenaj alanlarında taşkınları etkilemektedir. Bu nedenle özellikle taşkın ve kuraklık çalışmalarında baz akımı dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada baz akımı, debi-sürek eğrisi kullanılarak Samsun-Kürtün Irmağı için elde edilmiştir. Kürtün Irmağı için incelenen bu çalışmada zamanın %95'inde var olan debi taban akımı olarak alınmıştır. Kürtün Irmağı, Yeşilırmak-Kızılırmak nehirlerinin Karadeniz'e çıkış yaptığı ara bölgede yer almaktadır. Nehir içme suyu ve sulama suyu açısından Karadeniz'in en gelişmiş kenti olan Samsun için oldukça önemlidir. Ayrıca nehirde birçok kez taşkın meydana gelmiştir ve bu taşkınlarda birçok alan sular altında kalmıştır. Çalışmada taban akımını belirlemek için ırmak üzerinde yer alan 1964-2020 yılları arası ortalama akım verilerinin gözlemlendiği D14A014 numaralı istasyon kullanılmıştır. Çizilen debi-süreklilik eğrisinden baz akım 4.47 m<sup>3</sup>/s olarak tespit edilmiş ve yıllara göre taban akımının eğilimi Mann-Kendall trend analizi ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taban akımı, Debi-sürek eğrisi, Kürtün Irmağı, Samsun, Mann-Kendall.

## Calculation of Base-Flow with the Help of Flow-Continuity Curve: The Case Study of Samsun Kürtün River

### Abstract

The base-flow prevents the river from drying out when the amount of precipitation decreases or there is no precipitation in dry times and ensures the continuity of the flow in the river. Also, the base-flow affects floods in drainage areas where there is a lot of precipitation and snow melting continues for a long time. Therefore, the base flow should be taken into consideration in flood and drought studies. In this study, the base-flow was obtained for the Samsun-Kürtün river located in the central part of the Black Sea Region by using the flow continuity curve. In this study analyzed for Kürtün river, the flow that exists in 95% of the time is taken as the base flow. The most developed city of the Black Sea in terms of water resources and urbanization, the river is very important for Samsun. In addition, many floods have occurred in the river, and many areas have been flooded in these floods. The station D14A014 whose average stream data on the river between 1964-2020 were observed was used to determinate the base flow in this study. The base flow was measured as 4.47 m<sup>3</sup>/s by flow continuity curve drawn and the trend of the base flow was examined by years with the Mann-Kendall trend analysis.

**Keywords:** Base-flow, Flow-continuity curve, Kürtün River, Samsun, Mann-Kendall.

\* Sorumlu Yazar: vahdettin.demir@karatay.edu.tr

## 1. Giriş

Su, dünyada insan hayatının devamı için en önemli yaşam gerekliliklerinin başında gelir. Ancak özellikle son yıllarda küresel iklim değişikliği, hızlı artan nüfus yoğunluğu ve sanayileşmenin etkisinden dolayı tehlikeli bir biçimde azalmaya başlamıştır. Kuşkusuz, suyu önemli kılan bir diğer unsur da suyun ekonomik bir meta haline gelmesi, ağır sanayi ve enerji üretiminde kullanılan temiz bir kaynak olmasıdır. Bu sebeplerden ötürü su kullanımı, maliyeti ve planlaması ile ilgili konular önem arz etmeye başlamıştır. Akarsular su kaynaklarını büyük ölçüde oluşturan sulardır (LeBoutillier, 1993). Su kaynaklarının yönetiminde ve planlanmasında akarsulardaki su miktarının ölçümü ve debilerinin hesaplanması büyük bir öneme sahiptir.

Akarsu debilerinin ölçülmesindeki en iyi yöntem akarsu üzerinde belirli noktalarda akım ölçüm istasyonları kurularak yapılan ölçümlerdir. Fakat akarsu üzerinde her noktada bu istasyonları kurmak çok fazla maliyetlidir. Bundan dolayı, ölçüm yapılan istasyonlardaki akım değerlerinden çeşitli tahmin yöntemleri oluşturularak veya havzanın morfolojik, hidrolojik, jeolojik özelliklerine göre fiziksel modeller ile akım tahmini çalışmaları oluşturulabilmektedir. Akarsu akımının tahmin edilebilmesi için, akarsu akımının bileşenlerinden biri olan ve özellikle su yoğunluğunun en az olduğu kurak mevsimlerde akarsu akımının büyük bir kısmını oluşturan taban akışının belirlenmesi gerekir. Taban akışı, havzaya yağın yağışa, akarsu ağı toplam uzunluğuna, drenaj yoğunluğuna, engebeliğe vb. diğer faktörlere bağlı olduğundan gecikmeli bir akış olarak gerçekleşir.

Taban akışı yaz mevsiminde akarsu akışının büyük bir kısmını, bazı durumlarda ise tamamını karşılamaktadır. Taban akışını bilmek havza ile ilgili planlama ve strateji geliştirmede, su kullanım projelendirmelerinde, su bütçesi hesaplamalarında büyük önem arz etmektedir (Warnick, 1984; Şenocak & Taşçı, 2020)

Drenaj alanının durumu ve değişen iklim şartları dikkate alındığında taban akışı, yıl boyunca belirli sınırlar arasında değişim gösterir. Çoğunlukla kar erimelerinin ve yağışlarının fazla olduğu bölgelerde kış ve ilkbahar aylarında yüksek, yaz ve sonbahar aylarında düşük olur. Çok fazla yağış alan ve kar erimesinin uzun süre devam ettiği drenaj alanlarında ise taşkınların etkisini artırmaktadır (Özdemir, 1978)

Literatürde ve ülkemiz resmi kurumlarında taban akışı, debi-süre (süreklilik) eğrileri yardımıyla hesaplanmaktadır (Demir, 2020; Saka & Yüksek, 2017; Yanık, 2004). Debi-süre eğrileri geçmiş bir zaman periyodunda, belirli bir akarsu havzasındaki günlük, aylık veya diğer zaman aralıklı akarsu akımlarının aşıldığı zaman yüzdelerini (%10, %20 vb.) göstermektedir (Castellarin et al., 2004; LeBoutillier, 1993; Saka & Yüksek, 2017). Başka bir ifade ile debi-süre eğrisi, ele alınan periyottaki belli debi değerlerinin görülme ve aşılma yüzdelerini gösteren birikimli frekans eğrisidir (Searcy, 1959). Sulama, planlama ve tasarımı gibi hidrolojik çalışmalarda ve özellikle, depolamasız hidroelektrik santrallerin planlama ve projelendirme aşamalarında debi-süre eğrilerinin su temin etme gücü büyük bir öneme sahiptir (Castellarin et al., 2004; LeBoutillier, 1993; Warnick, 1984).

Taban akışı tahmini için daha önceki yıllarda birçok yöntem kullanılmıştır. Bunlardan bazıları örnek olarak aşağıda verilmiştir;

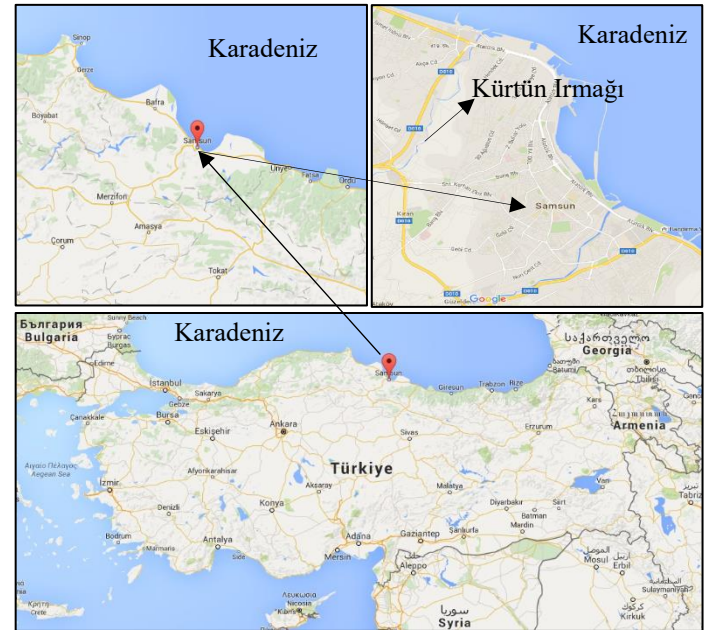
- Grafik yöntemler (Chow et al., 1988; Linsley, R. K., Jr., Kohler, M. A., and Paulhus, 1949),
- Çekilme analizleri (Tallaksen, 1995),
- Hidrokimyasal izleyici tabanlı yöntemler ((Hornberger, G.M., Raffensperger et al., 1998),
- Yumuşatılmış minimumlar yöntemi ve türevleri (Aksoy et al., 2008, 2009; Piggott et al., 2005),
- Dijital filtreleme yöntemleri (Arnold & Allen, 1999; Lyne & Hollick, n.d.; Nathan, 1990) ve
- Doğrusal olmayan taban akışı ayırma yöntemleridir ((Aksoy et al., 2011; Wittenberg, 1999, 2003).
- Ayrıca regresyon analizi yaklaşımı ile taban akışını tahmin eden çalışmalar da bulunmaktadır (Zaifoğlu, 2013).

Bu çalışmada Samsun/Kürtün Irmağının baz akımlarını elde etmek için ortalama akım verileri ( $m^3/s$ ) kullanılmıştır. Akım verilerinin periyodu 1964-2020 yıllarını kapsamaktadır. İlgili yıllar arasında baz akımı, çizilen debi-süre eğrisi (zamanın %95'inde var olan) yardımıyla elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile baz akımının yıllara göre değişimi literatürden farklı olarak Mann (1945)-Kendall (1975) trend yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alan Samsun şehri, Türkiye'nin en kalabalık on altıncı, Karadeniz bölgesinin ise en kalabalık şehridir. Kuzeyinde Karadeniz, doğusunda Ordu, güneyinde Tokat ve Amasya, batısında ise Çorum ve Sinop illeri yer almaktadır. Çalışma alanı Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı

Samsun'un Kavak ilçesinin sınırlarından başlayan (1100 metre rakımda) Kürtün Irmağı, Samsun il merkezinden Karadeniz'e dökülmektedir. 259  $km^2$  yağış alanına sahip ırmağın, ana akarsu boyu 47  $km$ 'dir ve yıllık ortalama akımı 47  $hm^3$ 'dür (Bakanlık, 2020).

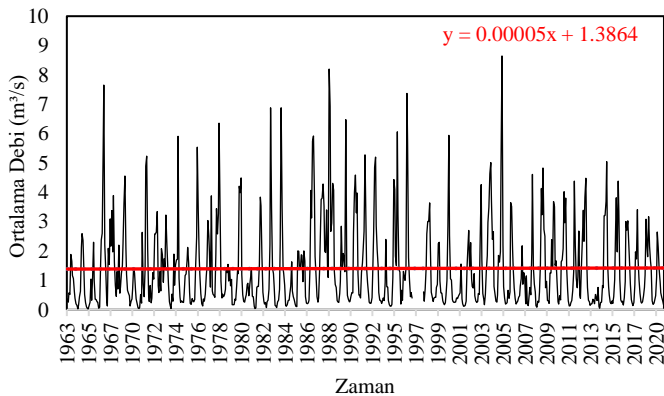
## 2.1. Materyal

Bu çalışmada Samsun ili Kürtün Irmağı üzerinde yer alan (Türkiye'nin 14 No'lu Yeşilirmak Havzası'nda yer alan ve D14A014 No'lu Samsun-Ankara karayolunun 11. kilometresindeki Çağlayan Mevkiinde) akım gözlem istasyonunun (koordinatları: 41°17'10"D, 36°11'43"K, Rakım 140 m) günlük, aylık ve yıllık ortalama akım verileri (m<sup>3</sup>/s) kullanılmıştır. İlgili veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'den temin edilmiştir. Kullanılan veriler 1964-2020 (55 yıl) yıllarını kapsamaktadır. Aylık ortalama akım verilerine ait temel istatistik bilgileri Tablo 1'de yer almaktadır. Ayrıca verilere ait gidiş grafiği Şekil 2'de yer almaktadır.

Tablo 1. Kürtün istasyonu aylık ortalama akım verilerine (m<sup>3</sup>/s) ait temel istatistik bilgileri

Aylar	Ortalama Akım	Maksimum Akım	Minimum Akım	Standart Sapma	Çarpıklık Katsayısı	Basıklık Katsayısı
Eki	0.53	8.20	0.03	1.12	6.11	41.24
Kas	0.73	6.93	0.09	1.02	4.52	25.21
Ara	1.14	4.44	0.26	0.89	1.45	2.35
Oca	1.60	4.13	0.31	1.12	0.97	-0.29
Şub	2.05	4.85	0.20	1.05	0.51	0.31
Mar	3.31	7.36	0.51	1.70	0.38	-0.51
Nis	2.93	8.65	0.37	1.80	1.05	1.15
May	2.05	6.48	0.31	1.36	1.45	1.88
Haz	1.10	3.98	0.22	0.72	1.91	4.72
Tem	0.66	3.88	0.06	0.67	3.38	13.55
Ağu	0.39	2.68	0.04	0.43	3.42	14.62
Eyl	0.36	2.20	0.04	0.40	3.51	13.74

Tablo 1 incelendiğinde, en düşük akımların 0.03 m<sup>3</sup>/s ile ekim aylarında görülmesine rağmen en düşük ortalama akımlar ağustos (0.39 m<sup>3</sup>/s) ve eylül (0.36 m<sup>3</sup>/s) aylarında görülmektedir. Maksimum akım verileri de göz önüne alındığında ırmağın en kurak ayları ağustos-eylül aylarıdır. Irmağın en yüksek akımlarının görüldüğü ay ise nisan aylarıdır. Benzer şekilde en fazla standart sapmanın görüldüğü ay nisan ayıdır. Nisan ayında görülen bu durum yağış rejiminden kaynaklanmaktadır. İrmakta gözlemlenen yıllık ortalama akım değeri 1.40 m<sup>3</sup>/s'dir. Verilerin çarpıklık katsayıları incelendiğinde, tüm aylarda dağılımın normal dağılıma göre sağa çarpık (çarpıklık katsayısı>0) olduğu görülmektedir. Benzer şekilde basıklık katsayısı incelendiğinde aralık-mayıs aylarında normal dağılıma göre basık, diğer aylarda sivri bir dağılım görülmektedir.



Şekil 2. Aylık ortalama akım verilerine ait gidiş grafiği

Şekil 2 incelendiğinde, ortalama akım verilerinin lineer grafiği artan yöndedir. Ayrıca 1997 yılına ait akım kayıtları bulunmadığı için çalışmada 1997 yılına ait baz akım hesaplamaları yapılamamıştır.

## 2.3. Metot

### 2.3.1. Debi-Sürek Eğrisi ve Taban Akım Hesabı

Bu çalışmada taban akımı, debi-sürek eğrileri kullanılarak elde edilmiştir. Debi süre eğrisi, seçilen bir zaman birimindeki debi miktarının zamanla nasıl değiştiğini gösteren bir grafikdir (Saka & Yüksek, 2017). Debi-sürek eğrisinden faydalanılarak, debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak, düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri yerleştirilerek debi-sürek eğrisi elde edilmektedir (Bayazıt, 1999; Bahattin Yanık & Avcı, 2005)

Ortalama akımların debi-sürek eğrisi, akım-güven ilişkisine dayanır. Debi-sürek eğrileri elde edilen akım verilerinin küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla yapay sıralı hale getirilir. Yapay sıralı akım verilerinin mertebesi (m) belirlenir. Mertebe yapay sıralı akım verilerinin en küçüğüne 1 değeri verilmek üzere, akım verisi sayısı kadar devam ettirilir. Ardından veri sayısı (N) ve mertebe (m)'ye bağlı olarak güven (g) değerleri yüzdesel olarak hesaplanır. Her bir mertebe için güven değeri Denklem 1 yardımıyla elde edilir (Demir, 2020; Şen, 2009).

$$g = \frac{m}{N + 1} \quad (1)$$

Güven değerleri her bir mertebe için elde edildikten sonra akım-güven veya akım-sürek grafiği çizilir (Saka & Yüksek, 2017). Çizilen grafik üzerinden aşılma ihtimali yüksek olan (%95) küçük debiler taban (baz) akımını temsil etmektedir (Yanık, 2004). Ayrıca baz akım hesabında günlük ortalama akımlar kullanılmalıdır (Saka & Yüksek, 2017; Saphoğlu & Mesut, 2010). Bu nedenle günlük ortalama akımlar kullanılarak yıllara göre baz akım değerleri elde edilmiştir.

### 2.3.2. Mann-Kendall (MK)

Mann-Kendall istatistiği "S" hesaplandıktan sonra aşağıda yer alan denklemler kullanılarak MK "Z" değeri hesaplanır (Denklem 2-5). Hesaplanan Z değeri de belirlenen olasılık anlamlılık düzeylerine göre normal dağılım çizelgesindeki standart Z değerleriyle karşılaştırılır (Mann, 1945; Kendall, 1975).

MK testi için ilk olarak "S" yani MK test istatistiği toplam değeri hesaplanmalıdır. Bu amaçla veri sütunları ilk ölçüm tarihinden son ölçüm tarihine sıralanmalıdır (i=1,...,N-1'e kadar sıralanmış xi veri sütunu ile j=i+1,...,N'e kadar sıralanmış xj veri sütunlarını oluşturacak şekilde). Ardından, xi veri sütunu başlangıç olarak kullanılır ve diğer sıralanmış xj ile Denklem 2'deki signum fonksiyonu kullanılarak Denklem 3'teki "S" değeri hesaplanır. Bu işlemler sonucunda tüm veri çiftlerinin farkı (xj-xi) ile pozitif ve negatif değerlerin sayısının toplamı bulunmuş olur (Demir & Keskin, 2020; Yagbasan, Demir, & Yazicigil, 2020).

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Eğer } x_j > x_i \\ 0; & \text{Eğer } x_j = x_i \\ -1; & \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$



$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Veri sayısı “N” olmak üzere  $N > 10$  ise seriler için varyans hesabı yapılır (Denklem 4) ve yaklaşık olarak normal dağılıma uygun olduğu öngörülür. Varyans hesaplandıktan sonra, Denklem 5’te “S” sınırlarına göre güven aralığı değeri “Z” hesaplanır. Hesaplanan Z değeri, belirlenen olasılık düzeylerine karşılık gelen normal dağılım tablosundaki standart Z değerleriyle karşılaştırılır (Yu et al., 1993).

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{P'} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

Denklem 4’te P’; serideki bağlı grupların sayıları,  $t_i$ ; i uzunluğundaki bir seride bağlı gözlemlerin sayısını ifade etmektedir.

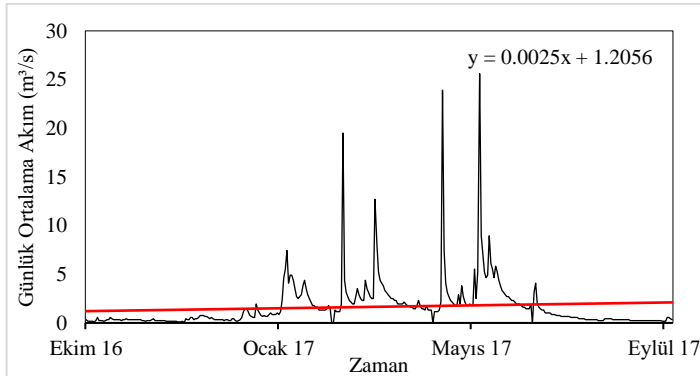
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S > 0 \\ 0; & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trendin olup olmadığı ise Normal dağılımın Z değerleri ile belirlenir. Denklem 5 yardımıyla hesaplanan Z değeri,  $\alpha$  anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın  $Z_{1-\alpha/2}$  değerinden büyük olduğu durumlarda sıfır hipotezi ( $H_0$ ) kabul edilmemektedir. Başka bir ifade ile, zaman serisinde bir eğilimin söz konusu olduğu sonucuna varılmaktadır. Benzer şekilde Z değeri, dağılım çizelgesindeki  $Z_{1-\alpha/2}$  değerinden küçük olduğu durumlarda ( $H_0$ ) kabul edilmektedir ve zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin olmadığı anlaşılmaktadır. (S) değeri pozitif hesaplanırsa, incelenen olayda artan yönde, negatif hesaplanırsa azalan yönde bir eğilim olduğu sonucuna varılır (Kendall, 1975; Mann, 1945).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

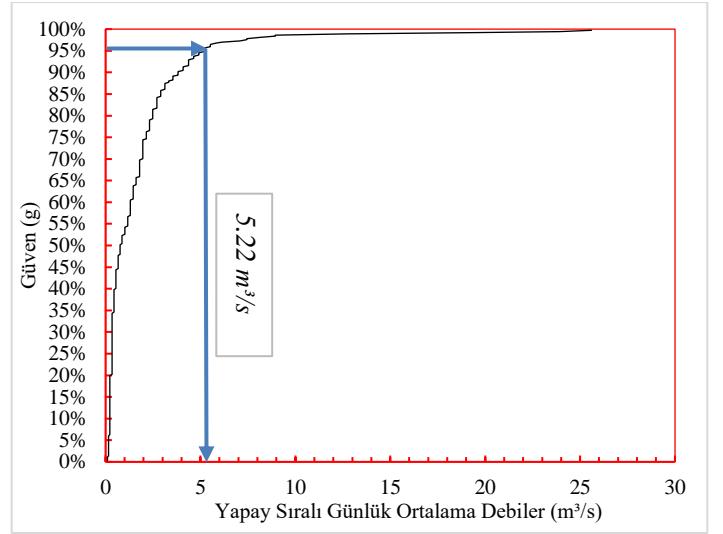
#### 3.1. Kürtün Irmağı Baz Akım Değerlerinin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, Kürtün Irmağı’na ait günlük ortalama akımların debi-süreke eğrileri çizilmiş ve zamanın %95’inde meydana gelen akım, baz akım olarak alınmıştır (Şekil 4). İlgili işlemler 1964-2020 yılları arasında tekrarlanarak yıllara göre baz akım değerleri (Tablo 2) ve değişim grafiği elde edilmiştir (Şekil 5). Örnek olarak 2016 yılına ait günlük ortalama debi-gidiş eğrisi Şekil 3’te yer almaktadır.



Şekil 3. Günlük ortalama akım verilerine ait gidiş grafiği

Akım verileri su yılı Ekim ayında başlar ve Eylül ayında son bulur. Kürtün Irmağı’na ait debi-süreke eğrisi ise Şekil 4’te yer almaktadır.

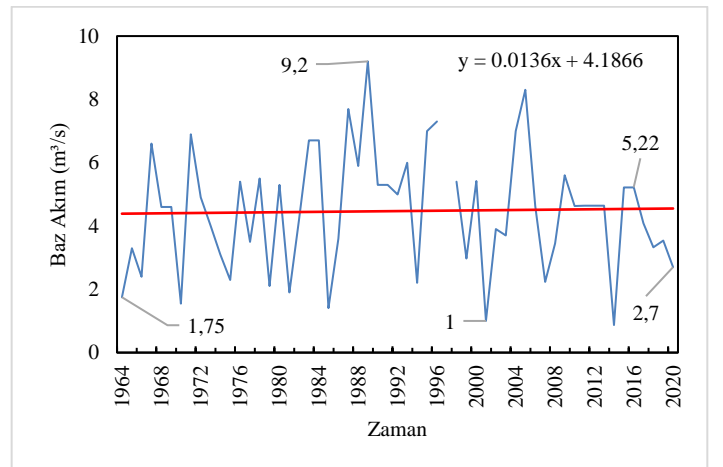


Şekil 4. Günlük ortalama akım verilerine ait debi-süreke eğrisi

Şekil 4’te zamanın %95’inde var olan debi okunmuş ve 5.22 m³/s olarak belirlenmiştir. Diğer yıllara ait baz akım değerleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Baz akım değerleri (m³/s)

Yıl	Baz Akım	Yıl	Baz Akım	Yıl	Baz Akım
1964	1.75	1983	6.7	2002	3.9
1965	3.3	1984	6.7	2003	3.7
1966	2.4	1985	1.4	2004	7.0
1967	6.6	1986	3.6	2005	8.3
1968	4.6	1987	7.7	2006	4.63
1969	4.6	1988	5.9	2007	2.23
1970	1.55	1989	9.2	2008	3.45
1971	6.9	1990	5.3	2009	5.6
1972	4.9	1991	5.3	2010	4.63
1973	4.0	1992	5.0	2011	4.64
1974	3.1	1993	6.0	2012	4.64
1975	2.3	1994	2.2	2013	4.64
1976	5.4	1995	7.0	2014	0.87
1977	3.5	1996	7.3	2015	5.22
1978	5.5	1997	---	2016	5.22
1979	2.1	1998	5.4	2017	4.09
1980	5.3	1999	2.97	2018	3.33
1981	1.9	2000	5.42	2019	3.54
1982	4.2	2001	1.0	2020	2.70



Şekil 5. Günlük ortalama akım verileri ile elde edilmiş baz akımlarına ait gidiş grafiği

### 3.2. Baz Akımlarının Trend Analizi

Elde edilen baz akım değerlerinin eğilimini belirlemek için Mann-Kendall trend testi kullanılmıştır. Analizler güven aralığının %95'lik kısmında gerçekleşmiştir. Tablo 2'de yer alan verilerin MK Z hesap değeri **0.190**'dır. Hesap değerinin işareti pozitif olduğu için artan bir eğilim söz konusudur fakat bu değer sınır değer olan  $\pm 1.96$ 'dan düşük olması nedeniyle istatistiksel olarak anlamsızdır.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Samsun ili Kürtün Irmağı'nın 1964-2020 (55 yıl) baz akım değerleri debi-sürek eğrisi kullanılarak yıllara göre elde edilmiştir. Elde edilen debi değerlerinin eğilimini test etmek için MK trend analizi kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde uzun dönem taban akım değerinin **4.47** m<sup>3</sup>/s, en düşük taban akımının 1 m<sup>3</sup>/s (**2001 yılı**) ve en yüksek taban akım değerinin 9.2 m<sup>3</sup>/s (**1989 yılı**) olduğu tespit edilmiştir. Akım verilerinin ve baz akımların lineer gidiş grafiği artan yöndedir (Şekil 2, 3 ve 5). MK trend analizine göre ise taban akımları artan bir eğim gösterse de bu eğilim istatistiksel olarak güven aralığında kaldığı için anlamlı olmamaktadır.

### 5. Teşekkür

Yazarlar akım verilerinin temin edilmesinde yardımlarından dolayı DSİ 7. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür etmektedir.

### Kaynakça

- Aksoy, H., Kurt, I., & Eris, E. (2009). Filtered smoothed minima baseflow separation method. *Journal of Hydrology*, 372(1–4), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.037>
- Aksoy, H., Unal, N. E., & Pektas, A. O. (2008). *Smoothed minima baseflow separation tool for perennial and*. 4476(June), 4467–4476. <https://doi.org/10.1002/hyp>
- Aksoy, H., Wittenberg, H., Aksoy, H., & Wittenberg, H. (2011). *Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow*. 6667. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.553614>
- Arnold, J. G., & Allen, P. M. (1999). Automated Methods For Estimating Baseflow And Ground Water Recharge From Streamflow Records1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 411–424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03599.x>
- Bakanlık. (2020). *Yeşilirmak Havzası Taşkın Yönetim Planı*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın Yönetim Planları/1\) Yeşilirmak Havzası Taşkın Yönetim Planı.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın Yönetim Planları/1) Yeşilirmak Havzası Taşkın Yönetim Planı.pdf)
- Bayazit, M. (1999). *Hidroloji*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Castellari, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A., & Brath, A. (2004). Regional flow-duration curves: Reliability for ungauged basins. *Advances in Water Resources*, 27(10), 953–965. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.08.005>
- Chow, V. T., Maidement, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Water Resources and Environmental Engineering.
- Demir, V. (2020). *Samsun Mert havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi*. Ondokuz Mayıs e-ISSN: 2148-2683

- Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2020). Water level change of lakes and sinkholes in Central Turkey under anthropogenic effects. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3–4), 929–943. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03347-5>
- Hornberger, G.M., Raffensperger, J. P., Wiberg, P. L., & Eshleman, K. N. (1998). *Elements of physical hydrology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 302pp.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Chtirles Griffin.
- LeBoutillier, D. W. (1993). A stochastic model of flow duration curves. *Water Resources Research*, 29(10), 3535–3541. <https://doi.org/10.1029/2003WR002524>
- Linsley, R. K., Jr., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H. (1949). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill: New York.
- Lyne, V. D., & Hollick, M. (n.d.). Stochastic time-variable rainfall runoff modeling. *Hydro. and Water Resources Symposium Institution of Engineers*, 89–92.
- Mann H B. (1945). “Non-parametric tests against trend.” *Econometrica*, 13(3), 245–259.
- Nathan, R. J. (1990). *Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses*. 26(7), 1465–1473.
- Özdemir, H. (1978). *Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi*. DSİ Matbaası, Ankara.
- Piggott, A. R., Moin, S., & Southam, C. (2005). A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow / Une approche améliorée de la méthode de l ' UKIH pour le calcul de l ' écoulement de base A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow. *Hydrological Sciences Journal ISSN:*, 50(5), 911–920. <https://doi.org/https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.911>
- Saka, F., & Yüksek, Ö. (2017). Regionalisation of discharges having certain exceedance probabilities and Eastern Black Sea Basin sample. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 335–342. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.322154>
- Saplıoğlu, K., & Mesut, Ç. (2010). Taban Akışı Ayrımı İçin Bir Yöntem. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5(4), 580–589.
- Searcy, J. K. (1959). *Flow-duration curves*. <https://doi.org/10.3133/wsp1542A>
- Şen, Z. (2009). *Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları.
- Şenocak, S., & Taşçı, S. (2020). Çoruh Havzası Taban Akışının İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yuvarlatılmış Minimumlar Yöntemi ile Belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 123–133. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.655870>
- Tallaksen, L. M. (1995). A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165(1–4), 349–370. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)02540-R](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)02540-R)
- Warnick, C. C. (1984). *Hydropower Engineering*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Wittenberg, H. (1999). *Base flow recession and recharge as nonlinear storage processes Abstract*: 726(August 1998), 715–726.
- Wittenberg, H. (2003). *Effects of season and man-made changes on baseflow and flow recession: case studies*. 2123(April 2001), 2113–2123. <https://doi.org/10.1002/hyp.1324>
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazıcıgil, H. (2020). Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey. *Water*, 12(2), 414. <https://doi.org/10.3390/w12020414>

- Yanık, B. (2004). *Doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde bölgesel analiz yaklaşımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yanık, Bahattin, & Avcı, İ. (2005). Bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi. *İtüdergisi*, 4(5), 19–30.
- Yu, Y.-S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61–80. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90156-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4)
- Zaifoğlu, H. (2013). *Fırat Akarsu Havzası İçin Topoğrafik ve Hidrometeorolojik Veriye Dayanan Taban Akışı Ayırma Modeli*. Fen Bilimleri Enstitüsü İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.



# Developing Algorithm for Random Distribution of Nanomaterials

Umut Çalışkan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8043-2799), [ucaliskan@erciyes.edu.tr](mailto:ucaliskan@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916108)

**ATIF/REFERENCE:** Çalışkan, U. (2021). Developing Algorithm for Random Distribution of Nanomaterials. *European Journal of Science and Technology*, (24), 508-514.

## Abstract

In this study, a new algorithm was developed for the random distribution of the nanomaterials in the polymer matrix to model realistic behavior of polymer nanocomposites. The study focused on the development of this algorithm rather than the modeling of nanocomposites as a finite element method. The multi-scale method with a representative volume element (RVE) is generally used for numerical modeling of nanomaterials and polymer nanocomposites. The researchers investigate the effect of the reinforcement material and the reinforcement mechanism has not been fully explained both numerically and experimentally. The success of numerical studies is also very important to specify the effect of reinforcement mechanism in experimental studies. For this reason, an algorithm was developed to model the realistic distribution of nanomaterials in the polymer matrix and adapted to numerical studies. The algorithm provided that materials of desired geometric dimensions were randomly positioned within a control volume and did not intersect with each other and the control volume. The algorithm was developed using the Python programming language and the positions of the nanomaterials were transferred to the ABAQUS finite element program using scripting language. Graphene was used as a nanomaterial and epoxy was used as a polymer matrix. Randomly distributed RVE models gave more successful results than single element RVE models. It shows a good agreement with experimental results.

**Keywords:** Random Distribution, Algorithm, Nanomaterials, Graphene.

## Nanomalzemelerin Rastgele Dağılımı İçin Algoritma Geliştirilmesi

### Öz

Bu çalışmada, polimer nanokompozitlerin gerçekçi davranışını modellemek için nanomalzemelerin polimer matriks içerisindeki rastgele dağılımını sağlayan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma nanokompozitlerin sonlu elemanlar yöntemi olarak modellenmesinden ziyade bu algoritmanın geliştirilmesine odaklanmıştır. Nanomalzemelerin ve polimer nanokompozitlerin sayısal modellenmesine genellikle temsili hacim elemanına sahip çok ölçekli modelleme yöntemi kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin etkisi araştırmacılar tarafından araştırılmakta olup takviye mekanizması hem sayısal hem de deneysel olarak tam olarak açıklanmamıştır. Deneysel çalışmalarda takviye mekanizmasının etkisini anlamak için sayısal çalışmaların başarısı da oldukça önemlidir. Bu nedenle, nanomalzemelerin polimer matrisindeki gerçekçi dağılımını modellemek için bir algoritma geliştirilmiş ve sayısal çalışmalara uyarlanmıştır. Algoritma, istenen geometrik boyutlara sahip malzemelerin bir kontrol hacmi içinde rastgele konumlandırılmasını ve birbirleriyle ve kontrol hacmi ile kesişmemesini sağlamaktadır. Algoritma Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve nanomalzemelerin konumları komut dosyası dili kullanılarak ABAQUS sonlu eleman programına aktarılmıştır. Nanomalzeme olarak grafen ve polimer matriks olarak epoxy kullanılmıştır. Rastgele dağıtılan RVE modelleri, tek elemanlı RVE modellerinden daha başarılı sonuçlar vermiştir. Deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rastgele dağılım, Algoritma, Nanomalzemeler, Grafen.

\* Corresponding Author: [ucaliskan@erciyes.edu.tr](mailto:ucaliskan@erciyes.edu.tr)

## 1. Introduction

Polymer materials reinforced with nanoparticles have recently attracted great attention in both scientific and industrial communities due to their superior properties. Graphene nanoplatelets as an additives material in small volume fractions can be added to improving the mechanical properties of polymers. (Kim et al., 2010; Potts et al., 2011; Geim and Novoselov, 2007; Cho et al., 2006; Tjong, 2006). Researchers have shown an extraordinary interest to graphene as a nano reinforcement due to its extraordinary mechanical properties. Many researches (Georgantzinos et al., 2010; Shokrieh and Rafiee, 2010; Tsai and Tu, 2010; Shokrieh et al., 2012; Shen et al., 2010) have been performed on modeling of graphene sheet to characterize its properties.

Shokrieh et al. (2017) developed a new approach for prediction of the stiffness of polymer nanocomposites with randomly distributed graphene sheets. The finite element and micromechanics methods was used for this approach. They used a finite element method to calculate stiffness of the nanocomposites with nano graphene embedded in a polymer. Structural beam was used to model covalent bond of graphene and continuum solid element was used to model for matrix materials. They used nonlinear spring elements for Van der Waals bonds in the interface region between graphene and polymer. It is impossible to model graphene as real size in the represent volume element. They used a new approach to overcome this issue. Different graphene sheets in the different sizes were used in the represent volume element in the new approach to to predict the stiffness of real size graphene with matrix. The micromechanics approach using finite element method was used to understand the effect of the random distribution. The results of developed model was in good agreement with the experimental ones. Manta et al. (2018) focused to validate the numerical results of graphene/polymer nanocomposite with electrical behaviour using experimental data. The multiscale method with a representative volume element (RVE) was used for aligned and randomly distributed nanoparticles. The material modeling was considered at the micro-level with a user-defined distribution of the unit cell. The direct (DC) and alternate current (AC) was compared the electrical response with a statistical sample. They investigated nanocomposite electrical behavior with different volume fraction and loading frequency. Dai and Mishnaevsky Jr. (2014) studied 3D numerical model of graphene reinforced polymer composites with damage and fracture mechanisms. The inverse modeling technique was used to model the graphene/polymer interface. If the aspect ratio, volume content and elastic properties of graphene/polymer interface layer increases, Young modulus of the nanocomposites increases. Randomly oriented graphene exhibit lower Young modulus and strength comparing with the aligned graphene nanocomposites.

Shokrieh et al., (2014) predicted the mechanical behavior of randomly distributed graphene/polymer nanocomposites using molecular dynamics and micromechanics approach. The nano graphene was investigated in terms of the different length and width dimension. The stiffness of aligned one layer graphene embedded in epoxy was predicted using molecular dynamics approach and the stiffness of randomly distribution graphene epoxy was predicted using micromechanical approach. An experimental set-up was performed to evaluate the capability of

the numerical model. The result of the numerical model was very similar the experimental ones. Hadden et al., (2015) used the multi-scale method to investigated the mechanical properties of graphene/carbon fiber/epoxy hybrid composites. The effect of the graphene volume fraction, epoxy density, and graphene dispersion on the mechanical performance were studied. They developed the multiscale modeling approach with molecular dynamics and micromechanical method. They validated the results with experimental ones. Graphene volume fraction and distribution has a significant influence on the transverse mechanical properties of the hybrid composite. Its effect on axial properties is insignificant. Hussein and Kim, (2018) studied the stiffness of graphene polymer matrix nanocomposites. The study focused on the effect of the matrix modulus on the strain fields. Perfect bonding with graphene and interface of polymer with no agglomeration was considered. The matrix of the nanocomposites played an active role in stiffening with large strains level. Strain energy was measured the effect of the non-uniform strain fields in nanocomposites. They developed novel synthesis methods to enhance the graphene and its interface quality. Pontefisso and Mishnaevsky Jr. (2016) investigated the effect of the morphology, shape and distribution of nanoscale carbon reinforcement in polymers. They developed a new software and approach for the automatic generation of finite element unit cell models of nanocomposites. They studied the effect of curved, zigzagged, snakelike shapes of real carbon nanotubes and graphene on the damage evolution in the computational experiments based on the developed code. The potential of hybrid (carbon nanotubes and graphene) nanocomposites was studied with view on its effect of damage resistance.

The objective of this study is to develop an algorithm for random distribution of nanomaterials in the polymer matrix as graphene/polymer nanocomposites and understand the influence of the random distribution on the mechanical behavior of graphene nanocomposites. The mechanical behavior of nanocomposite was determined using molecular-micro mechanics approach with multi-scale finite element method. The multi-scale model and randomly distributed polymer nanocomposites results were validated using experimental results from literature. The algorithm of random distribution was developed using analytical geometry, engineering mathematics with python scripting language.

## 2. Material and Method

### 2.1. Problem Statement

In computational nanomechanics, the energy of a system including several hundred to billions atoms is evaluated using interatomic potentials. The total potential energy function of an n-body nanostructure, always understood to refer to the configurational potential energy that can be expressed in terms of coordinates of its constituent atoms. The proposed model aims to predict the mechanical behaviour of graphene/polymer nanocomposites more accurately in accordance with the actual behavior. The finite element and micromechanics methods were used to model nanocomposites. The nanocomposites with randomly distributed graphene with real geometric shape was modelled using the representative volume element (RVE) in the polymer matrix. In predicting these behaviors, the use of a graphene nanoparticle aligned within the polymer matrix in the RVE model leads us to wrong conclusions in terms of actual behavior. Therefore, it was planned to get closer results to the

real behavior in the simulations by considering the real graphene distribution in the polymer.

## 2.1. Modeling Method

### 2.1.1. Molecular Structural Mechanics and Graphene

In this section, the modeling techniques of graphene geometry, molecular structural mechanics and RVE are explained. Figure 1 shows the one layer graphene sheet with atoms and C-C bonds.

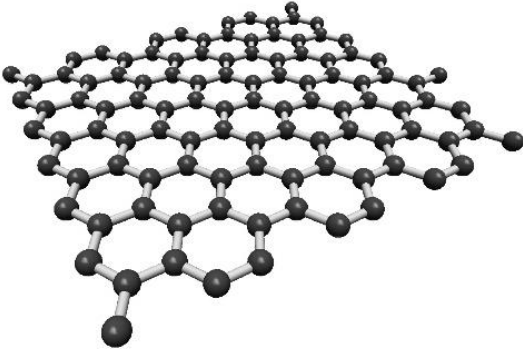


Figure 1. Graphene sheet

Shokrieh et al. (2017) simulated the mechanical response of graphene/polymer nanocomposites and used modeling technique in the atomistic scale. They used structural beam elements to model the covalent bonds (Carbon-Carbon bonds, CC) between the carbon atoms (Figure 2). The variation of potential energies between atoms was related to the stress energies of the structural beams. The relationships obtained by their methods are as follows:

$$\frac{EA}{L} = k_r, \quad \frac{EI}{L} = k_\theta, \quad \frac{GJ}{L} = k_\tau, \quad (1)$$

where  $k_r$ ,  $k_\theta$  and  $k_\tau$  represent the bond stretching force constant, bond bending force constant and bond torsional resistance. Moreover, E, G, A, I, J and L are the Young's modulus, shear modulus, cross section area, second moment of area and polar moment of area of the equivalent beam, respectively.

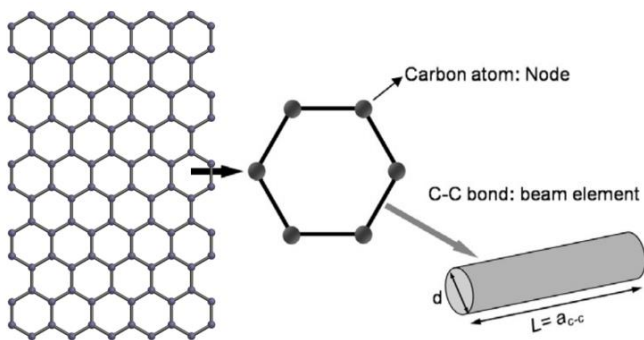


Figure 2. Model of graphene sheet as a space-frame structure.

A circular cross section was considered for the beam elements. According to Amber force field which is related molecular mechanics parameters with E, G and diameter (d) of the beam elements can be applied in structural mechanics modelling (Shokrieh et al., 2017):

$$d = 4 \sqrt{\frac{k_\theta}{k_r}}, \quad E = \frac{k_r^2 L}{4\pi k_\theta}, \quad G = \frac{k_r^2 k_\tau L}{8\pi k_\theta^2} \quad (2)$$

Table 1. AMBER force field parameters.

Parameter	Value
$k_r, (938 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ \AA}^{-2})$	$6.52 \times 10^{-7} \text{ N nm}^{-1}$
$k_\theta, (126 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ rad}^{-2})$	$8.76 \times 10^{-10} \text{ N nm}^{-1} \text{ rad}^{-2}$
$k_\tau, (40 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ rad}^{-2})$	$2.78 \times 10^{-10} \text{ N nm}^{-1} \text{ rad}^{-2}$

The finite element method was applied to this formulation to solve the system of matrices. Each node has six degrees of freedom (DOF), three translational (x, y, z) and three rotational degrees of freedom (DoF).

### 2.1.2. Represented Volume Element, RVE

In this study, molecular structural modelling considers the Euler-Bernoulli beam element. This beam element are using the elastic parameters such as E and G and also on diameter which are obtained from molecular structural modelling method. A space-frame structure model was used to model the beam element and geometrical modeling through coordinates of carbon atoms in its molecular structure. The coordinates of atoms were taken from a nanomaterial-modeling program.

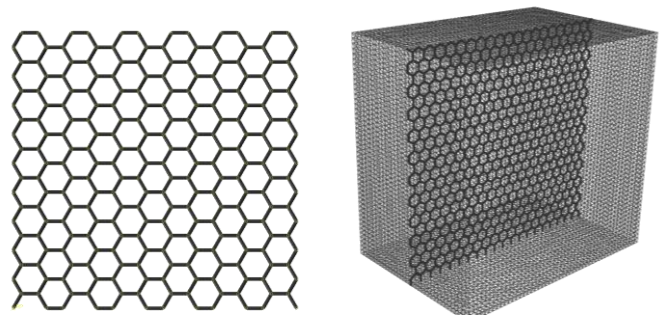


Figure 3. RVE model

The main purpose of multi-scale modelling of nanocomposites is to analyse of a representative of the material system (Figure 3). In this study, different types of RVEs were used which include one layer graphene and randomly distributed graphene in the same weight fraction ratios.

## 2.2. Random Distribution Algorithm

Random distribution algorithm was developed to simulate realistic behaviour of graphene nanocomposites. This algorithm was generated using Python programming language. Figure 4 shows the flow chart of random distribution algorithm. The random distribution algorithm of nanoparticles in a polymer matrix without intersection each other was created with the following steps:

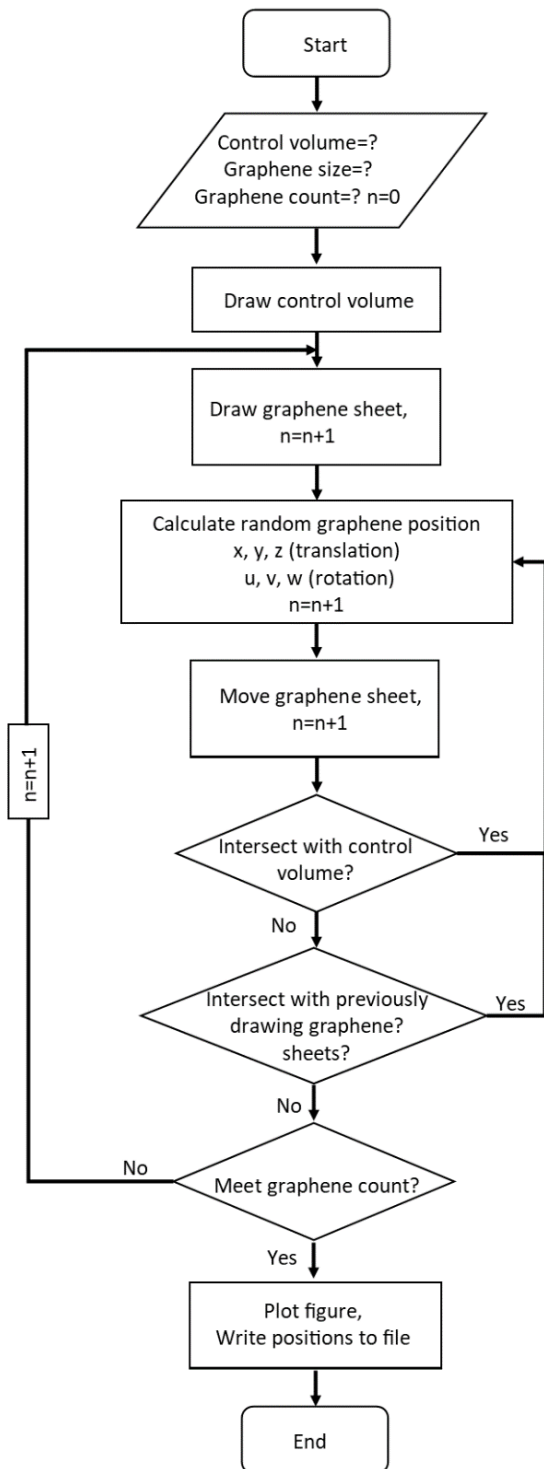


Figure 4. Flow chart of random distribution algorithm

- **Input step:** Input informations are needed for algorithm logic to work. The algorithm requests from the user for the dimensions of the initial control volume as input. Then it requests for the graphene dimensions as 3D. Finally, the graphene count that is calculated according to the determined volume fraction is needed.
- **Drawing step:** According to the control volume dimensions received as input from the user, a center in 3-dimensional space is determined. Control volume in the study means polymeric representative volume

element. According to this determined center, the control volume is drawn as a rectangular prism. Then, the 3D shape as graphene in this study is drawn in the center according to the particle sizes taken from the user.

- **Generating random coordinate step:** In this stage, random coordinates need for the positioning of the drawn geometries within the control volume. Three translation coordinates along the x, y and z axes and three rotation angles around the x, y and z axes whose boundaries are within the control volume are randomly generated.
- **Moving step:** Graphene particles in the center of the control volume are positioned according to randomly generated coordinates considering reference point in the center of the graphene particles.
- **Checking intersection step:** The steps of the developed algorithm up to this step include classical methods. After the graphene nanoparticle is positioned randomly within the control volume, it is necessary to check whether any of graphene cross-sections intersect with the control volume. And then, the same calculation need to be checked again if a graphene was drawn and positioned before it. The intersection control of the graphene sections by using the algorithm of passing a line through another surface in space was performed. At this stage, the coding logic controls the intersection of a line of the geometric shape and a surface. Figure 5 shows this algorithm logic. Here, the triangle shape represents a surface divided in two triangle of the rectangular prism.

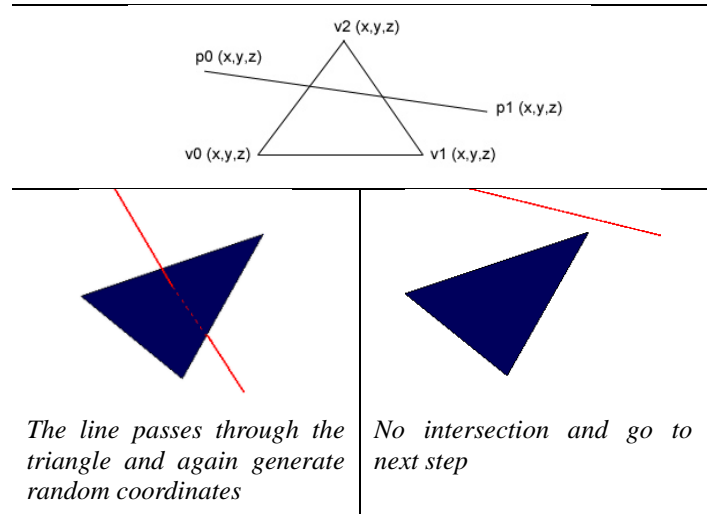


Figure 5. Checking intersection of a surface with a line.

If there is an intersection during the checks, the random coordinates are regenerated. For the graphene positioned according to the randomly generated coordinates, the case of intersections in the early stages is less. As the generated graphene increases, available coordinate will be determined in higher trials. However, these trials take a very short time in terms of computer language. Because the control processes will be repeated for all previously generated graphenes and control volume. As the graphene count taken from input stage is reached, the generation process stops.

- **Output step:** The coordinates according to the written algorithm are imported into a text file. In this way, the output file is adapted to the numerical model and the graphene particles are randomly distributed. Figure 6 shows an example for running and plotting code.

```

Current Randomly Located Graphene Count = 93, Try Count = 1
Current Randomly Located Graphene Count = 94, Try Count = 20
Current Randomly Located Graphene Count = 95, Try Count = 5
Current Randomly Located Graphene Count = 96, Try Count = 14
Current Randomly Located Graphene Count = 97, Try Count = 39
Current Randomly Located Graphene Count = 98, Try Count = 29
Current Randomly Located Graphene Count = 99, Try Count = 28
Current Randomly Located Graphene Count = 100, Try Count = 48
X Coordinate   Y Coordinate   Z Coordinate   Rotation X     Rotation Y     Rotation Z
9.40221538    22.92387276   76.99275757   81.53493789   98.03534832   50.25258369
71.70720850   84.80557197   52.14513188   61.26660283   124.86296432   63.26099669
21.23248686   76.59720416   72.31049788   154.37444263   99.47477859   146.70819100
80.39292451   47.72372442   33.04708375   73.16211501   8.35380259   96.48537607
60.60920914   67.74163606   47.00816631   80.60780105   58.59523454   1.37670027
44.68299446   31.97438804   37.48001412   52.37133999   103.16582753   9.40412822
36.38419850   56.69216783   42.05020839   74.89654666   109.92749182   153.51473018
65.45090434   43.50077786   41.11848338   22.88417739   56.81827558   71.48252713
36.32009700   41.27658296   54.49062218   121.99660782   154.91714379   170.33077973
86.39546384   39.14152743   32.97871950   55.38659341   81.86451415   20.53546009
30.78143624   17.40075477   46.02682045   153.83654848   160.32022425   9.40313410
21.87478831   19.45826985   71.06848066   76.99915199   74.69687916   123.24198386
56.33504476   91.74096838   29.31963232   87.33988730   88.81802322   156.11249375
    
```

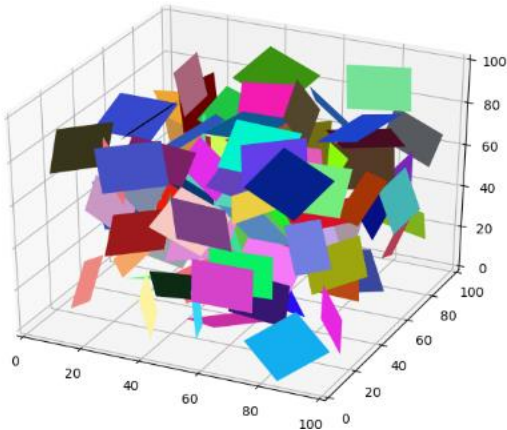
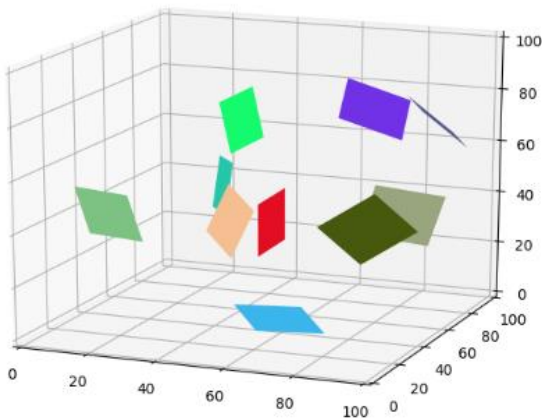
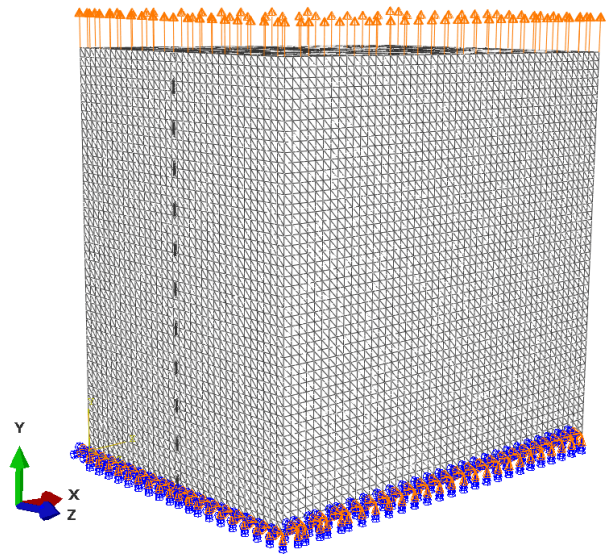


Figure 6. Running and plotting code

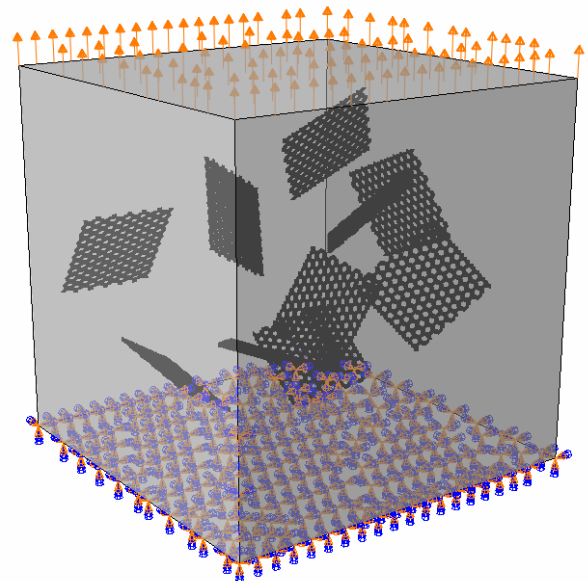
### 3. Results and Discussion

In this study, the polymer region was modelled as a continuum phase with tetrahedron mesh algorithm. Tensile behavior was investigated to understand the effect of random distribution of graphene nanomaterials. The experimental results were obtained by taking a current study from the literature. In this way, numerical results can be compared with the experimental ones. In the numerical analysis, tensile force was applied from the top surface of the RVE and bottom surface of the RVE was fixed. Figure 7 shows the RVE models as single and randomly distributed graphene/epoxy nanocomposites. The outputs of the

developing algorithm in this study are applied to the RVE model in Figure 7 b. The graphene nanoparticles are randomly distributed within the polymer epoxy without any intersections.



a) Single graphene/epoxy nanocomposite



b) Randomly distributed graphene/epoxy nanocomposite

Figure 7. RVE model of single and randomly distributed graphene/epoxy nanocomposites

Since the study from the literature (Heidarhaei et al., 2020) was considered, neat, 0.1 and 0.2 wt% graphene/epoxy nanocomposites were modelled using RVE technique. Experimental results were compared with two different numerical models as single and randomly distributed graphene nanocomposites. Figure 8 shows the stress distribution of the randomly distributed graphene nanocomposites. It is clear that from this Figure, loads from the graphene nanoparticles to polymer region or exact opposite were transferred successfully.



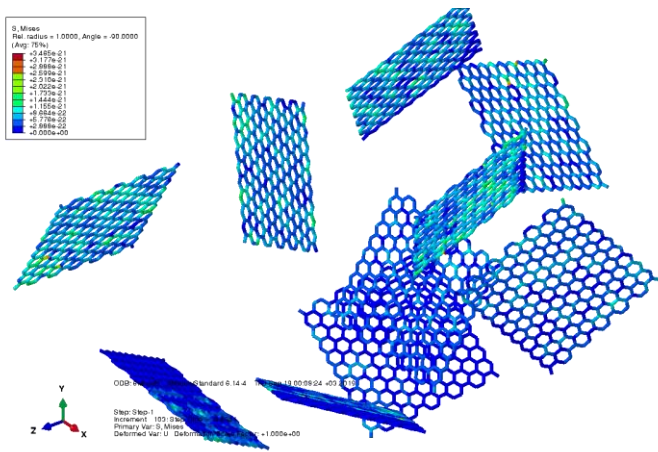
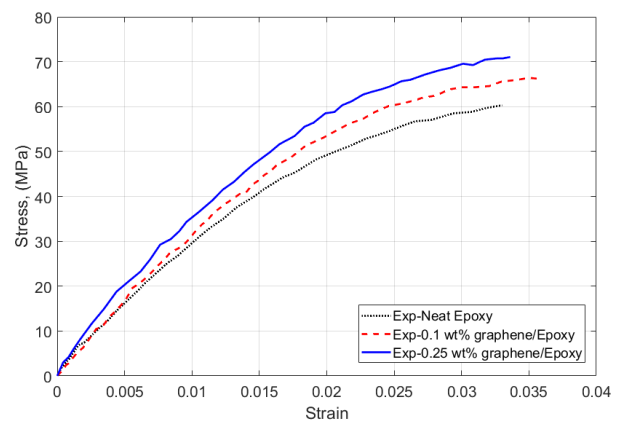


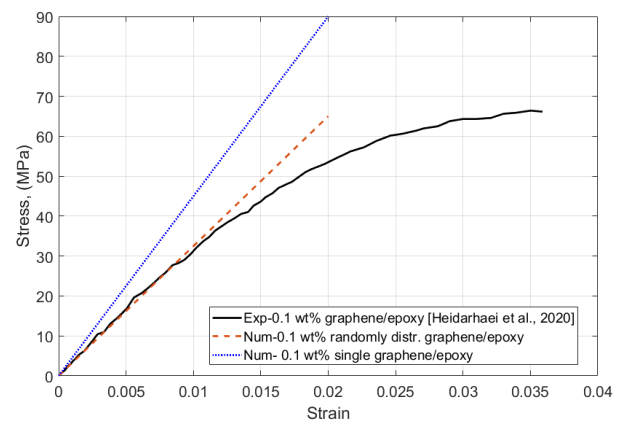
Figure 8. Stress distribution of randomly distributed graphene/epoxy nanocomposites

Figure 9 shows the experimental and numerical stress-strain diagrams of single and randomly distributed graphene nanocomposites. The effect of the graphene reinforcement to neat epoxy is shown in Figure 9 a. There are many studies about this subject in the literature and it seems results are generally no consistent. Because there are many problems in the experimental study, in this case it leads to changes in the results. This problem was overcome by selecting an up-to-date study using advanced experimental methods. According to the results of this study, as the graphene reinforcement increases, tensile strength increases. Figure 9 b shows the experimental and numerical stress-strain behavior under tension load of the 0.2 wt % graphene/epoxy nanocomposites. Numerical study was performed using two different models as single and randomly distributed graphene nanocomposites. Single graphene embedded polymer in weight fraction of 0.1% behaves more rigid and exhibits higher tensile stress as 90 MPa. As the curve trend of numerical results is considered, it is seen that linear behavior occurs. Because the analysis is completely elastic and plastic behavior occurred in the experimental tension test of polymer. However, randomly distributed graphene nanocomposites exhibit more compatible results with experimental ones. Rigidity decreases using randomly distributed graphene in polymer and the maximum tensile stress is 60 MPa for the nanocomposites. Especially in the elastic region, there is quite high similarity with experimental behavior.

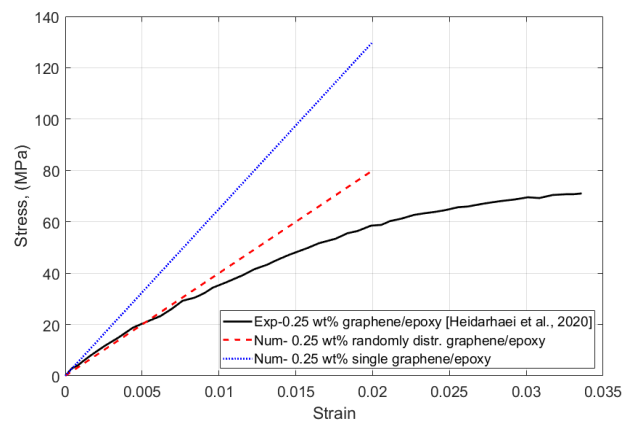
Figure 9 c shows the tensile behavior of 0.25 wt % graphene/polymer nanocomposites. As the maximum tensile stress of single graphene nanocomposites is about 130 MPa, randomly distributed graphene nanocomposites give 80 MPa. In the elastic region, there is a similar trend.



a) Experimental neat and graphene/epoxy nanocomposite (Heidarhaei et al., 2020)



b) Experimental and numerical 0.1 wt % graphene/epoxy nanocomposite



c) Experimental and numerical 0.25 wt % graphene/epoxy nanocomposite

Figure 9. Experimental and numerical stress-strain diagrams for neat, 0.1 and 0.25 wt % graphene/epoxy nanocomposites

## 4. Conclusions and Recommendations

In the present study, a new algorithm related randomly distributed nanomaterials was developed using the finite element and micromechanics methods. This approach is able to predict the tensile behavior of graphene/epoxy nanocomposites with randomly distributed graphene in the polymer. Using the finite element simulation, the polymer matrix was assumed as a continuum phase and using the atomistic modeling approach, each carbon-carbon bond of the graphene sheet was modeled as a structural beam. Random distribution algorithm was developed to simulate realistic behaviour of graphene nanocomposites using Python programming language. To understand the random distribution effect in nanomaterials, it is compared with the RVE model consisting of a single graphene. Two different weight fractions of 0.1 and 0.25% for the graphene reinforcement were used in this study. The RVE model of single graphene behaves more rigid than randomly distributed RVE. All results related with the randomly distributed graphene nanocomposites seem to be in agreement with the experimental results. Developing algorithm can apply for different studies like carbon nanotube nanocomposites or different material type.

## References

- Kim, H., Abdala, A. A. and Macosko, C. W. (2010). Graphene/polymer nanocomposites. *Macromolecules* 43, 6515–6530.
- Potts, J. R., Dreyer, D. R., Bielawski, C. W. and Ruoff, R. S. (2011). Graphene-based polymer nanocomposites. *Polymer* 52, 5–25.
- Geim, A. K. and Novoselov, K. S. (2007). The rise of graphene. *Nat. Mater* 6, 183–191.
- Cho, J., Joshi, M. S. and Sun, C. T. (2006). Effect of inclusion size on mechanical properties of polymeric composites with micro and nano particles. *Compos. Sci. Technol.* 66, 1941–1952.
- Tjong, S. C. (2006). Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites. *Mater. Sci. Eng. R* 53, 73–197.
- Georgantzinos, S. K., Giannopoulos, G. I. and Anifantis, N. K. (2010). Numerical investigation of elastic mechanical properties of graphene structures. *Mater Des* 31, 4646–54.
- Shokrieh, M. M. and Rafiee, R. (2010) Prediction of Young's modulus of graphene sheets and carbon nanotubes using nanoscale continuum mechanics approach. *Mater Des* 31, 790–5.
- Tsai, J. L. and Tu, J. F. (2010). Characterizing mechanical properties of graphite using molecular dynamics simulation. *Mater Des* 31:194–9.
- Shokrieh, M. M., Shokrieh, Z. and Hashemianzadeh, S. M. (2012). Effective parameters in modeling of graphene sheet Young's modulus. *Modares Mech Eng* 12, 147–55.
- Shen, L., Shen, H. S. and Zhang, C. L. (2010). Temperature-dependent elastic properties of single layer graphene sheets. *Mater Des* 31, 4445–9.
- Shokrieh, Z., Seifi, M. and Shokrieh, M. M. (2017). Simulation of stiffness of randomly-distributed-graphene/epoxy nanocomposites using a combined finite element-micromechanics method. *Mechanics of Materials* 115, 16–21.
- Manta, A., Gresil, M., and Soutis, C. (2018). Simulated electrical response of randomly distributed and aligned graphene/polymer nanocomposites. *Composite Structures* 192, 452-459.
- Dai, G. and Mishnaevsky, Jr., L. (2014). Graphene reinforced nanocomposites: 3D simulation of damage and fracture. *Computational Materials Science* 95, 684-692.
- Shokrieh, M. M., Shokrieh, Z. and Hashemianzadeh, S. M. (2014). A novel combined molecular dynamics–micromechanics method for modeling of stiffness of graphene/epoxy nanocomposites with randomly distributed graphene. *Materials and Design* 64, 96-101.
- Hadden, C. M., D. R., Klimek-McDonald, Pineda, E. J., King, J. A., Reichanadter, A. M., Miskioglu, I., Gowtham, S. and Odegard, G.M. (2015). Mechanical properties of graphene nanoplatelet/carbon fiber/epoxy hybrid composites: Multiscale modeling and experiments, *Carbon* 95, 100-112.
- Heidarhaei, M., Shariati, M. and Eipakchi, H. (2020). Experimental and analytical investigations of the tensile behavior of graphene-reinforced polymer nanocomposites, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 27, 2090-2099.
- Hussein, A., kim, B. (2018). Graphene/polymer nanocomposites: The active role of the matrix in stiffening mechanics, *Composite Structures*, 202, 170-181.
- Pontefisso, A., Mishnaevsky Jr., L. (2016). Nanomorphology of graphene and CNT reinforced polymer and its effect on damage: Micromechanical numerical study, *Composites Part B*, 96, 338-349.



# Trend Analysis of Ground-Water Levels and The Effect of Effective Soil Stress Change: The Case Study of Konya Closed Basin

Vahdettin Demir<sup>1\*</sup>, Esra Uray<sup>2</sup>, Osman Orhan<sup>3</sup>, Amir Yavariabdi<sup>4</sup>, Hüseyin Kusetogullari<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> KTO Karatay University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6590-5658), [vahdettin.demir@karatay.edu.tr](mailto:vahdettin.demir@karatay.edu.tr)

<sup>2</sup> KTO Karatay University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1121-2880), [esra.urray@karatay.edu.tr](mailto:esra.urray@karatay.edu.tr)

<sup>3</sup> Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1362-8206), [osmanorhan@mersin.edu.tr](mailto:osmanorhan@mersin.edu.tr)

<sup>4</sup> KTO Karatay University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronic Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6264-5010), [amir.yavariabdi@karatay.edu.tr](mailto:amir.yavariabdi@karatay.edu.tr)

<sup>5</sup> Blekinge Institute of Technology, Department of Computer Science, Karlskrona, Sweden, (ORCID: 0000-0001-7536-3349), [huseyin.kusetogullari@bth.se](mailto:huseyin.kusetogullari@bth.se)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.916026)

**ATIF/REFERENCE:** Demir, V., Uray, E., Orhan, O. Yavariabdi, A. & Kusetogullari, H. (2021). Trend Analysis of Ground-Water Levels and The Effect of Effective Soil Stress Change: The Case Study of Konya Closed Basin. *European Journal of Science and Technology*, (24), 515-522.

## Abstract

Determining the change of the groundwater level, which is one of the hydrological cycle parameters, is very important for the planning, the management of water resources, and economic development. The parametric and the non-parametric trend analyzes are performed to designate the alteration of the hydrological parameters in time. This study focused on trend analyses of the monthly average water levels (mm) of 10 observation stations (181, 182, 8185, 9431, 9434, 10472, 13314, 17171, 52258, 52564) in Konya Closed Basin (between 1978-2020). The parametric Linear Trend method and the non-parametric Mann-Kendall method were utilized in the analyses. In the study carried out at 95% of the confidence interval, it was found that the groundwater levels at all stations showed a statistically decreasing trend, and this trend gradually increased in recent years. At the station where the difference between the maximum and the minimum groundwater level is most noticeable, the effect of change of the groundwater level on the effective earth pressure was investigated. It has been observed that the gradual change of groundwater level occurring in all months of the year between certain years affects the effective stress balance in the soil environment.

**Keywords:** Effective Soil Pressure, Konya Closed Basin, Linear Trend, Mann-Kendall, Trend Analysis, Groundwater Level.

## Yer Altı Su Seviyelerinin Trend Analizi ve Efektif Zemin Gerilmesi Değişimine Etkisi: Konya Kapalı Havzası Örneği

### Öz

Hidrolojik çevrim parametrelerinden biri olan Yeraltı su seviyesinin değişiminin belirlenmesi su kaynaklarının planlanması, yönetilmesi ve ekonomik kalkınma için oldukça önemlidir. Hidrolojik parametrelerin zaman içinde değişimini belirlemek için parametrik ve parametrik olmayan trend analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada Konya Kapalı Havza'sında yer alan 10 adet (181, 182, 8185, 9431, 9434, 10472, 13314, 17171, 52258, 52564) YSS gözlem istasyonunun (1978-2020 yılları arası), aylık ortalama su seviyelerinin (mm) trend analizi yapılmıştır. Analizlerde parametrik yöntemlerden Lineer trend yöntemi ve parametrik olmayan Mann-Kendall yöntemi kullanılmıştır. Güven aralığının %95'lik kısmında gerçekleştirilen çalışmada, tüm istasyonlarda su seviyelerinin istatistiksel olarak azalan yönde eğilim gösterdiği, bu eğilimin son yıllarda giderek attığı tespit edilmiştir. Maksimum ve minimum yeraltı suyu seviyesi arasındaki farkın en belirgin olduğu istasyonda yeraltı suyu seviyesindeki değişimin etkin zemin basıncı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belli yıllar arasında yılın tüm aylarında meydana gelen kademeli yeraltı su seviyesi değişiminin zemin ortamındaki efektif gerilmesi dengesini etkilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Efektif Zemin Basıncı, Konya Kapalı Havzası, Lineer Trend, Mann-Kendall, Trend Analizi, Yeraltı Su Seviyesi.

\* Sorumlu Yazar: [vahdettin.demir@karatay.edu.tr](mailto:vahdettin.demir@karatay.edu.tr)

## 1. Introduction

Water is one of the essential and beneficial substances not only for humans but also for all living things. Creatures provide the freshwater they need to survive from sources such as streams, lakes, seas, etc., or water collected in cavities or cracks in rocks. Humans collect surface water in various ways for their needs like drinking water, sanitation, agriculture, and livestock and transmit it to their community. In areas where there are no surface water formations such as rivers and lakes, the water requirement is met from groundwater. Therefore, especially in arid and semi-arid regions, searching and finding groundwater has been a matter of concern for humans since ancient times. In recent years, the importance given to groundwater research has come to the forefront with the increase in the utilizes of groundwater. Because of the increasing of the factories and the spreading of large areas with the development of the industry surface water resource, which is necessary for cities, have been decreased. This situation has been caused to obtain clean water from underground economically (Erguvanlı et al., 1987).

In a basin, if the amount of water taken from underground is more than the precipitation, flow, and leaking water in the basin, the amount of groundwater level decreases accordingly. Due to decreasing the level of groundwater, difficulties occur in the pumping used in water supply and pumping expenses increase. Besides, the deterioration of the quality of groundwater is seen as a side effect by the reason of the advancement of saltwater from the coast towards the inland regions. Salinity has been reduced agricultural production and agricultural activities and causes the termination of agricultural activities and production over time (Kavurmaci et al., 2010; Kendirli et al., 2005). Drought, desertification, and inefficiency of agricultural lands occur due to insufficient water access.

Hence, the level loss due to the aforementioned effects on the used groundwater level affects the stress equilibrium between soil piece and water. It is possible to occur local failure in soil because of deteriorating soil pressure. By increasing the groundwater level, floods may occur in the soils that become saturated quickly after rains. If dynamic loading like an earthquake happens in the case of groundwater level rise in soils with sand and silt, soil liquefaction carries out through deterioration of equilibrium in the soil environment. As a result of the soil liquefaction, heavy damages have been occurred by turning and sinking of the structure (Figure 1).



Figure 1. The soil liquefaction (URL1, 2021)

Similarly, when the groundwater level falls, the pressure equilibrium on the soil deteriorates and sinkholes may form as a result of collapses (Figure 2) in the earth (Orhan, 2021). It is thought that the sinkhole formations that have recently occurred in the Karapınar Region in the Konya Closed Basin are associated with the fall of the groundwater level (Yılmaz, 2010). These abovementioned cases should be evaluated in terms of the equilibrium of soil stress because of happening formations which may be triggered by changed groundwater level.



Figure 2. A sinkhole in Karapınar (URL2, 2021)

To overcome these problems, it is important to know the depth, chemical properties, and change of groundwater and taking precautions for management and planning of water resources in the direction of obtained pieces of information about groundwater (Kara et al., 2004).

Many studies have been carried out depending on the level and characteristics of the groundwater level. Karataş et al. (2013) investigated the spatial and temporal variation of groundwater salinity and level in Menemen irrigation system using geostatistical methods integrated with GIS. Demir and Kılıç (2012) examined the salinity of 17 groundwater wells used for agricultural irrigation in the Aşağı Kelkit Basin. It is presented in the mentioned study that increasing salinity in groundwater has been reduced the yield of agricultural products.

Çelik et al. (2016) have been examined the water level change of the wells located in Suruç, Akçakale, and Ceylanpınar in Şanlıurfa with the graphs created according to the linear regression analyses. In their studies, they stated that the groundwater level decreased significantly due to unplanned agricultural activities and the groundwater level has been increased with the effect of the Southeastern Anatolia Project (GAP) which is included some regions of the study area. Mutlu (2010) investigated the changes in the water levels of the wells around Konya Karapınar by an outcoming graph that demonstrated the relationship between time and the trend of groundwater level.

Some studies conducted in recent years have identified serious variations in groundwater resources and the reasons for this change have been investigated (Bhattacharya et al., 2020; Bulduk et al., 2008; Chen et al., 2004; Chia et al., 2001; Dinka et al., 2013; Doğdu et al., 2007; Göçmez et al., 2008a; Göçmez et al., 2008b; Hoque et al., 2007; Jakeman et al., 2016; Konikow, 2011; Ma et al., 2005; Scibek et al., 2006; Ustun et al., 2010). The findings show that groundwater level changes stem from two main factors that the first one is climate change (Chen et al., 2004; Konikow, 2011; Scibek et al., 2006) and the second one is agricultural uses (Dinka et al., 2013). However, there are no

studies on the investigation of groundwater level changes in the region by trend analysis as far as is known. For this reason, in this study, trend analysis of the monthly average water levels (mm) of 10 groundwater observation stations (wells) in Konya Closed Basin (181, 182, 8185, 9431, 9434, 10472, 13314, 17171, 52258, 52564) were performed. Analyzes were carried out at 95% of the confidence interval and the Linear Trend (LT) method and Mann-Kendall (MK) method were used. Besides, the groundwater level change that occurred every month of the year between 1978-2019 at station 8185, where the groundwater level is the most critical, was examined in terms of equilibrium in pore water pressure-effective soil stress.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Konya Closed Basin (36 ° 51 'and 39 ° 29' north latitude and 31 ° 36 'and 34 ° 52' east longitude) is located in Turkey's Central Anatolia Region (Figure 3). Basin's area is 4,980,534 hectares, which corresponds to 7% of Turkey's total area. The basin was formed due to the air movements of an old riverbed rising in the middle of Anatolia. Due to its natural topography, it cannot discharge its waters into the sea. It is generally in the form of a flat plain (a height between 900-1,050 m) and forms the main part of the Central Anatolian Plateau. The plain is covered with limestone and volcanic mountainous areas. These mountains also prevent drainage into the sea. The Konya basin is a closed basin, as it can only discharge its waters into lakes, swamps, or semi-marshes (Yılmaz, Demir, & Sevimli, 2020).

The data of the monthly average groundwater level examined in the study were obtained from the General Directorate of State Hydraulic Works. Location information and well depths of the stations are given in Table 1. In Table 2, the statistical properties of the data are given. The long-term average groundwater levels are given in Figure 4.

Table 1. Statistical information for stations

No	Station Number	Max	Min	Mean	SD	SC	Period
1	181	-2.16	-39.1	-9.83	6.9	-1.17	67-20
2	182	-0.3	-29.1	-9.2	7.6	-0.8	67-20
3	8185	-29.9	-87.4	-52.2	15.1	-0.4	67-19
4	9431	-5.3	-39.4	-19.2	7.5	-0.6	67-20
5	9434	-25.5	-72.1	-44.6	12.3	-0.5	67-16
6	10472	-1.4	-35.2	-7.5	5.6	-0.9	67-17
7	13314	-38.3	-86.8	-53.51	13.13	-0.75	67-19
8	17171	-5.4	-41.7	-16.0	9.7	-0.9	67-20
9	52258	-16.8	-65.9	-31.3	13.9	-0.8	67-20
10	62564	-2.3	-45.5	-15.3	12.5	-0.9	67-20

\* SD: Standard deviation, SC: Skewness Coefficient

Apart from the stations listed in Table 1, there are observation wells in the region. However, for trend analysis, it is necessary to have at least 30 years of data (Bayazit, M., Önöz, 2008; Bayazit, 1981). For this reason, station data with a shorter recording length could not be included in the study, considering that it was insufficient in terms of statistical significance. When the skewness coefficients of the stations are examined, it is seen that all stations are skewed to the left (SC<0). Although some stations

requested data until 2020, the data available for the measurement period, not until 2020, were used for reasons such as drying, collapsing, or not being able to measure the relevant wells.

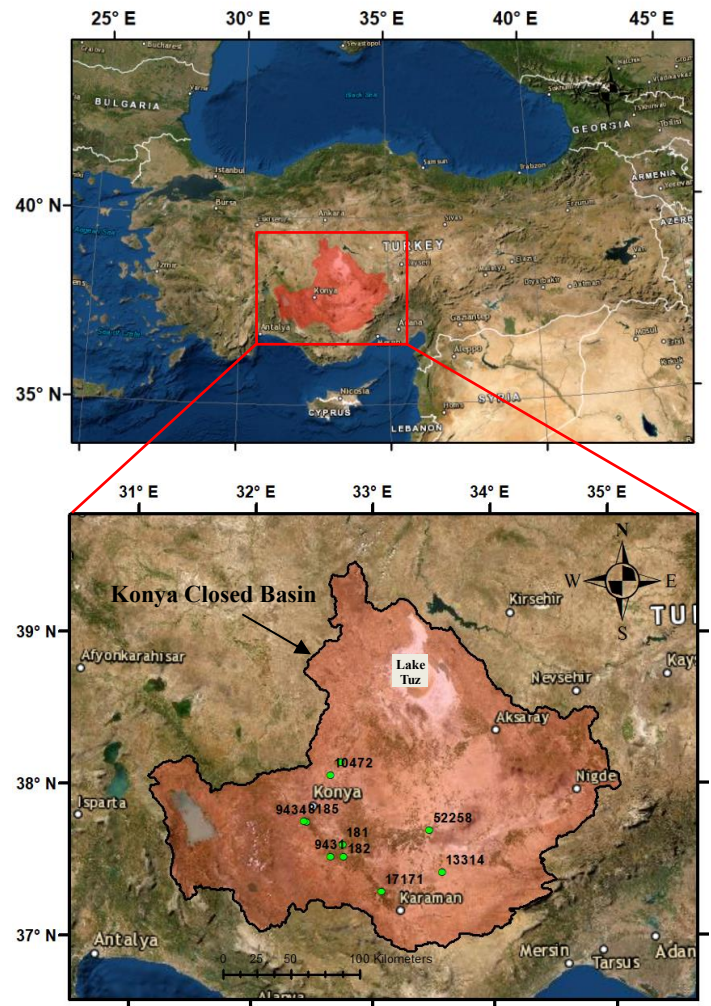


Figure 3. Study area

Table 2. Location information and well depths of stations

No	Station Number	Latitude (E)	Longitude (N)	Altitude (m)	Depth (m)
1	181	478036.2	4163883.2	1011.2	250
2	182	478756.61	4154870.7	1014.3	138
3	8185	449825.27	4181275.3	1050.2	145
4	9431	469336.39	4155060.8	1026.8	81
5	9434	451611.69	4180579.2	1044.5	175
6	10472	468802.71	4214738	1000.9	185
7	13314	550734.9	4143650.5	1034.8	119
8	17171	506261.84	4129275	1011.9	159
9	52258	541540	4174661	1024	173
10	62564	476660.57	4224054.2	988	83

When Table 2 is examined, the well at the highest elevation is the well numbered 8185. The well at the lowest point is the well numbered 62564 with a 988 m surface elevation. While the deepest well in the study area is the well numbered 181, the shallowest well is the well number 9431.

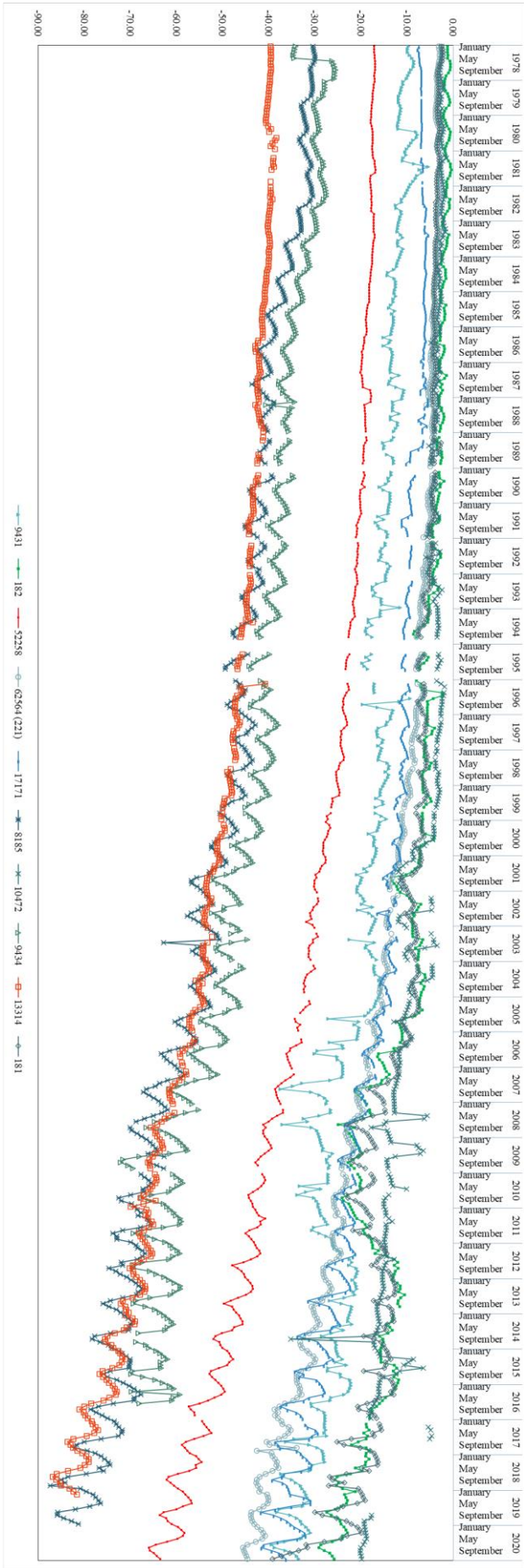


Figure 4. Long-term average groundwater level graphs

## 2.2. Method

Trend analyzes have been carried out to examine the change of underground water levels in Konya Closed Basin. The linear trend method, one of the parametric methods, and the Mann-Kendall method, one of the non-parametric methods, were used in the analyzes.

### 2.2.1. Mann-Kendall (MK)

For the MK test, first, "S", that is, the total value of the MK test statistics should be calculated. For this purpose, the data columns should be sorted from the first measurement date to the last measurement date ( $x_i$  data columns sorted up to  $i = 1, \dots, N-1$  and  $x_j$  data columns sorted up to  $j = i + 1, \dots, N$ ). Then, the  $x_i$  data column is used as the beginning and the "S" value specified in Equation 2 is calculated using the other sorted  $x_j$  and the signum function in Equation 1. As a result of these operations, the difference ( $x_j - x_i$ ) of all data pairs and the sum of the number of positive and negative values are found (V. Demir et al., 2020; Yagbasan et al., 2020)

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } x_j > x_i \\ 0; & \text{if } x_j = x_i \\ -1; & \text{if } x_j < x_i \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

If the number of data is N is greater than 10, the variance is calculated for the series (Equation 3) and it is predicted to be approximately suitable for normal distribution. After the variance is calculated, the confidence interval value "Z" is calculated according to the "S" limits in Equation 4. The calculated Z value is compared with the standard Z values in the normal distribution table corresponding to the determined probability levels (Yu et al., 1993).

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{p'} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

P 'in Equation 3; the number of connected groups in the series,  $t_i$ ; It refers to the number of observations connected to a series of length  $i$ .

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0; & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Whether there is a trend is determined by the Z values of the Normal distribution. The null hypothesis ( $H_0$ ) is not accepted when the Z value calculated with the help of Equation 4 is greater than the  $Z_{1-\alpha/2}$  value of the normal distribution corresponding to the  $\alpha$  significance level. In other words, it is concluded that there is a trend in the time series. Similarly, when the Z value is less than the  $Z_{1-\alpha/2}$  value in the distribution chart, it is accepted as ( $H_0$ ). This shows that there is no statistically significant trend in the time series. If the (S) value is calculated as positive, it is concluded that there is an increasing trend in the investigated event, and a decreasing trend if it is calculated negative (Kendall, 1975; Mann, 1945).

2.2.2. Linear Trend (LT)

If one of the variables of the event being studied is dependent (y) and the other is independent (x), the relationship expressed as a function of y, x is called linear regression. The analysis performed to examine the relationship between the dependent variable and one or more independent variables is called regression analysis. With regression analysis, a cause-effect relationship can be found between variables, and what kind of relationship is between dependent-independent variables can be learned. In this study, groundwater level data is dependent, time (date) is an independent variable. With the regression analysis, the presence-absence of the relationship between these two variables, the strength of the relationship, and the change relative to each other can be learned. Trend analysis is used to determine the given direction of travel. Data may increase, decrease or persist over time. LT method is structurally based on regression analysis and is a parametric test that assumes that the data conform to a normal distribution. Tests the relationship between x and y variables, whether a linear trend exists (Karabulut et al., 2009). The slope of the "b" term of the curve in the form of  $y_i = a + bx_i$  obtained by this method, and the term "a" denotes the point where the curve intersects the y axis in the Cartesian coordinate system. "a" and "b" terms (Equations 5 and 6) are calculated as follows;

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - N \bar{x}^2} \tag{5}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \tag{6}$$

Whether there is a trend is determined by the t distribution and the t-test. The t value of the b value (slope) calculated with the help of Equation 5 is calculated ( $t_{cal}$ ) and compared with a selected significance level (eg 95% or 99% confidence interval). If ( $t_{cal}$ ) account value exceeds the accepted range, there is a trend and it is increasing or decreasing according to the sign. If it does not exceed ( $-t_{critical} < t_{cal} < t_{critical}$ ), it is said that there is no trend (V. Demir, 2018; Yagbasan et al., 2020).

2.2.3. Effective Soil Stress

The soil without additional loading like filling, the weight of the structure, etc., or no influence of groundwater level exchange is defined as state as rest (elastic equilibrium). In this state, just stress due to soil mass and stable groundwater level are topics at the current point with certain soil depth. Effective soil stress influences carrying soil and causing displacement. The total stress in the soil environment with groundwater is obtained by using Equation 7 as the sum of the stress carried by the water and the stress carried by the soil grains (Das, 2019).

$$\sigma' = \sigma - u \tag{7}$$

Here,  $\sigma$ ,  $\sigma'$ , and  $u$  correspond to the total stress, effective soil stress, and pore water pressure respectively. In the determination of  $\sigma$  and  $u$ , Equations 8 and 9 have been employed, respectively.

$$\sigma = \gamma_{soil} H \tag{8}$$

$$u = \gamma_{water} H \tag{9}$$

H is the soil depth of the groundwater level considered in calculations.  $\gamma_{water}$  is unit weight and is taken as 9.81 kN/m<sup>2</sup>. Because the unit volume of soil for station 8185 is not known exactly, the average value of  $\gamma_{soil}$  has been assumed as 18 kN/m<sup>2</sup> in calculations. Besides, the groundwater level change that occurred every month of the year between 1978-2019 at station 8185, where the groundwater level is the most critical, was examined in terms of equilibrium in pore water pressure-effective soil stress.

3. Results and Discussion

3.1. Results of Trend Analysis

In this section, the results of MK and LT methods are given in tables and interpreted. First, MK method Z account values are given in Table 3. According to MK method, the Z table or Z critical value is  $\pm 1.96$  at 95% of the confidence interval. Then LT method t account values are given in Table 4. According to the LT method, t critical values are  $\pm 2.02$  according to the number of data.

Table 3. MK trend analysis results

No	Period	181	182	8185	9431	9434
1	January	-6.96	-6.96	-7.95	-6.70	-7.10
2	February	-6.89	-7.02	-7.95	-6.93	-6.99
3	March	-7.01	-7.04	-7.89	-7.00	-6.85
4	April	-6.94	-6.99	-7.98	-6.73	-7.10
5	May	-6.99	-6.76	-7.98	-6.49	-7.03
6	June	-7.03	-6.79	-7.89	-6.12	-7.24
7	July	-7.07	-7.07	-7.92	-6.49	-7.21
8	August	-7.17	-7.05	-7.95	-6.70	-7.21
9	September	-7.14	-7.02	-8.01	-6.63	-7.28
10	October	-7.10	-7.12	-7.98	-6.53	-7.14
11	November	-7.03	-7.09	-7.95	-6.59	-7.14
12	December	-7.03	-7.10	-8.01	-6.44	-7.46
13	Annual	-7.14	-7.20	-7.98	-6.76	-7.17
14	Winter	-6.65	-7.05	-7.98	-7.00	-7.28
15	Spring	-7.01	-7.07	-8.01	-6.83	-7.14
16	Summer	-7.05	-7.05	-7.98	-6.53	-7.21
17	Autumn	-7.12	-7.07	-7.98	-6.66	-7.21
No	Period	10472	13314	17171	52258	62564
1	January	-6.35	-7.49	-6.82	-7.39	-7.33
2	February	-6.39	-7.49	-6.94	-7.37	-7.42
3	March	-5.99	-7.49	-6.87	-7.39	-7.23
4	April	-5.89	-7.53	-6.92	-7.37	-7.21
5	May	-5.57	-7.53	-6.71	-7.49	-7.23
6	June	-5.48	-7.46	-6.92	-7.42	-7.24
7	July	-5.87	-7.42	-6.92	-7.39	-7.28
8	August	-5.66	-7.42	-7.03	-7.39	-7.30
9	September	-5.64	-7.42	-7.03	-7.42	-7.31
10	October	-6.05	-7.46	-7.07	-7.39	-7.23
11	November	-6.39	-7.39	-7.14	-7.31	-7.31
12	December	-6.40	-7.33	-7.21	-7.24	-7.37
13	Annual	-6.07	-7.49	-7.10	-7.42	-7.31
14	Winter	-6.55	-7.53	-7.17	-7.42	-7.42
15	Spring	-5.80	-7.60	-6.94	-7.46	-7.26
16	Summer	-5.74	-7.46	-6.99	-7.39	-7.28
17	Autumn	-5.92	-7.49	-7.19	-7.39	-7.30

According to Table 3, it has been determined that all wells show a decreasing trend statistically in monthly, annual, and seasonal periods. While the decreasing trend is slower in well

number 10472, it is faster in well number 8185 compared to other wells. As a result of the analysis, the min. Z calculated value is seen in station number 10472 in June, while the max. Z calculated value is seen in station number 8185 in September, December, and the spring season.

Table 4. LT trend analysis results

No	Period	181	182	8185	9431	9434
1	January	-13.39	-12.09	-34.54	-14.20	-18.69
2	February	-13.52	-12.42	-33.47	-14.88	-18.07
3	March	-14.10	-13.00	-32.19	-15.08	-17.55
4	April	-13.21	-13.38	-33.89	-14.15	-18.41
5	May	-13.31	-12.28	-36.82	-14.52	-19.37
6	June	-11.49	-11.81	-35.51	-12.68	-27.37
7	July	-11.55	-11.64	-39.57	-14.04	-23.34
8	August	-13.75	-12.20	-39.95	-14.29	-24.05
9	September	-12.05	-11.79	-39.24	-15.64	-23.48
10	October	-10.37	-12.20	-38.33	-15.35	-23.18
11	November	-9.06	-12.16	-34.00	-15.34	-22.28
12	December	-8.42	-12.53	-39.10	-14.68	-27.84
13	Annual	-12.22	-13.21	-39.14	-16.17	-23.82
14	Winter	-8.14	-13.47	-37.02	-16.03	-22.01
15	Spring	-13.75	-13.12	-34.85	-15.57	-19.03
16	Summer	-12.47	-12.08	-42.59	-14.29	-25.42
17	Autumn	-10.53	-12.07	-37.65	-15.61	-23.13

No	Period	10472	13314	17171	52258	62564
1	January	-10.26	-20.50	-22.22	-16.36	-14.51
2	February	-10.63	-19.90	-22.10	-15.78	-14.69
3	March	-9.98	-19.67	-23.08	-15.91	-14.90
4	April	-9.05	-20.60	-26.62	-16.22	-14.66
5	May	-8.03	-22.16	-26.11	-16.76	-14.90
6	June	-8.25	-22.18	-25.69	-16.66	-14.87
7	July	-8.10	-21.34	-25.90	-16.39	-14.77
8	August	-9.53	-20.87	-27.95	-16.23	-14.61
9	September	-7.32	-19.40	-25.36	-16.03	-14.59
10	October	-11.03	-20.27	-24.87	-16.06	-14.94
11	November	-11.55	-19.51	-27.35	-16.20	-14.77
12	December	-11.42	-18.63	-26.95	-16.17	-15.17
13	Annual	-10.47	-20.96	-27.15	-16.32	-14.86
14	Winter	-10.98	-20.39	-24.91	-16.26	-14.83
15	Spring	-9.47	-20.89	-26.22	-16.34	-14.85
16	Summer	-9.16	-21.59	-27.66	-16.43	-14.75
17	Autumn	-10.43	-19.93	-26.25	-16.11	-14.90

### 3.2. The Effect of Change in Ground Water Level on Effective Soil Stress

While the pore water pressure reduces with the decrease of groundwater level, and the pore water pressure affecting the soil grains increases with the increase of the groundwater level. For this reason, the observation station 8185, where the change in groundwater level is the most significant, has been selected in the investigation of the groundwater level effect on effective soil stress. Values of the total stress and the pore water pressure have been specified by considering about 30 years of groundwater levels for station 8185. In Figure 5, the change graph of the values of the effective soil stress according to each month is given for

years between 1978-2019. In the dashed parts where the curve does not continue in the graph, measurement of the groundwater level has absent.

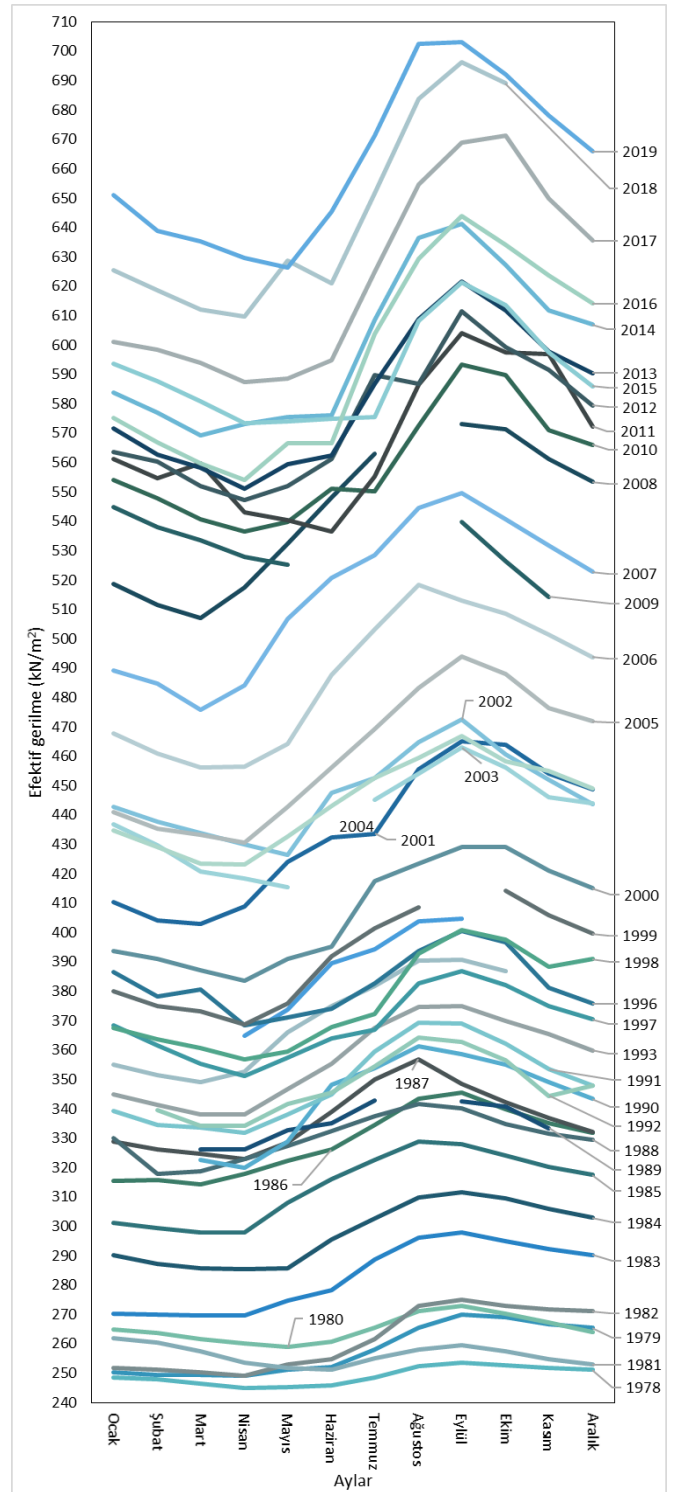


Figure 5. Time-dependent effective pressure changes at station 8185

When the graph given in Figure 5 is examined in terms of different years according to the seasons, the groundwater level decreases due to the increase in temperature and less precipitation in the summer months, and the values of the effective soil stress have reached their maximum values. When the effective stress value, which is defined as the stress carried by the soil grains, reaches a value greater than the bearing capacity of the soil, collapse may occur in the soil. This case may give information



about the formation of a sinkhole which is usually happened in the arid summer months. During these months, groundwater is utilized extensively for the irrigation of agricultural products. When the groundwater level is raised with melting snow and precipitation in the spring season, it is observed that the minimum values of effective soil stress.

From the past to the present, it is seen that the effective soil stress changes have shown a fluctuating trend in the last twenty years and the decrease in the groundwater level has increased significantly. While the change of the effective soil stress by months in the graph is approximately linear in 1978, there is a significant increase and decrease in the values after the 1990s. This change occurred more sharply, especially between the years 2020-2010. Considering that the total decrease in groundwater level is approximately 50 m between 1978-2019, it is assumed as a reasonable outcome that the effective soil stress has such a moving trend.

### 3.3. Discussion

Konya Closed Basin has a semi-arid climate and the increase in the cultivation of agricultural products with high water need in addition to the drought in recent years has caused the number of thousands of deep irrigation wells in the basin to increase. As a result, various problems such as the lowering of the underground water level and the formation of new sinkholes, salinization in the soil, drying of many swamps and resources, and the decrease in the levels of the surrounding lakes occur (Demir et al., 2020; Yılmaz, 2010). When other studies in the region are examined, Doğdu et al. (2007) stated in their research that groundwater decreased approximately 0.2-0.9 m / year in Konya Plain between 1982 and 2007 and the water level decreases approximately 0.7 m / year occurred in Karapınar. Also, they stated that the decreases in groundwater level throughout the basin occurred in the dry period that was effective after 1980 in the region. Göçmez et al. (2008a) stated that 60% of the change in groundwater level in Konya and 40% in Karapınar is due to climatic variables, and the remaining percentage is related to excessive water extraction. Mutlu (2010) stated that Çumra, Konya, Ereğli, Karapınar, Sultanhanı, Obruk plains have 615 hm<sup>3</sup> / year safe water reserves, but in recent years the groundwater level has decreased seriously and worryingly, and as a result of this decrease, aquifers are disrupted and sinkholes are formed, he stated that sinkholes are approaching in increasing numbers from regions to urban areas and that besides economic losses, people and other living creatures living in the region are also in danger.

The findings show that the groundwater levels in Konya Closed Basin are decreasing with statistically significant trends and support previous studies.

### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, trend analysis of groundwater level data of 10 wells in Konya Closed Basin, which have data between 1967-2020, was performed using MK and LT methods. In the analysis, the trends are made meaningful according to the critical values in 95% of the confidence interval.

When the results were examined, it was determined that statistically significant trends were observed in all wells according to MK and LT methods and the direction of these trends was negative. It has been observed that water levels have decreased dramatically in recent years. The decrease occurred at

most in the well number 8185 (located in Konya province Meram district), followed by the well numbered 13314, 52258, 62564, 9434, 182, 181, 17171, 9431, and finally 10472.

With this study, different from the studies in the literature, the change of groundwater level has been analyzed by using trend analysis. Besides, the following recommendations have been made to solve the problems caused by the decrease in groundwater level in the region.

- Water management plans should be implemented with even more severe sanctions to control the groundwater level and prevent rapid level decreases.
- Illegal wells must be detected and illegal access to groundwater level must be prevented.
- Restrictions or prohibitions should be imposed on the cultivation of agricultural products with high water needs.
- Various chemical properties such as water levels and salinity in wells should be monitored. Measures should be taken with new water tanks that may affect areas where water levels decrease or water quality changes.
- The relationship of groundwater level with surface currents, lakes, potholes, and other meteorological parameters (such as temperature, precipitation, evaporation, wind speed, cloudiness rate) should be investigated and integrated basin management plans should be prepared.

Besides in this study, the effective soil stress changes have been investigated dependent time in this study by utilizing groundwater level values for the selected station. It has been observed that the groundwater level has decreased significantly in recent years. The descending and ascending behavior of the groundwater level affects the equilibrium between soil stress and water pressure of the soil environment which is the state as rest. The results show that the effective soil stress increases with the decrease of the groundwater level. Normally, the increase in the effective soil stress does not cause serious damage to the soil, but if this value is greater than the bearing capacity of the soil, deformations, and collapses may occur in the soil. For this reason, it is recommended to examine the changes in groundwater level taking into account the effect that they have on the soil environment.

### References

- Bayazıt, M., Önöz, B. (2008). *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*. Ankara, Türkiye: Nobel Basımevi.
- Bayazıt, M. (1981). *Hidrolojide İstatistik Yöntemler*. İstanbul Teknik Üniversitesi matbaası, İstanbul.
- Bhattacharya, R. K., Chatterjee, N. Das, & Das, K. (2020). An integrated GIS approach to analyze the impact of land use change and land cover alteration on ground water potential level: A study in Kangsabati Basin, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(April), 100399. doi: 10.1016/j.gsd.2020.100399
- Bulduk, A., Horasan, Ö. R., Tekdere, M., & Solak, N. (2008). Konya Kapalı Havzasının Alt Havzasında Yeraltı Suyu ve Seviye Değişimleri. *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı*, 125-134.
- Çelik, M. A., Doğanürk, İ. H., & Güney, İ. (2016). Şanlıurfa'nın Güneyindeki Ovalarda Yer Altı Su Algılama ve CBS Kullanılarak İncelenmesi. 6. *Uzaktan Algılama-CBS*

- Sempozyumu*, 5–7.
- Chen, Z., Grasby, S. E., & Osadetz, K. G. (2004). Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology*, 290(1–2), 43–62. doi: 10.1016/j.jhydrol.2003.11.029
- Chia, Y., Wang, Y. S., Chiu, J. J., & Liu, C. W. (2001). Changes of groundwater level due to the 1999 Chi-Chi earthquake in the Choshui River alluvial fan in Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(5), 1062–1068. doi: 10.1785/0120000726
- Das, B. M. (2019). *Advanced Soil Mechanics, Third edition*. Retrieved from [https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=0cySDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=advanced+soil+mechanics+das&ots=6i3cnUrDcR&sig=w9yrLoDh\\_2xUXjkM3OfE35UFd28](https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=0cySDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=advanced+soil+mechanics+das&ots=6i3cnUrDcR&sig=w9yrLoDh_2xUXjkM3OfE35UFd28)
- Demir, S., & Kılıç, K. (2012). Erbaa Ovası Yeraltı Suyunun Tuzluluğunun Değerlendirilmesi Salinity Assessment of Groundwater in Erbaa Plain. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 2(4), 79–86.
- Demir, V. (2018). *Karadeniz Bölgesi yağışlarının trend analizi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2020). Water level change of lakes and sinkholes in Central Turkey under anthropogenic effects. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3–4), 929–943. doi: 10.1007/s00704-020-03347-5
- Dinka, M. O., Loiskandl, W., Fürst, J., & Ndambuki, J. M. (2013). Seasonal behavior and spatial fluctuations of groundwater levels in long-term irrigated agriculture: The case of a sugar estate. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5), 1325–1334.
- Doğdu, M. Ş., Toklu, M. M., & Sağnak, C. (2007). Konya Kapalı Havzası'nda Yağış ve Yeraltı Suyu Değerlerinin İrdelenmesi. *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, 394–402.
- Erguvanlı, K., & Erdoğan, Y. (1987). *Yeraltısuuları Jeolojisi (Hidrojeoloji)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Fakültesi Ofset Matbaası.
- Göçmez, G., Dıvrak, B., & Galena, İ. (2008). Konya Kapalı Havzası'nda Yeraltı Suyu Seviyesinin Değişiminin Tespiti Özet Raporu. *WWF*.
- Göçmez, G., Genç, A., & Karakoca, A. (2008). Konya Kapalı Havzası Yeraltısuuyu Seviye Değişiminin İstatistiksel Değerlendirilmesi. *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı*, 98–107.
- Hoque, M. A., Hoque, M. M., & Ahmed, K. M. (2007). Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: Causes and quantification. *Hydrogeology Journal*, 15(8), 1523–1534. doi: 10.1007/s10040-007-0226-5
- Jakeman, A. J., Barreteau, O., & Rinaldo, R. J. H. J. (2016). Integrated Groundwater Management. In *Integrated Groundwater Management*. doi: 10.1007/978-3-319-23576-9
- Kara, T., & Arslan, H. (2004). Bafra Ovası sulama alanında taban suyu ve tuzluluk araştırması. *Bafra Ovası Sulama Alanında Taban Suyu ve Tuzluluk Araştırması*, 89–96.
- Karabulut, M., & Cosun, F. (2009). Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(1), 65–83.
- Karatas, B. S., Camoglu, G., & Olgen, M. K. (2013). Spatio-temporal trend analysis of the depth and salinity of the groundwater, using geostatistics integrated with GIS, of the menemen irrigation system, Western Turkey. *Ekoloji*, 47(86), 36–47. doi: 10.5053/ekoloji.2013.865
- Kavurmacı, M., Altaş, L., Kurmaç, Y., Işık, M., & Elhatip, H. (2010). Evaluation of the Salt Lake effect on the ground waters of Aksaray-Turkey using geographic information system. *Ekoloji*, 77, 29–34. doi: 10.5053/ekoloji.2010.775
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. London: Chtirles Griffin.
- Kendirli, B., Cakmak, B., & Ucar, Y. (2005). Salinity in the southeastern anatolia project (GAP), Turkey: Issues and options. *Irrigation and Drainage*, 54(1), 115–122. doi: 10.1002/ird.157
- Konikow, L. F. (2011). Contribution of global groundwater depletion since 1900 to sea-level rise. *Geophysical Research Letters*, 38(17), 1–5. doi: 10.1029/2011GL048604
- Ma, J. Z., Wang, X. S., & Edmunds, W. M. (2005). The characteristics of ground-water resources and their changes under the impacts of human activity in the arid Northwest China - A case study of the Shiyang River Basin. *Journal of Arid Environments*, 61(2), 277–295. doi: 10.1016/j.jaridenv.2004.07.014
- Mann H B. (1945). “Non-parametric tests against trend.” *Econometrica*, 13(3), 245–259.
- Orhan, O. (2021). Monitoring of land subsidence due to excessive groundwater extraction using small baseline subset technique in Konya, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. (in press) DOI : 10.1007/s10661-021-08962-x
- Scibek, J., & Allen, D. M. (2006). Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. *Water Resources Research*, 42(11), 1–18. doi: 10.1029/2005WR004742
- URL1. (2021). [https://www.movea.com.tr/zeminde-sivilasma-nedir/#:~:text=Zemin%20s%C4%B1v%C4%B1la%C5%9Fmas%C4%B1%2C%20yeralt%C4%B1%20su%20seviyesi,siltili%20zeminler\)%20g%C3%B6r%C3%BClen%20bir%20olayd%C4%B1r:](https://www.movea.com.tr/zeminde-sivilasma-nedir/#:~:text=Zemin%20s%C4%B1v%C4%B1la%C5%9Fmas%C4%B1%2C%20yeralt%C4%B1%20su%20seviyesi,siltili%20zeminler)%20g%C3%B6r%C3%BClen%20bir%20olayd%C4%B1r:) Retrieved from <https://www.movea.com.tr/zeminde-sivilasma-nedir/#:%7B~%7D:text=Zemin>
- URL2. (2021). <https://www.haberturk.com/misir-ve-yonca-gibi-su-tuketen-urunler-obruk-olusumunu-hizlandiriyor-2156941>.
- Ustun, A., Tusat, E., & Yalvac, S. (2010). Preliminary results of land subsidence monitoring project in Konya Closed Basin between 2006–2009 by means of GNSS observations. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(6), 1151–1157. doi: 10.5194/nhess-10-1151-2010
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazicigil, H. (2020). Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey. *Water*, 12(2), 414. doi: 10.3390/w12020414
- Yılmaz, C. B., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2020). Trend analysis of maximum flow values of Konya closed basin. *2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020)*, 594–607.
- Yılmaz, M. (2010). Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2), 145–163. doi: 10.1501/Csaum
- Yu, Y.-S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61–80. doi: 10.1016/0022-1694(93)90156-4



## Emotion Analysis using Facial Expressions in Video

Kubra Ekmekci<sup>1\*</sup>, Serkan Ozbay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5597-7749), [kubraekmekci1994@gmail.com](mailto:kubraekmekci1994@gmail.com)

<sup>2</sup> Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5973-8243), [sozbay@gantep.edu.tr](mailto:sozbay@gantep.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.926478)

**ATIF/REFERENCE:** Ekmekci, K., Ozbay, S., (2021). Emotion Analysis using Facial Expressions in Video. *European Journal of Science and Technology*, (24), 523-527.

### Abstract

The topic of human computer interaction is one of the increasingly popular topics in recent times. Human facial expression and emotion analysis with the computer is one of the complex problems as well as interesting. In this paper, emotion analysis was made on human images. In the study, 5 different emotional states, being happy, angry, sad, surprised and neutral, were analyzed. The proposed algorithm basically consists of 3 steps. The first is the preprocessing of the images required for the SVM model. The second is the creation of the SVM model that could perform emotion analysis. The final step is to assign facial expressions to the relevant emotion class. In this study, JAFFE dataset and many images available from Google were used. The recognition success rates of 5 different emotions determined for the study were found between 80% and 100%.

**Keywords:** Emotion Analysis, Support Vector Machines (SVM), Facial Expressions.

## Videodaki Yüz İfadeleri Üzerinden Duygu Analizi

### Öz

İnsan ve bilgisayar etkileşimi konusu, son zamanlarda giderek daha popüler hale gelen konulardan biridir. Bilgisayar ile insan yüz ifadesi ve duygu analizi ilginç olduğu kadar karmaşık sorunlardan biridir. Bu çalışmada insan görüntüleri üzerinden duygu analizi yapılmıştır. Çalışmada mutlu, kızgın, üzgün, şaşırılmış ve nötr olmak üzere 5 farklı duygu durumu analiz edilmiştir. Önerilen algoritma temelde 3 adımdan oluşmaktadır. Birincisi, SVM modeli için gerekli görüntülerin ön işlemesidir. İkincisi, duygu analizi yapabilen SVM modelinin oluşturulmasıdır. Son adım, yüz ifadelerinin ilgili duygu sınıfa yönlendirilmesidir. Bu çalışmada, JAFFE veri seti ve Google'da bulunan birçok görsel kullanılmıştır. Çalışma için belirlenen 5 farklı duygu için başarı oranları % 80 ile % 100 arasında değişmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Duygu Analizi, Destek Vektör Makineleri (SVM), Yüz İfadeleri.

\* Sorumlu Yazar: [kubraekmekci1994@gmail.com](mailto:kubraekmekci1994@gmail.com).

## 1. Introduction

Facial expressions are one of the non-verbal signs that play an important role in ensuring integrity of meaning in human relationships. While human beings do not have any difficulty in grasping facial expressions, this is not the case for machines. Therefore, developments on this subject continue. Human face detection and facial emotion analysis are based on digital image processing. These processes start with the capture of the image and continue with the use of different techniques for the specific purposes. These processes, which include mathematics and computer science, are used in areas such as design, manufacturing, security, medicine, electronics, machinery and architecture.

In facial expression analysis, images must be transformed into numerical data that can be processed by a computer. In order to make sense of digital data, digital data should be passed through the basic steps of image processing. Still images can be analyzed using image processing methods, and meaningful information can be extracted from these images. The fact that real-time image processing hardware is more accessible in terms of costs and the increase in processor capacities have enabled face recognition systems to be automated and integrated with other software networks [1]. Valsar M. made geometric feature extraction using the Support Vector Machine (SVM) and Hidden Markov Model (HMM) in his study in 2012. He reached a consistency of 50.4% in his study [2]. In this way, the emotions of the detected faces are separated in the coordinate system with geometric feature extraction. Gudi A., on the other hand, used the CNN (Convolutional Neural Network) architecture based on machine learning in 2015, and in his study on two separate data sets as SEMAINE and BP4D, he reached a consistency rate of 52.2% and 34.1% in emotional analysis over a hundred [3]. Pooya K reached a consistency of 50.5% by using CNN (Convolutional Neural Network) and RNN (Recurrent Neural Network) architectures together in his study in 2016 [4].

In the study conducted by Nguyen et al. in 2018, the model they proposed is a multi-level 18-layer CNN (Convolutional Neural Network) model and is similar to the VGG (Visual Geometry Group) model. This model also has a high level of features. The multi-level CNN (Convolutional Neural Network) model was proposed and reached 69.21% sensitivity. Fer2013 data set was used in this model to increase the rate they reached in sentiment analysis and achieved a sensitivity of 73.03% [5]. Another recent study is the study that Cao et al. conducted in 2019. This study created a model by combining K-Means, clustering and the Support Vector Machine (SVM) classifier. In this model, K-Means CNN determines the initial value of the model. SVM layers take features from the trained CNN (Convolutional Neural Network) model to classify images in the Fer2013 dataset [6].

In [7], facial expression detection applications were applied under two headings. The first was to analyze partial facial images with classical machine learning methods and the second was to analyze the whole face images. The proposed system was shown that emotion could be detected only by looking at the eyebrows and eye areas. Different datasets and methods were used. The success rate of 67.35% was achieved in the study using the JAFFE dataset for both testing and training. In [8], Tenekeci was aimed to get information about the psychological state of the faces on the image. 3 different psychological

situations were emphasized. Face detection was made using the OpenCV Haar class. Then, a conclusion was reached by using the features on the face picture. The application was tested on 15 pictures and the correct result was achieved in 11 pictures. In [9], facial expression recognition from pictures was performed in the study. Seven different emotions were tried to be recognized: happy, sad, surprised, fear, anger, disgusted and neutral. In the application, Viola-Jones face detector using AdaBoost algorithm was used to find the face location. Haar Filter was used to find the eyes and mouth. The recognition success rates of 7 different emotions determined for the study vary between 50% and 97%.

In this paper, emotion analysis based on facial expression in videos is studied. The proposed algorithm obtains information about the instantaneous psychological conditions of the people in the videos taken in real time through the images of the individuals. The paper is organized as follows. In Section 1, a brief introduction and then studies on facial expression recognition were mentioned. The steps required for the proposed method are described in Section 2. In Section 3, the databases in which the study was applied and the results of the study were mentioned. In the last section, there are suggestions for the development of the study, emphasizing the importance of the study.

## 2. Material and Method

As it is stated, the paper proposes an algorithm to capture information about the instantaneous psychological conditions of the people in the videos taken in real time through the images of the individuals.

For this, first of all, human faces in the videos are detected and the data are then pre-processed. Facial landmarks are detected as a result of the procedures performed on facial images. A support vector machine algorithm is created through these points, and finally, it is estimated to which emotion class (happy, sad, angry, surprise and normal) the emotion belongs to.

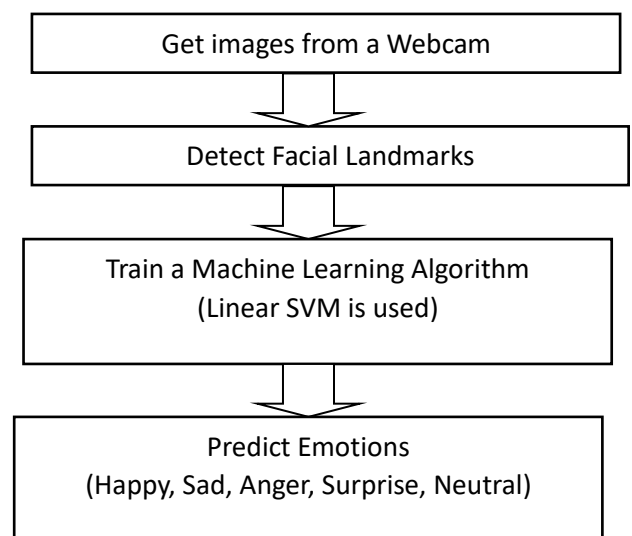


Figure 1. The system structure

The result of all experiments performed in this study was obtained by using computer with the following properties and software installed:

- Processor: Intel(R) Core(TM) i7-4720HQ.
- RAM 16GB.
- GPU 2.6GHz.
- 64-bit Operating System, X64 based processor.
- Python (2020.2.3) is an object oriented, interpretative, modular and interactive high level programming language. Its modular structure supports system and any data field entry. With Python, which can work on almost any platform, software can be developed in many areas such as system programming, user interface programming, network programming, application and database software programming.
- Anaconda is an open source, free and open source dispersion that points to encourage bundle administration in logical computing utilize of Python and R programming dialects.
- OpenCV (Open Computer Vision) is an open source library created by Intel, composed in C dialect that can run on Windows, Linux, MacOS X, PSP (Playstation Versatile) stages.
- Scikit-Learn (sklearn) could be a broadly utilized open source machine learning library. It incorporates direct relapse, calculated relapse, choice tree, arbitrary timberland and numerous fake learning strategies.
- Dlib library is an open source library created with C ++ programming dialect, which incorporates machine learning, profound learning and computer vision calculations.
- Visual Studio (2017) is an integrated development environment (IDE) developed by Microsoft.

## 2.1. Preprocessing

A video image taken at this stage was pre-processed. If the studies are to be listed:

- A video requested from the database as input was transferred to the Python environment.
- This entry was converted to gray scale.
- Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) was applied on the images in order to increase the image quality, to eliminate the noise on the image and to make the human face detection more accurate in order for the application to give better results. Histogram Equalization was connected to the outlines to alter the differentiate and get on picture clearer than the initial one beneath the circumstances of different lighting conditions. However, Adaptive Histogram Equalization (AHE) included a propensity to overamplify clamar in moderately homogeneous districts of an picture. A variation of versatile histogram equalization called CLAHE anticipates this by constraining the enhancement.

## 2.2. SVM Model

At this stage, the points on the detected faces were determined first. Dlib library functions were used for this

process and the data was made available after preprocessing. A learning process was performed in order to detect facial landmarks on the images taken. 68 facial landmarks were detected on the detected faces, on the x - y coordinate plane. These detected facial landmarks were reflected on the screen on the face in the video.

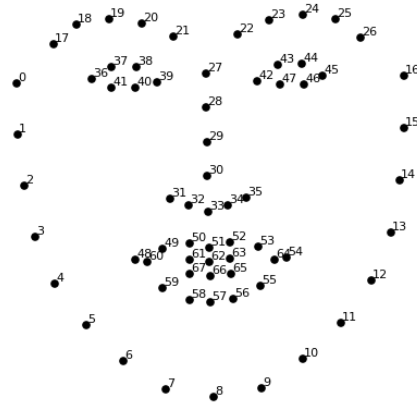


Figure II. Facial Landmarks [10]

- Jaw points: 0-16
- Right eyebrow points: 17-21
- Left eyebrow points: 22-26
- Nose points: 27-35
- Right eye points: 36-41
- Left eye points: 42-47
- Mouth points: 48-60
- Lip points: 61-67 [10]

Second, these points placed on the face were transformed into shapes to feed the classifier. Properties were small pieces of information that describe the object or object state that we were trying to categorize. Facial signs from the same image material described the position of all moving parts of the depicted face, which we used to express an emotion. The coordinates of the points on these moving parts were extracted. The positions of the points relative to each other were calculated on these coordinates, which means the process of calculating the point coordinates of the "center of gravity" information of all face marks. The positions of all points were calculated according to this central point obtained as a result of the calculation.

Here, the following steps were made:

- The center of gravity calculations were performed on the data.
- The distances of the points on the face with respect to this calculated center of gravity point were found.

These found positions, that was, the lines expressed both the size (i.e. the distance between two points) and a direction (angle

relative to the image with horizontal = 0). This means that these data obtained represent a vector.

As a result, the angle values made by the points with both distance and center of gravity were calculated.

The aim was to divide the existing data set into training and prediction sets with corresponding tags, consequently to train the classifier. (Support Vector Machines from SKLearn)

### 2.3. Emotion Recognition

The classification process, which was the last process in the SVM model, was carried out in two steps. First, 10 different data segmentation was made, training and test file was run, secondly, prediction probabilities were evaluated.

As a result of the study, Support Vector Machine learned to classify the model successfully. Because it was observed that the proposed algorithm performed emotion analysis through facial expressions in the real-time images provided to it.

## 3. Results and Discussion

In the approach, facial landmarks were first removed from the images. 80% of the data into a random training set and 20% into a test set were split, then they were trained in the training set to feed the classifier. Finally, in order to see how the model handles unknown data, the resulting model that was predict what happened in the test set was evaluated.

At the end of this evaluation, it was seen that different success rates were obtained on 5 emotional states (happy, sad, anger, surprised, neutral). JAFFE face database was used within the scope of the study.

JAFFE: Ten Japanese women modeled on JAFFE [11] dataset. There are 5 different emotional states of each person in these images. While these feelings were recorded as happy, sad, surprised, angry, neutral, care was taken to keep the hair away from the face and the ambient light to be the same. The database only contains front-facing face images of the respective model. It contains 150 images in total. These pictures are of equal numbers of each emotion. Table I shows the number of images and recognition accuracy with each emotion. There are 37 misrecognized facial emotion images; 4 images for happy, 3 images for sad, 17 images for neutral, 13 images for anger and any images for surprise.

Table 1. The number of images and recognition accuracy with each emotion of the JAFFE data set

Emotions	Number of Images	Accuracy(%)
Happy	30	95
Anger	30	90
Sad	30	84
Surprised	30	98
Neutral	30	86

The proposed method was tested on approximately 2500 images found on Google. Different numbers of images were

collected for 5 different emotional states. Table I shows the number of images, recognition accuracy and precision with each emotion state.

The total number images of for happiness was 700. The number of correct recognized was 600 and the number of misrecognized was 100.

The total number images of for anger was 400. The number of correct recognized was 300 and the number of misrecognized was 100.

The total number images of for sadness was 400. The number of correct recognized was 290 and the number of misrecognized was 110.

The total number images of for surprise was 400. The number of correct recognized was 320 and the number of misrecognized was 80.

The total number images of for neutral was 600. The number of correct recognized was 450 and the number of misrecognized was 150.

Table 2. The number of images, recognition accuracy and precision with each emotion of tested images

Emotions	Number of Images	Accuracy (%)	Precision (%)
Happy	700	91	85
Anger	400	89	75
Sad	400	91	72
Surprised	400	91	75
Neutral	600	92	80

A comparison with a previous work in which the JAFFE dataset was used utilized in Table III and Figure III. Note that, in the previous work, commit tests were performed for each level of concentrated for five feelings.

Table 3. The comparison with previous studies according to the SVM results the false acceptance rate (FAR) and false reject rate (FRR)

Emotions	Proposed System		Öznel (2018) [7]	
	FAR	FRR	FAR	FRR
Happy	0,033	0,103	0,009	0,074
Anger	0,099	0,105	0,056	0,037
Sad	0,029	0,437	0	0,111
Surprised	0,016	0	0,009	0,037
Neutral	0,127	0,235	0,019	0,111

As shown below, although the proposed system has shortcoming, it is more successful for some emotions.

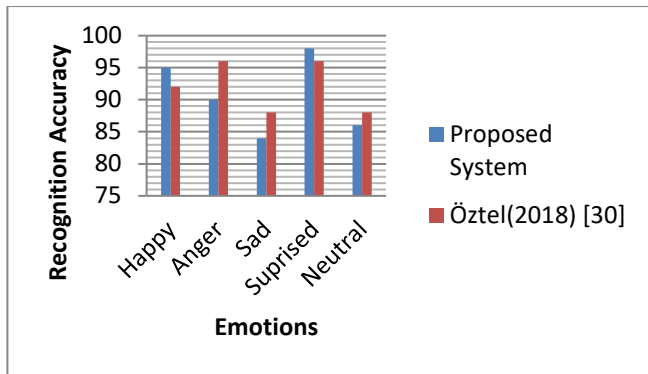


Figure III. Comparison with previous studies for each emotion

#### 4. Conclusions and Recommendations

As a summary, in this study, emotion analysis was made over real time videos. The emotional states of the people in the videos were detected instantly. The advantage of the SVM classifier used during the run is its probability. So this means that probabilities are assigned to each category in which it is trained. It returns the emotion class with the most votes as a result. If we look at where the model has flaws, we get a single answer as a result, but a single image may be happy with 90% probability and angry with 10% probability. Different methods can be developed so that the classifier can return such things and achieve higher success rates.

The reason why emotion analysis is a difficult field is that many expressions of emotions can be found simultaneously and similarly on the face. The success rates obtained in the current and limited data set are higher than the average values examined in the literature. In order to increase these rates, more data is needed as in every machine learning study. However, there are many other constraints. However, due to the emotional complexity and rapid changes in mood, it is almost impossible to completely separate certain emotions.

#### References

- [1] Romero, M. , Pears N. (2009). Landmark localisation in 3D face data. 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2009, 73-78.
- [2] Valstar, M.F. & Pantic, M. (2012). Fully automatic recognition of the temporal phases of facial actions. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern. 42(1), 28-43.
- [3] Gudi, A. , Tasli, H.E. , Den Uyl, T. M. & Maroulis A. (2015). Deep learning based FACS action unit occurrence and intensity estimation.

- [4] Khorromi, P.K. , Paine, T.L. , Brady, K. , Dagli, C. & Huang, T.S. (2016). How deep neural networks can improve emotion recognition on video data. 1-5.
- [5] Nguyen's Yearn, HD., Lee, G-S. , Yang, H-J. , Na, L. & Kim, H. (2018). Facial emotion recognition using an ensemble of multilevel convolutional neural networks. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence.
- [6] Cao, T. & Li, M. (2019). Facial expression recognition algorithm based on the combination of CNN and K-Means. 11th International Conference on Machine Learning and Computing.
- [7] Oztel, I. (2018). Facial expression detection with machine learning methods on partial and full face images. PhD Thesis, Sakarya University.
- [8] Tenekeci, M. E. , Gumuscu, A., Baytak, A., Aslan, E. (2014). Emotion analysis from image with OpenCV. Academic Informatics'14 - XVI. Academic Informatics Conference Proceedings.
- [9] Ozmen, G. (2012). Facial expression recognition with cubic bezier curves. Master's Thesis, Trakya University.
- [10] Martinez, J. C. "<https://livecodestream.dev/post/detecting-face-features-with-python/> 21.02.2021".
- [11] Lyons. M. , Akamatsu, S. , Kamachi, M. & Gyoba, J. (1998). Coding facial expressions with Gabor wavelets. Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 200-205.