



Arastırma Makaleleri / Research Article	Sayfa No
MUSTAFA AKTAS, Meltem KOŞAN, Cem CATALBAŞ, Mert GÖK Drying of Sliced Apple and Carrot With Heat Pump Technique: Performance Analysis	523-529
Ahmet YURTSEVEN, Tamer COŞGUN, Nurten VARDAR Kapak Etkili Hücresel İçindeki Türbülanslı Akıma Tabanlı Geometrisinin Etkisi The Influence of Bottom Geometry on Turbulent Flow Field In A Lid-Driven Cavity	531-543
Yusuf BAŞTAN, İbrahim DEMİREL Application of Fuzzy Dematel Technique to Assess Most Common Critical Operational Faults of Marine Boilers Geni Kazanların En Yaygın Kritik Operasyonel Arızalarının Bulanık Dematel Tekniğiyle Değerlendirilene Uygulanması	545-555
Utku KÖSE Zeki Optimizasyon Tabanlı Destek Vektör Makineleri ile Diyabet Teşhisi Diabetes Diagnosis With Intelligent Optimization Based Support Vector Machines	557-566
Mehmet Serkan YILDIRIM, Yakup KAYA, Ramazan ÇAKIROĞLU, Behçet GÜLENC, Nizamettin KAHRAMAN, Ahmet DURGUTLU Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen Titanyum Levhaların Çekme-Makaslama Dayanımlarının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu Optimization of Tensile Strength of Titanium Plates Jointed Resistance Spot Welding With Taguchi Method	567-573
Sedat YAYLA, Karwan KAMAL, Seyfettin BAYRAKTAR Computational Analysis of Effects of Location of The Diverter Plate and Inlet Velocity on The Efficiency of Two-Phase Flow Separator Ayrılma Platformu Konumunun ve Giriş Hızının İki-Fazlı Ayrıştırıcı Verimine Olan Etkilerinin Sayısal Analizi	575-581
Kerem ÇALIK, Coşkun FIRAT A Cost-Effective Theoretical Novel Configuration of Concentrated Photovoltaic System With Linear Fresnel Reflectors Uygun Maliyetli Lineer Fresnel Yansıtıcı Ozağın Bir Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistemin Teorik Yapılması	583-589
Gülşah AKINCIOĞLU, Sıtkı AKINCIOĞLU, Hasan ÖKTEM, İlyas UYGUR Evaluation of The Physical Properties of Hazelnut Shell Dust-Added Brake Pad Samples Treated With Cryogenic Process	591-596
Mesut TEKEKALMAZ, Gökhan HAYDARLAR, M. Alper SOFUCU Yapısal Sağlık İzleme İçin Kullanılan Piezoelektrik Sensörlerin Değişen Sıcaklıklarda Davranışının İncelenmesi Investigation of The Behavior of Piezoelectric Sensors Used In Structural Health Monitoring At Different Temperatures	597-606
Alper CALAM, Yakup İÇİNGÜR Hava Fazlılık Katıyını ve Oktan Sayısı Değişiminin Hoci Yanma Karakteristiklerine ve Motor Performansına Etkileri The Effects of Air Fuel Ratio and Octane Number On Hoci Combustion and Engine Performance Characteristics	607-618
Uğur KARAKAYA, Metin GÜRÜ, Adnan SÖZEN, Duygu Y. AYDIN, İbrahim BİLİCİ Nano Mineralojik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi Experimental Investigation of Thermophysical Properties of Nano Mineralogical Fluids	619-626
İbrahim ÇİFTÇİ, Hüseyin GÖKÇE Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşamaya Etkisinin İncelenmesi An Investigation Into The Influence of Drilling Method On Drill Wear In Drilling of Ti6Al4V	627-631
Mehmet ERBAŞ, Abdulkadir GÜLLÜ 34cminin6 Çeliğinin Frezelemesinde Kesme Parametrelerinin Titreşim ve Yüze Pütüklülüğüne Etkilerinin İncelenmesi Study on The Effects of the Machining Parameters on Surface Roughness and Vibration In Milling 34cminin6 Steel	633-639
İlker Belir TOPÇU, Mehmet Ozan OLGUN, Eyyüp GÜLBANDILAR Anfis ile Kendiliğinden Yerleşen Beton Basınç Dayanımının Tahmini Prediction of Compressive Strength of Self-Compacting Concrete With Anfis	641-647
Özge Bayraklı SÜRÜCÜ, Hasan Hüseyin GÜLLÜ Deposition and Characterization of Zinse, Thin-Films Deposited By Using Sintered Stoichiometric Powder Sinterlenmiş Stokiyometrik Toz Kullanarak Üretilen Zinse İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu	649-653
Musa BİLGİN, Şener KARABULUT, Ahmet ÖZDEMİR An7075-T6 Ve A231b Alaşımın Strüktüre Karıştırma Kaynağı Üzerinde Ön Isıtma ve Kuru Buz Soğutmasının Etkisi Effect of Preheating and Dry Ice Cooling On Dissimilar Friction Stir Welding of An7075-T6 and A231b	655-663
Gürcan SAMTAŞ, Salih KÖRUCU Kriyojenik İşlem Görmeyen An7075 (Almg.) Alüminyum Alaşımının Frezelemesinde Yüze Pütüklülüğü İçin Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu Optimization of Cutting Parameters For Surface Roughness In Milling of Cryogenic Treated An7075 (Almg.) Aluminum Alloy	665-673
M. Hamed CALP İşletmeler için Personel Yemek Talep Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini Edilmesi An Estimation of Personnel Food Demand Quantity For Businesses by Using Artificial Neural Networks	675-686
Ezgi NAZMAN, Hülya Olmus, Semra ERBAŞ Investigating Some Classification Methods To Evaluate Efficiency Results: A Case Study By Using Conjoint Analysis Etkinlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi İçin Bazı Sınıflama Yöntemlerinin İncelenmesi: Koçojnt Analizi Kullanarak Bir Örnek Çalışma	687-694
Hakan ÖCAL, İ. Alper DOĞRU, Necattin BARIŞÇI (Derleme Makalesi / Review Article) Akıllı Ve Geleneksel Giyilebilir Sağlık Cihazlarında Nesnelerin İnterneti Internet of Things In Smart and Conventional Wearable Healthcare Devices	695-714
Zelha SELEK, Murat PINARLIK Yeşilirmak Havzası Çalkınak Barajı Rezervuarındaki Sediment Birikiminin Anayştırılması A Study On The Reservoir Sedimentation of Çalkınak Dam Located in the Yeşilirmak River Basin	715-721
Biçe Coşkun FİLİZ Farklı Alüminyum Kaynaklarından Co-Al İçerikli Metal Oksitlerin Üretimi ve Yapısal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi The Synthesis of Co-Al Based Metal Oxides From Different Aluminum Sources and Their Effect On The Structural	723-728
Mehmet Aytaç ÇINAR Transformatörlerde Kazın Kayıplarının Azaltılmasında En Uygun Yatay Süt Eleman Boyutu Ve Konumunun Parametrik Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi Investigation of the Optimal Dimension and Location of Horizontal Sluims in Transformers With Parametrical Finite Element Analyses	729-736
Cemal KOÇAK, Hacı Bayram KARAKURT Yapay Sinir Ağları ile Kabloşuz Yerel Alan Ağlarında Veri Trafik Optimizasyonu Data Traffic Optimization in Wireless Local Area Networks With Artificial Neural Networks	737-747
Nuray CANIKOĞLU Zno Havasının Mgnezyumun Alüminat Spinel'in Özelliklerine Etkisi The Effect of Zno Addition on Properties of Magnesium Aluminate Spinel	749-754
Eyyüp Ensar BASAKIN, Mehmet ÖZGER, Necati Erdem ÜNAL Gri Tahmini Yöntemi ile İstanbul Su Tüketiminin Modellemesi Water Consumption Model of İstanbul City By Gray Prediction Method	755-761
Mevlüt Yunus KAYACAN, Nihat YILMAZ Düas Eklenelel İmalata Süreç ve Maliyet Modeli Geliştirilmesi Düas Additive Manufacturing Process and Cost Model Development	763-770
Halime GÜDÜL, Emad AYDIN, Aydın DEMİR Kızıldağ (Alnus glutinosa Subsp. Barbata (C.A. Mey.) Yalt.) Koutplaklarının Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Dikim Aralığının Etkisi Effect of Plantation Spacings On Some Technological Properties of Alder (Alnus glutinosa Subsp. Barbata (C.A. Mey.) Yalt.) Plywood	771-777
Adem TEKEREK Support Vector Machine Based Spam Sms Detection Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Spam Sms Tespiti	779-784
MUSTAFA BURUNKAYA Hassas Tarım Uygulamaları için Yeni Nesil Damla Sulama Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi Design and Implementation of A New Generation Drip Irrigation System for Use in Precision Agriculture Application	785-792
Mehmet Burak ŞENOL, Aylin ADEM, Metin DAĞDEVİREN En Etkili Lojistik Faktörleri Belirlenek için Bulanık Bir ÇİKKV Yaklaşımı A Fuzzy MCDM Approach to Determine the Most Influential Logistic Factors	793-800

# POLİTEKNİK DERGİSİ

## Journal of Polytechnic

# POLİTEKNİK DERGİSİ



# Politeknik Dergisi

## Journal of Polytechnic

Sahibi / Owner  
**Prof. Dr. İbrahim USLAN**  
Rektör / Rector

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager  
**Prof. Dr. Adnan SÖZEN**  
Dekan / Dean

Editör Yardımcısı / Associate Editor  
**Doç. Dr. M. Tolga ÖZKAN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör / Editor  
**Prof. Dr. Adnan SÖZEN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör Asistanı / Assistant Editor  
**Dr. Serhat KARYEYEN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

### YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

**Prof. Dr. Jose Manuel LOPEZ-GUEDE**, University of the Basque Country  
**Prof Sanjeevikumar PADMANABAN**, University of Johannesburg  
**Prof. Dr. Hacı Bayram KARADAĞ**, İnönü Üniversitesi  
**Prof. Dr. İhsan ALP**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Hilal KURT**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**, Çankırı Karatekin Üniversitesi  
**Prof. Dr. Figen BALO**, Fırat Üniversitesi  
**Prof. Dr. Zafer TEKİNER**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Hakan KESKİN**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Murat YÜCEL**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Mustafa ÖZER**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Hamit SOLMAZ**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**, Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
**Dr. Öğr. Üyesi Kasım SERBEST**, Sakarya Üniversitesi  
**Dr. Öğr. Üyesi Amjad ANVARI-MOGHADDAM**, Aalborg University

### YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

<b>Abid ABU-TAIR</b> , Berzeit University	<b>Murat HOŞÖZ</b> , Kocaeli Üniversitesi
<b>Adel NASİRİ</b> , University of Wisconsin Milwaukee	<b>Musa ATAR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Ali Kemal YAKUT</b> , Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	<b>Mustafa AKTAŞ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Arcan DERECİOĞLU</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Myung Hyun KİM</b> , Kyung Hee University
<b>Arif WANI</b> , California State University	<b>Nadire Şule ATILGAN</b> , Hacettepe Üniversitesi
<b>Ayhan ÖZÇİFTÇİ</b> , Aksaray Üniversitesi	<b>Nizamettin KAHRAMAN</b> , Karabük Üniversitesi
<b>Bekir Sami YILBAŞ</b> , King Fahd University	<b>Nobumasa MATSUI</b> , Nagasaki University
<b>Dilek KUMLUŞAĞ</b> , Dokuz Eylül Üniversitesi	<b>Nusret AS</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>Engin ÖZDEMİR</b> , Kocaeli Üniversitesi	<b>Oğuz TURGUT</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Erol ARCAKLIOĞLU</b> , Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	<b>Osman ISIKAN</b> , Marmara Üniversitesi
<b>Farzollah MIRZAPOUR</b> , University of Zanjan	<b>Peter LUND</b> , Helsinki University of Technology
<b>Hakan YAVUZ</b> , Çukurova Üniversitesi	<b>Ramazan BAYINDIR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Hamit SARUHAN</b> , Düzce Üniversitesi	<b>Ramazan KÖSE</b> , Dumlupınar Üniversitesi
<b>Hani H.W.SAIT</b> , King Abdulaziz University	<b>Ramazan YILMAZ</b> , Sakarya Üniversitesi
<b>Henryka Danuta STRYCZEWSKA</b> , Politechnika Lubelska	<b>Recep ÇALIN</b> , Kırıkkale Üniversitesi
<b>Hüseyin AKILLI</b> , Çukurova Üniversitesi	<b>Recep YAMANKARADENİZ</b> , Bursa Uludağ Üniversitesi
<b>Hüseyin Rıza BÖRKLÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Rodica MILICI</b> , Stefan cel Mare Suceava University
<b>İbrahim DİNÇER</b> , University of Ontario, Institute of Technology	<b>Saffa B. RIFFAT</b> , Nottingham University
<b>İbrahim SEFA</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Sare SAHİL</b> , Gazi Üniversitesi
<b>İhsan KORKUT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Saw Sor HEOH</b> , INTI International University
<b>İlhami ÇOLAK</b> , İstanbul Gelişim Üniversitesi	<b>Sing LEE</b> , Institute for Plasma Focus
<b>İlker USTA</b> , Hacettepe Üniversitesi	<b>Souad A.M.ALBATHI</b> , International Islamic University of Malaysia
<b>İshak KARAKAYA</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Tayfun MENLİK</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Jamal KHATIB</b> , University of Wolverhampton	<b>Turgay AKBULUT</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>Jerzy SMARDZEWSKI</b> , Ponzan University	<b>Ulvi ŞEKER</b> , Gazi Üniversitesi
<b>John KINUTHIA</b> , University of South Wales	<b>Yasin VAROL</b> , Fırat Üniversitesi
<b>Mahmood GHORANNEUISS</b> , Azad University	<b>Yılmaz ARUNTAŞ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Metin GÜRÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Yunus ÇENGEL</b> , Nevada Üniversitesi
<b>Metin İPEK</b> , Sakarya Üniversitesi	

<b>Cilt / Volume : 22</b>	<b>Sayı / Issue : 3</b>	<b>Eylül / September : 2019</b>
<p>Politeknik Dergisi Gazi Üniversitesi tarafından yılda <b>dört sayı</b> olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic has been published <b>four issues</b> per year by Gazi University</p>		

<b>BU SAYIYA (CİLT 22 SAYI 3) KATKI VEREN HAKEMLER (REVIEWERS)</b>		
Abdullah KARAOĞLANLI	Hakan ATEŞ	Mehmet ÖZKAYMAK
Abdullah TOGAY	Halil DEMİR (4 kez)	Mehmet TEKEREK
Adife Şeyda YARGIÇ	Halit Eren FİGEN	Mehmet UÇAR
Adnan AKKURT (2 kez)	Hamit SARUHAN	Metin KAPIDERE (2 kez)
Adnan SÖZEN	Hasan HEPERKAN	Mevlüt ERSOY
Ahmet Cihangir YALINKILIÇ	Hatice ÇITAKOĞLU	Musa ATAR
Ali ÇELİK	Hülya DURMUŞ	Mustafa BOZ
Ali GÜNGÖR	Hülya OLMUŞ	Mustafa GÜNAY
Ali SAYGIN	Hüseyin ÇAKIR	Müge ADNAN
Alper BÜYÜKKARAGÖZ	Hüseyin POLAT (3 kez)	Naci BÜYÜKKARACIĞAN
Ayhan GÖLCÜKCÜ	İbrahim ÇİFTÇİ	Oğuz TURGUT
Bilge DEMİR	İhsan TOKTAŞ	Orhan ERDEN
Burak FELEKOĞLU	İlknur KARS DURUKAN	Orhan KAPLAN
Canan KANDİLLİ	İsmail ŞAHİN	Ömer DEPERLİOĞLU
Ecir KÜÇÜKSİLLE	İsmail TEKE	Özgür EKİCİ
Erdem ÇİFTÇİ	Kurtuluş BORAN	Saadet PABUCCUOĞLU
Ertuğ AYDIN	Lütfü NAMLI	Semra TÜRKAN
Eyüp AKÇETİN	M. Tolga ÖZKAN (2 kez)	Sündüz DAĞ
Eyüp Burak CEYHAN	Mahmut İZCİLER	Şener KARABULUT
FATİH APAYDIN	Mediha İPEK	Şerafettin EREL
Fulya ASLAY	Mehmet Ali YURDUSEV	Yunus KAYIR
GÖKHAN GÖKMEN	Mehmet CANAL	Yüksel TERZİ
Gür Emre GÜRAKSIN	Mehmet Erdal KARA	Zeliha SELEK
Hakan ADA	Mehmet ÖZALP	

<p><b>Yazışma Adresi / Correspondence Address :</b></p> <p>Politeknik Dergisi Editörlüğü Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü 06500 Teknikokullar ANKARA –TÜRKİYE</p> <p><b>Tel :</b> 0312-202 34 12 <b>Fax :</b> 0312-212 00 59 <b>Elektronik Posta Adresi / e-mail :</b> politeknik@gazi.edu.tr</p>
---

<p>Teknik Sorumlu / Technical Manager: <b>Erdem ÇİFTÇİ</b></p> <p>Dizgi / Compositor: <b>İdris ÖZÇELİK</b></p>
--

<p><b>e - ISSN : 2147-9429</b></p>
------------------------------------



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Dilimlenmiş elma ve havucun ısı pompası tekniği ile kurutulması: performans analizi

### *Drying of sliced apple and carrot with heat pump technique: performance analysis*

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa AKTAŞ<sup>1</sup>, Meltem KOŞAN<sup>2</sup>, Cem ÇATALBAŞ<sup>3</sup>, Mert GÖK<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-1187-5120

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-7311-9342

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-9504-5823

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0001-5255-8282

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Aktaş M., Koşan M., Çatalbaş C. ve Gök M., “Dilimlenmiş elma ve havucun ısı pompası tekniği ile kurutulması: performans analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 523-529, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.534443

# Dilimlenmiş Elma ve Havucun Isı Pompası Tekniği ile Kurutulması: Performans Analizi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mustafa AKTAŞ, Meltem KOŞAN\*, Cem ÇATALBAŞ, Mert GÖK**

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye  
(UMAS'17 Sempozyumunda sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir.)

(Geliş/Received : 12.01.2017 ; Kabul/Accepted : 23.02.2019)

## ÖZ

Bu çalışmada, atık ısı kaynaklı ısı pompalı bir kurutucuda 2 mm kalınlıkta dilimlenmiş havuç ve elma dilimleri 40 °C sıcaklıkta ve 1,5 m/s kurutma havası hızında kurutulmuş, kurutma kinetikleri ve sistem performansları analiz edilmiştir. Kurutma sistemi; frekans invertörlü fan, ısı pompası sistemi ve yük hücreli kurutma odasından oluşmaktadır. Deneysel veriler ile elde edilen nem içeriğindeki değişim havuç için 7,19 g su/g kuru madde miktarından 0,098 g su/g kuru madde miktarına 9 saatte, elma için 4,55 g su/g kuru madde miktarından 0,13 g su/g kuru madde miktarına 11 saatte gerçekleşmiştir. Isı pompası tüm sistem performans katsayıları ise havuç için 3 - 3,44 arasında ve elma için 3,15 - 3,43 arasında değişiklik göstermiştir. Kurutma odasından çıkan atık havanın evaporatör yüzeyine gönderilmesiyle ısı pompasının performans katsayısının arttığı görülmüştür, evaporatör yüzeyine gönderilen bu havanın %70 i atık havadan %30 u ise ortam havasından oluşmaktadır. Performansı test edilen bu atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipinin özellikle düşük sıcaklıklarda sebze-meyve ve diğer kurutma uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, ısı pompası, havuç dilimi, elma dilimi.

# Drying of Sliced Apple and Carrot with Heat Pump Technique: Performance Analysis

## ABSTRACT

In this study, 2 mm thick sliced carrots and apple slices were dried at a temperature of 40 °C and a drying air velocity of 1.5 m/s in heat pump dryer which has a waste heat source, and drying kinetics and system performances were analyzed. Drying system consists of fan with frequency inverter, heat pump system and drying chamber with load cell. The change in moisture content obtained with the experimental data was from 7,19 g water/g the amount of dry matter to 0,098 g water/g the amount of dry matter for carrot at 9 hours, and from 4,55 g water/g the amount of dry matter to 0,13 g water/g the amount of dry matter for apple at 11 hours. Whole system heat pump performance coefficient values were varied between 3 and 3,44 for carrots and between 3,15 and 3,43 for apples. It is seen that the performance coefficient of the heat pump is increased by transferring the waste air from the drying chamber to the evaporator surface, and 70% of this air sent to the evaporator surface is composed of waste air and 30% is composed of ambient air. It has been observed that heat pump dryer prototype, which has been tested for performance, can be used successfully in vegetable-fruit and other drying applications, especially at low temperatures.

**Keywords:** Drying, heat pump, carrot slice, apple slice.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanların yaşamlarını sürdürüebilmeleri için devamlı olarak enerji ihtiyaçlarını karşılamaları gerekmektedir. Bu sebeple enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için bitkisel gıdaların kullanımına yönelmişlerdir ancak her mevsimde çeşitli gıdalara ulaşılamadığı için ürünlerin uzun süre muhafaza edilmesi gerektiği görülmüştür. Zamanla çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en ideal olanlarından birisi de kurutarak muhafaza yöntemidir. Gıda kurutması, gıdaların bozulmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması için gıdalardaki nemin farklı yollar ile uzaklaştırılması işlemidir. Gıda kurutma işleminde iki önemli unsur bulunmaktadır; bunlar, ürünün kalitesinde bozulmanın

önlenmesi ve kurutma için kullanılan enerjinin azaltılmasıdır. Günümüzde hala kullanılan ve en eski yöntem olan güneşte sergi yöntemiyle kurutma, kurutma kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ancak teknolojiye bağlı olarak daha kaliteli kurutma metotları geliştirilmeye çalışılmaktadır [1,2].

Kurutma, kurutma sistemleri ve teknikleri, elma ve havucun kurutulması ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Özgen [3] konvektif tip bir kurutucu tasarlayarak elmanın kuruma özelliğini deneysel olarak araştırmıştır. 45 °C sabit kuruma havası sıcaklığı ve 0,5, 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızı için yaptığı deneylerde kurutma havası hızının kurutma süresi üzerinde önemli rol oynadığını görmüştür. Elmanın kuruma süresini 1,5 m/s için 150 dakika, 1 m/s için 225 dakika ve 0,5 m/s için 285 dakika olarak analiz etmiştir. Taze olarak kullanılan elmaları renkleri kararmadan

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mlmkosan@gmail.com

başarılı bir şekilde kurutabilmiştir. Wang vd. [4] ince dilimlenmiş elmaları 75, 85, 95 ve 105 °C sıcaklıklarda ve 1.2 m/s hava hızında kurutmak için gerçekleştirdikleri bir çalışmada farklı matematiksel modeller incelemişlerdir ve nem transferinde logaritmik modelin daha iyi tahminler sunabildiğini göstermişlerdir. Zlatanovic vd. [5] ince tabaka elma küplerinin sıcaklık, bağıl nem, hız ve malzeme boyutlarının kuruma kinetiğine bağımlılığını deneysel olarak araştırmışlar ve Henderson & Pabis matematiksel model ile kıyaslamışlardır.

Demiray [6] sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma, mikrodalga kurutma ve bunların çeşitli kombinasyonlarını kullanarak havuç ve kırmızıbiber kurutmuştur. Araştırmada kullanılan havuç ve kırmızı biber örneklerinin kuruma karakteristiklerini belirlemiş ve yarı teorik kurutma modellerinden Page ve Modifiye Page modellerinin deneysel nem oranı değişimini en iyi tanımlayan modeller olduğunu belirtmiştir. Mengeş ve Ertekin [7] 3, 6, 9 mm kalınlıkta halka şeklinde dilimlenmiş havuçları 55, 65, 75 °C sıcaklıkta ve 2 ve 3 m/s kurutma havası hızlarında kurutarak kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttığında kuruma hızının ve efektif difüzyon katsayısının da arttığını, havuç dilimlerinin kalınlığı arttığında ise kuruma hızının azaldığını ve efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Erbay vd. [8] havuç dilimlerini dondurarak kurutarak renk ve rehidrasyon özellikleri üzerine farklı antioksidan çözeltilerin etkilerini araştırmışlardır.

Phani vd. [9] kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli bir kurutma sistemi tasarlamışlar ve deneysel olarak analiz etmişlerdir, araştırmacılar ürün kalitesi optimizasyonu için düşük sıcaklıklarda (30-35 °C) bazı özel bitkileri kurutmuşlardır, çeşitli mahsüller için özgül nem çekme oranını (SMER) 0,06-0,61 kg/kWh aralığında hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucunun elektrikli tel ısıtıcı konvansiyonel sisteme kıyasla %22 enerji tasarrufu sağladığını ve kuruma süresinin %65 azaldığını tespit etmişlerdir. Atalay [10] güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemi ile kurutma sistemi geliştirmiştir. Güneş enerjili kurutucuda performans etki eden faktörleri deneysel olarak belirlemiştir. Isı depolama sistemi olarak izolasyonlu çakıl taşı yataklı bir sistem tasarlanarak imalatını gerçekleştirmiştir. Bu sistemde 5-10 mm kalınlığındaki elma dilimlerinin kuruma davranışlarını incelemiştir. Yapılan kurutma sistemini düşük nem ve sıcaklık değerlerinde kurutulan ürün kalitesi için olumlu bir etki yarattığını belirtmiştir.

Havuç ve elma yaklaşık %88 oranında su içermektedir. Bu ürünlerin kurutulması sonucunda yaklaşık 10 kg yaş üründen 1 kg kuru ürün elde edilmektedir. Kurutma esnasında üründeki su buharlaşır ve ürünün öz kısmı kalır. Kurutma yapıldıktan sonra üründeki besin değerleri özellikle karbonhidrat, vitamin, protein oranları çok yükselmiş olur. Havuç ve elmanın kurusunun dünya sebze-meyve pazarındaki ticari öneminin büyük olması ve Türkiye’de bol miktarda havuç ve elmanın bulunması

sebebiyle bu çalışmada ürün olarak elma ve havuç seçilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında sonucunda düşük sıcaklıkta kurutma yapılması ile besin değerlerinin korunduğu görülmüştür. Bu çalışmada, ısı pompalı kurutucu prototipinde elma ve havuç kurutularak sistem test edilmiş ve termodinamik analiz yapılmıştır. Bu prototipi diğer ısı pompalı sistemlerden ayıran en önemli unsur, kurutma odasından çıkan atık havanın dış hava ile karıştırılarak evaporatör yüzeyine gönderilmesidir.

## 2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Isı pompası çevriminde temek olarak kompresör, kondenser, genleşme vanası ve evaporatör bulunur. Isı pompaları hava, su ve toprak kaynaklı olmak üzere 3 gruba ayrılır. Yapılan bu çalışmada hava kaynaklı bir ısı pompası sistemi kullanılarak elma ve havuç dilimleri kurutulmuştur. Kurutma için gerekli olan ısı sistemin kondenserinden sağlanmaktadır. Kondensere sağlanan ısı [11]:

$$\dot{Q}_{kon} = \dot{m}_{gh}(h_{ch} - h_{gh}) \quad (1)$$

$$\dot{m}_{gh} = \rho_{gh} \cdot \dot{V}_{gh} \quad (2)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada  $\dot{Q}_{kon}$  kondensere atılan ısıyı,  $\dot{m}_{gh}$  kondensere giren havanın kütleli debisini,  $h_{gh}$  kondensere giren havanın entalpisini,  $h_{ch}$  kondensere çıkan havanın entalpisini,  $\rho_{gh}$  kondensere giren havanın yoğunluğunu,  $\dot{V}_{gh}$  kondensere giren havanın hacimsel debisini ifade etmektedir.

İdeal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı  $COP_{c,h}$  Carnot çevrimi ile hesaplanır, burada  $T_K$  kondenserin bulunduğu ortam sıcaklığını,  $T_E$  evaporatörün bulunduğu ortam sıcaklığını ifade etmektedir [12]:

$$COP_{c,h} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (3)$$

Uygulamada ısı pompasının kompresöründe elektrik enerjisi tüketimi meydana gelmektedir. Sistemde bulunan diğer ekipmanlarda enerji tüketebilir, örneğin fan, pompa v.b. Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı  $COP_{IP}$  aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır, burada  $\dot{W}_c$  kompresör gücünü,  $U$  şebeke gerilimini,  $I_c$  ise kompresörün şebekeden çektiği akımı ifade etmektedir [13]:

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{kon}}{\dot{W}_c} \quad (4)$$

$$\dot{W}_c = U \cdot I_c \quad (5)$$

Tüm sistem için ısıtma tesir katsayısı  $COP_{sistem}$ ’in hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılır, burada  $t$  sistemin çalışma süresini,  $E_{tüketim}$  çalışma süresi boyunca tüketilen elektrik enerjisini,  $\dot{W}_f$  fan gücünü ifade etmektedir:

$$COP_{sistem} = \frac{\dot{Q}_{kon} \cdot t}{E_{tüketim}} \quad (6)$$

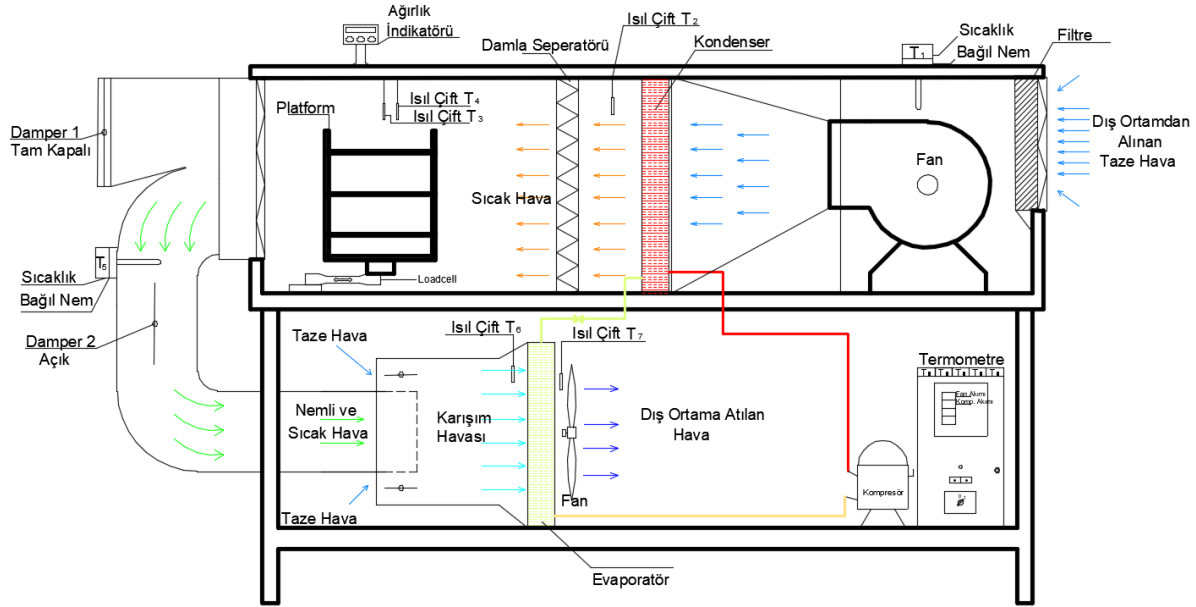
$$E_{tüketim} = (\dot{W}_c + \dot{W}_f) \cdot t \quad (7)$$

Elma ve havuçlardaki kuru baza göre nem içeriği  $MC_{KA}$ 'nın hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır, burada  $YA$  yaş ürün ağırlığını,  $KA$  kuru ürün ağırlığını ifade etmektedir:

$$MC_{KA} = \frac{YA-KA}{KA} \quad (8)$$

Elma ve havuçlardaki yaş baza göre nem içeriği

ısıtılması, yaş ürünündeki nemin buharlaştırılması ve toplam ısı kayıplarından oluşur. Şekil 1'de verilen atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipi ısı pompası sistemi, frekans invertörlü fan ve yük hücresi üzerinde ürünlerin asılarak kurutulabileceği bir platforma sahip kurutma odasından oluşmaktadır. Atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipinde kurutma havası sıcaklık



Şekil 1. Atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipi (Waste heat source heat pump dryer prototype)

$MC_{YA}$ 'nın hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$MC_{YA} = \frac{YA-KA}{YA} \quad (9)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [14].

Kurutma sırasında elma ve havuçlardaki nem oranı  $MR$ 'nin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılabilir:

$$MR = \frac{MC_{KA(t)} - MC_e}{MC_{KA(0)} - MC_e} \quad (10)$$

Burada  $MC_{KA(t)}$ , t anındaki kuru baza göre nem içeriğini,  $MC_e$ , kuru baza göre denge nemi içeriği ve  $MC_{KA(0)}$ , başlangıçtaki nem içeriğidir. Ancak, taze meyvelerin yüksek nem içeriği nedeniyle, formül aşağıdaki gibi yazılabilir [15]:

$$MR = \frac{MC_{KA(t)}}{MC_{KA(0)}} \quad (10a)$$

elma ve havuçlardaki nem oranı eşitlik (10a) kullanılarak hesaplanmıştır.

Kurutma sırasında birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütlesi nem alma hızı (MER) olarak adlandırılmaktadır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir [16]:

$$MER = \left( \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{kuruma süresi}} \right) \quad (11)$$

### 3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bir kurutma prosesinde gerekli ısı yükü; kurutulacak ürünün ısıtılması, kurutma odasının iç kısmındaki materyallerin ısıtılması, kurutma için gerekli havanın

değeri set edilerek, kurutma odasının sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur. Bu prototipte kurutma için gerekli ısı yükü hesaplanarak evaporatör, kondenser, kompresör güç değerleri belirlenmiştir.

Isı pompalı kurutma proseslerinde genel olarak atmosferden alınan dış hava, ısı pompası sisteminin kondenserinden aldığı ısıyla birlikte ürün yüzeyine gönderilir. Kondenserden aldığı ısıyla ürünündeki nemi buharlaştıran hava ürünündeki nemi bünyesine alarak dış ortama atılır. Isı pompaları için en önemli husus kondenserden sağlanan ısının sürekliliği için evaporatördeki soğutucu akışkanın tamamen buharlaşmasıdır. Bu nedenle atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipinde dış ortamdan ortalama 21 °C sıcaklıkta ve %38 bağıl nemde fan yardımıyla alınan hava, kondenser yüzeyinden geçirilerek ısıtılmaktadır, 40 °C sıcaklıktaki hava kurutma odasında ürün yüzeyine gönderilerek ürünün ihtiva ettiği nemi bünyesine almaktadır. Kurutma odası çıkışında hava ortalama 35 °C sıcaklığa %21 bağıl neme sahiptir. Bu nemli ve sıcak hava, dış ortamdan alınan taze hava ile belirli bir oranda karıştırılarak evaporatör yüzeyine ısı pompasının ısıl dengesini sağlamak için gönderilmektedir. Son olarak evaporatörden çıkan hava atmosfere atılmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda evaporatör yüzeyinden geçen karışım havasının %30'unu ortam havası %70'ini ise atık hava oluşturmuştur. Prototipte ısı pompasının ısıtma kapasitesi 3.7 kW olup, soğutucu akışkan olarak R410A gazı kullanılmıştır.

Tepsili sistem kurutucularda, sıcak ve kuru hava ürünün tamamına temas etmediği için ürünün homojen olarak kurutulmadığı bilinmektedir. Bu çalışma ile Şekil 1’de tasarımı yapılan atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucu prototipinde, kurutma odasına dilimlenmiş yaş maddeler homojen olarak asılarak, havanın kurutulacak yaş maddeye daha fazla temas etmesi sağlanmıştır. Böylece hem ısı-kütle transferi artırılmış hem de ürünler homojen olarak kurutulmuştur.

### 3.1. Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi (Determination of Dry Matter Quantity)

Deneylere başlanmadan önce temin edilen havuç ve elmaların kuru madde miktarının belirlenmesi için ön hazırlık işlemleri yapılmıştır. Kuru madde miktarının belirlenmesindeki prensip havuçların ve elmaların sıcaklığını kontrol altında tutulabildiği bir fırında 105 °C’de son iki ölçüm arasındaki ağırlık değişimi %1’ in altına düşene kadar kurutulmasıdır. Burada meydana gelen kütle kaybıyla ürünlerdeki nem miktarı belirlenmiştir.

Kuru madde miktarının belirlenmesi sırasında aşağıdaki işlemler sırasıyla takip edilmiştir:

- Deneylerden önce havuç ve elmalar 2 mm kalınlığında dilimlenmiştir.
- Havuçlar ve elmalar 105 °C sıcaklık değerinde kurutma fırınında kurutulmaya başlanmıştır.
- Ağırlık değişimi saatte bir takip edilerek son iki ölçüm arasındaki fark %1’ den az oluncaya kadar kurutma işlemine devam edilmiştir ve fark %1 in altına düştüğünde ürünler kuru kabul edilmiştir. Saatte bir alınan ağırlık ölçümleri dijital ortamda kaydedilmiştir. Ağırlık ölçümlerinde RADWAG marka PS 510.R1 model tartı kullanılmıştır. Ürünlerin kuru baza göre başlangıç nem miktarı Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmıştır.

### 3.2. Ürünlerin Kurutulması (Drying of Products)

Başlangıç nem miktarları belirlendikten sonra 500 gram yaş ürün (ilk deney havuç sonra elma) hava ile temas yüzey alanının artırılması amacıyla 2 mm kalınlıkta dilimlenerek iplere asılmış ve hava akışına dik

pozisyonda kurutucudaki platforma yerleştirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Kurutma odasında ürün bulunmayan yan bölgeler kapatılarak havanın tamamen ürüne nüfuz etmesi sağlanmıştır. Ürüne temas eden havanın hızı 1,5 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutma sisteminde havuç ve elma için kurutma havası sıcaklık değeri 40 °C olarak belirlenmiştir. Kurutma havası sıcaklığı proses kontrol cihazından set edilerek kurutma işlemine başlanmıştır.

### 3.3. Kurutma İşleminin Sonlandırılması (Completed of Drying Process)

Ürünlerdeki son nem miktarı ve yapılan duyu analizi sonucunda kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

### 3.4. Belirsizlik Analizi (Uncertainty analysis)

Yapılan deneylerde ölçülen değerlerin doğruluğunu etkileyen en önemli parametre, deneyler sırasında farklı nedenlerden dolayı oluşabilecek ölçüm hatalarıdır. Kullanılan cihazların özelliklerine bağlı olarak ölçüm hataları farklılık gösterebilir. Bu hatalar için belirsizlik analizi adı verilen hassas bir yöntem kullanılmaktadır. Belirsizlik analizi için bir değer ölçülmesinde olabilecek hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı eşitlik (12)’de verilen denkleme göre yapılabilir [17].

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Burada  $w_1, w_2, \dots, w_n$  her bir bağımsız değişkene ait hata oranları,  $R, x_1, x_2, \dots, x_n$  ise bağımsız değişkenlerdir. Bu çalışmada kullanılan cihazların teknik özellikleri ve hata oranları Çizelge 1’de verilmiştir.

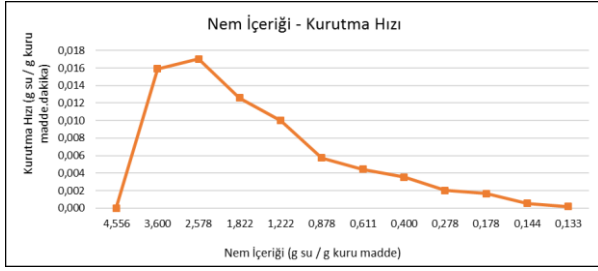
## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada Türkiye’de çok miktarda yetiştirilen elma ve havuç, uygulanan kurutma yöntemi ile atık ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucuda homojen olarak kurutulmuştur. Elma için yapılan deneyde nem içeriği-kurutma hızı değişimi Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Cihazların teknik özellikleri (Technical properties of equipments)

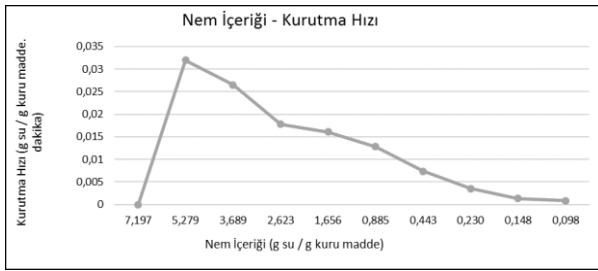
Kullanılan Cihaz	Teknik Özellikleri	Hata Analizi
Isıl çift	Sıcaklık 0-1200 °C, ±0,1 °C	±0,11 °C
Bağıl nem ve sıcaklık transmitteri	%0-100 bağıl nem için ±%2 ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı -40+120 °C sıcaklıkta ±1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı -10+60 °C	±%2,23 RH ±1,118 °C
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Sıcaklık -20,+70 °C, hız 0-20 m/s ölçüm hassasiyeti ±0,01 m/s, ±0,1 °C, NTC sensör	±0,0141 m/s ±0,15 °C
Ağırlık ölçer (Loadcell)	5 kg kapasite, 40-80 °C, 5-12 (DC), hassasiyeti ±%0,02	±%0,025
Dijital Tartı	Kapasite 6100 g, ölçüm hassasiyeti ±0,01g	±%0,2601





Şekil 2. Elma deneyinde nem içeriği-kurutma hızı değişimi (Moisture content-drying rate change for apple experiment)

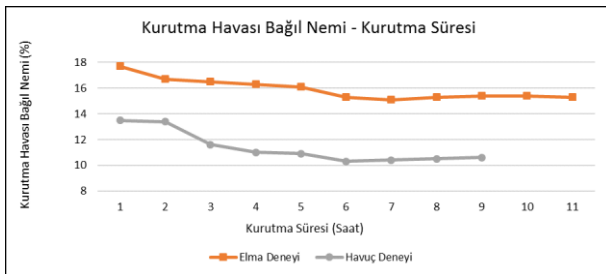
Havuç için yapılan deneyde nem içeriği kurutma hızı değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Havuç deneyinde nem içeriği-kurutma hızı değişimi (Moisture content-drying rate change for carrot experiment)

Kurutma hızı her iki deneyde de başlangıçta yükselmiş ve daha sonra azalan bir eğim göstermiştir. Yüksek kuruma hızlarında elmadaki nem daha hızlı uzaklaşmaktadır.

Deneylerde elma ve havuç kurutulması esnasında kurutma havasının bağıl neminin değişimi Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi bağıl nem elma için 15,9, havuç için 11,3 aralığındadır.

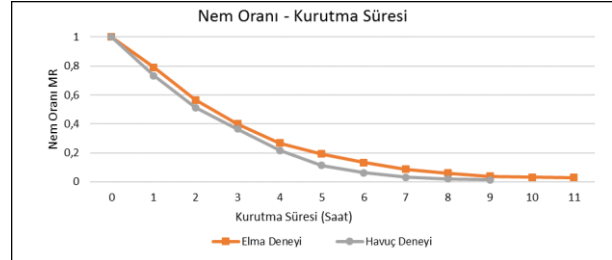


Şekil 4. Kurutma süresince kurutma havasının bağıl nem değişimi (Change of relative humidity of drying air during drying)

Elma dilimleri 40 °C kuru termometre sıcaklığında ortalama %15,9 bağıl nemde ve 1,5 m/s hava hızına sahip kurutma havası ile kuru baza göre 4,55 g su/g kuru madde miktarından 0,13 g su/g kuru madde miktarına 11 saatte düşürülmüştür. Dilimlenmiş havuçlar ise 40 °C kuru termometre sıcaklığında ortalama %11,3 bağıl nemde ve 1,5 m/s hava hızına sahip kurutma havası ile kuru baza

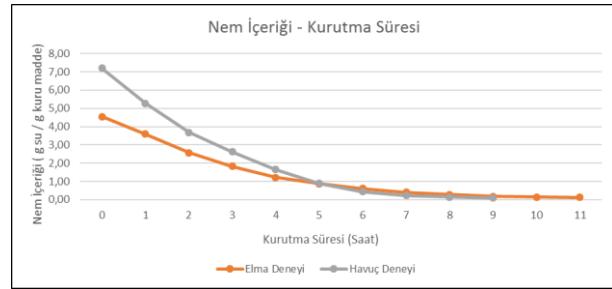
göre 7,19 g su/g kuru madde miktarından 0,098 g su/g kuru madde miktarına 9 saatte düşürülmüştür.

Kurutma süresi boyunca elma ve havuç için nem oranının değişimi Şekil 5’te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi zamana bağlı olarak nem oranı oldukça dengeli şekilde azalan eğim göstermiştir.



Şekil 5. Nem oranı-kurutma süresi değişimi (Moisture rate-drying time change)

Kurutma süresi boyunca elma ve havuç için nem içeriğinin değişimi Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Nem içeriği-kurutma süresi değişimi (Moisture content-drying time change)

Şekil 6’da görüldüğü gibi elma dilimleri kuru baza göre 4,55 g su/g kuru madde miktarından 0,13 g su/g kuru madde miktarına 11 saatte düşürülmüştür. Havuç dilimleri ise kuru baza göre 7,19 g su/g kuru madde miktarından 0,098 g su/g kuru madde miktarına 9 saatte düşürülmüştür.

Sonuç olarak tarım ürünlerinin taze bir şekilde, yetiştirildiği bölgeden diğer bölgelere aktarılması gerekmektedir. Ancak bu aktarım sırasında ürün özelliklerinin bozulmaması, besin değerlerini kaybetmemesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle ürün özelliklerinde herhangi bir bozulma olmadan aktarım şartlarının kolaylaştırılması ve birim hacimde daha fazla ürün aktarılabilmesi için ürünün ihtiva ettiği nemin üründen uzaklaştırması yani kurutulması gerekir.

Türkiye’de 2016 yılında 2925828 ton elma, 554736 ton havuç üretilmiştir. Bu üretimlerden 132232 ton elma ve 69944 ton havuç ihracatı yapılmıştır. Bu veriler ele alındığında üretilen elma ve havucun bir kısmının kurutulması ile bu ürünlerden her mevsim faydalanılabilir ve kuru ürünlerin de ihracatı yapılarak ülke ekonomisine katkıda bulunulması mümkündür [18,19].

**Çizelge 2.** Isı pompası uygulaması ile ilgili önceki bazı çalışmalar (Some previous work on heat pump application)

	Soğutucu Akışkan	COP <sub>Sistem</sub>	COP <sub>Isı Pompası</sub>
Sivasakthivel ve ark. [20]	R22	3,1-2,8	3,3-3,5
Zhang ve ark. [21]	R134a	1,95- 4,35	3,36-5,94
Aktaş ve ark. [22]	R134a	2,4-3,2	2,8-3,7
Queiroz ve ark. [23]	-	2,14-2,20	2.56–2.68
Hepbasli ve ark. [24]	R22	1,339	1,656
Kuang ve Wang [25]	R22	2,1-2,7	2,6-3,3
Esen ve ark. [26]	R22	2,68-2,82	3,13-3,42
Aktaş ve ark. [27]	R410a	2,62	4,06
Bu çalışma havuç deneyi	R410a	3-3,44	3,47-4
Bu çalışma elma deneyi	R410a	3,15-3,43	3,63-4

Bu çalışmada kurutma öncesinde, sırasında ve sonrasında nem miktarının ölçümleri yapılmış kurutma havası sıcaklığı ve hızı kontrol edilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, daha önce yapılmış benzer çalışmalar ile Çizelge 2’de soğutucu akışkan ve performans katsayısı değerlerine göre kıyaslanmıştır. Sonuç olarak elde edilen COP değerlerinin daha önceki birçok çalışmanın üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca hesaplanan nem alma hızları, elma deneyinde 0,036 kg su/ h havuç deneyinde 0,048 kg su /h olarak bulunmuştur.

Deney sonuçlarına göre ısı pompasının performans katsayıları ve nem alma hızları hesaplanmıştır. Kurutma işleminde enerji verimliliği de dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biridir. Verimli kurutma işlemlerinin yapılabilmesi ve en iyi tasarlanabilmesi için literatürde farklı metotlar ve sistemler denenmektedir. Havuç deneylerinde tüm sistemin performans katsayısı 3 - 3,44 arasında, ısı pompasının ise performans katsayısı 3,47 - 4 arasında hesaplanmıştır, elma deneylerinde ise tüm sistemin performans katsayısı 3,15 - 3,43 arasında, ısı pompasının performans katsayısı ise 3,63 - 4 arasında değişiklik göstermiştir.

Şekil 7’de elma ve havuç dilimlerinin kurutma öncesi ve Şekil 8’de de kurutma sonrası elma ve havuç dilimleri görülmektedir.

**Şekil 7.** Kurutma öncesi dilimlenmiş elma ve havuç (Sliced pieces of apple and carrot before drying)**Şekil 8.** Kurutma sonrası dilimlenmiş elma ve havuç (Sliced pieces of apple and carrot after drying)

Şekilde görülen kurutulmuş ürünlerden alınan numuneler duyu analize tabi tutulmuş, ürünlerde herhangi bir renk veya tat bozulmasına rastlanmamıştır, bu nedenlerden ötürü ısı pompalı kurutucu prototipinin özellikle düşük sıcaklıklarda bulunduğu ortamın şartlarına bağlı olmadan sebze-meyve ve endüstriyel kurutma uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Tasarlanan sistem güneş enerjili sistemler ile entegre edilebilir.

#### SİMGE ve KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

$\dot{Q}_{kon}$	Kondenserden sağlanan ısı güç (kW)
$\dot{m}_{gh}$	Sistem giriş havasının kütleli debisi (kg/s)
$\rho_{gh}$	Sistem giriş havasının yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
$\dot{V}_{gh}$	Sistem giriş havasının hacimsel debisi (m <sup>3</sup> /s)
$h_{gh}$	Kondenser giriş havasının entalpisi (kJ/kg)
$h_{çh}$	Kondenser çıkış havasının entalpisi (kJ/kg)
$COP_{c,h}$	İdeal soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı
$T_K$	Kondenserin bulunduğu ortam sıcaklığı (°C)
$T_E$	Evaporatörün bulunduğu ortam sıcaklığı (°C)
$COP_{IP}$	Isı pompası ısıtma tesir katsayısı
$COP_{SİS}$	Sistemin ısıtma tesir katsayısı
$\dot{W}_c$	Kompresörün güç girişi (kW)
$U$	Faz-nötr şebeke gerilimi (V)
$I_c$	Kompresörün şebekeden çektiği akım (A)

$t$	Kurutma sisteminin çalışma süresi (h)
$E_{tüketim}$	Çalışma süresi boyunca tüketilen enerji (kWh)
$W_f$	Çalışma süresi boyunca fanın tükettiği enerji (kWh)
$MC_{KA}$	Üründeki kuru baza göre nem içeriği (g su/g kuru madde)
$MC_{YA}$	Üründeki yaş baza göre nem içeriği (g su/g yaş madde)
$KA$	Ürünün kuru ağırlığı (g)
$YA$	Ürünün yaş ağırlığı (g)
$MR$	Nem oranı
$MC_e$	Üründeki kuru baza göre denge nem içeriği (g su/g kuru madde)
$MER$	Birim zamanda uzaklaştırılan nem (kg su/h)

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gül D., "Aromatik Bitkilerin Kurutulması İçin Isı Pompası Destekli Vakumlu Kurutma Fırını Tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [2] Aktaş M., Ceylan İ. and Doğan H., "Isı Pompalı Endüstriyel Fındık Kurutma Fırınının Modellenmesi", *Politeknik Dergisi*, 8: 329-336, (2005).
- [3] Özgen, F., "Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı," *Mühendis ve Makina*, 55: 42-49, (2014).
- [4] Wang Z., Sun J., Liao X., Chen F., Zhao G., Wu, J. and Hu X., "Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace," *Food Research International*, 40: 39-46, (2007).
- [5] Zlatanovic I., Komatina M. and Antonijevic D., "Low Temperature Convective Drying of Apple Cubes," *Applied Thermal Engineering*, 53: 114-123, (2013).
- [6] Demiray E., "Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi", *Doktora tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [7] Mengeş H.O. and Ertekin C., "Havucun ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2: 353-362, (2006).
- [8] Erbay B., Kıvrak E., Orhan H. and Küçüköner E., "Dondurarak kurutulmuş havuç dilimlerinin renk, rehidrasyon özellikleri ve bazı duyuşsal özellikleri üzerine farklı antioksidan çözeltilerin etkisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13: 229-236, (2009).
- [9] Phani K.A. and Greg J.S., "Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis", *International Journal of Energy Research*, 29: 961-972, (2005).
- [10] Atalay H., "Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli kurutma sisteminde elma kurutulmasının incelenmesi", *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [11] Aktas M., Khanlari A., Amini A. and Şevik S., "Performance analysis of heat pump and infrared-heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology", *Energy Conversion and Management*, 132: 327-338, (2017).
- [12] Şevik S., "Design, experimental investigation and analysis of a solar drying system" *Energy Conversion and Management*, 68: 227-34, (2013).
- [13] Alves O., "Heat Pump Dryers", CRC Press, Boca Raton, 15-25, (2016).
- [14] Ceylan İ. and Aktaş M., "Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23: 215-222, (2008).
- [15] Ghasemkhani H., Keyhani A., Aghbashlo M., Rafiee S. and A.S. Mujumdar, "Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 94:13-23, (2016).
- [16] Gürlek G., Akdemir Ö. and Güngör A., "Gıda kurutulmasında ısı pompalı kurutucuların kullanımı ve elma kurutmada uygulanması", *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim Dergisi*, 21(9): 398-403, (2015).
- [17] Akpınar E.K., "Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: Kurutma deneylerindeki hata analizi", *Mühendis ve Makina Dergisi*, 46(540): 41-48, (2005).
- [18] İnternet : Türkiye İstatistik Kurumu "Yıllara Göre Havuç Üretimi İstatistikleri", <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> (2017).
- [19] İnternet : Türkiye İstatistik Kurumu "Yıllara Göre Elma Üretimi İstatistikleri", <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> (2017).
- [20] Sivasakthivel T., Murugesan K., Kumar S., Hu P. and Kobiga P., "Experimental study of thermal performance of a ground source heat pump system installed in a Himalayan city of India for composite climatic conditions", *Energy and Buildings*, 131:193-206, (2016).
- [21] Zhang S., Zhang L., Wei H., Jing J., Zhou X. and Zhang X., "Field testing and performance analyses of ground source heat pump", *Energy and Buildings*, 133:615-627, (2016).
- [22] Aktaş M, Şevik S., Özdemir M.B. and Gönen E., "Performance analysis and modeling of a closed-loop heat pump dryer for bay leaves using artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, 87:714-723, (2015).
- [23] Queiroz R., Gabas A.L. and Telis V.R.N., "Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers", *Drying Technology*, 22: 1603-1620, (2004).
- [24] Hepbasli A., Akdemir O. and Hancioglu E., "Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system", *Energy Conversion and Management*, 44:527-548, (2003).
- [25] Kuang Y.H. and Wang R.Z., "Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system", *Solar Energy*, 80:795-803, (2006).
- [26] Esen H., İnalli M. and Esen M., "Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey", *Energy Conversion and Management*, 47:1281-1297, (2006).
- [27] Aktas M., Khanlari A., Aktekel B. and Amini A., "Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer", *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 18034-18044, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Kapak etkili hücre içindeki türbülanslı akıma taban geometrisinin etkisi

### *The influence of bottom geometry on turbulent flow field in a lid-driven cavity*

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet YURTSEVEN<sup>1</sup>, Taner ÇOŞGUN<sup>2</sup>, Nurten VARDAR<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-2561-1783

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-1364-0133

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-9042-7029

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yurtseven A., Coşgun T. ve Vardar N., “Kapak etkili hücre içindeki türbülanslı akıma taban geometrisinin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 531-543, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.563581

# Kapak Etkili Hücre İçindeki Türbülanslı Akıma Taban Geometrisinin Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Ahmet YURTSEVEN, Taner ÇOŞGUN\*, Nurten VARDAR**

Gemi İnş. ve Den. Fak., Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 12.02.2018 ; Kabul/Accepted : 15.04.2019)

## ÖZ

Üç boyutlu hücre tabanındaki çıkıntıların (rib), hücre içindeki türbülanslı akıma ve ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada altı farklı Reynolds sayısı, iki farklı çıkıntı geometrisi (kare ve köşeleri yuvarlatılmış kare) ve dört farklı yerleşim kullanılmıştır. Çıkıntı bölgelerindeki akım çizgileri, hız alanları, sıcaklık dağılımları ile birlikte Nusselt sayısının alt yüzeydeki değerleri ve değişimi incelenmiştir.

Çıkıntıların oluşturduğu hücrecikler içerisindeki küçük girdaplar nedeniyle taban yakınındaki akımın hücre içindeki ana akımdan büyük oranda bağımsız davranış gösterdiği ve taban geometrisinin ortaya çıkardığı hidrodinamik yapının ısı transferi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Toplam ısı transfer katsayısının bütün Reynolds sayılarında keskin köşeli kare kesitli çıkıntı geometrisi ve rib yükseklik genişlik oranının eşit olması durumundan belirgin şekilde etkilendiği ve ısı transferinin en fazla bu durumda azaldığı görülmüştür. Belirli bir Reynolds sayısı aralığında toplam ısı transfer katsayısındaki azalma %25 mertebelerine ulaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kapak etkili hücre, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), ısı transferi, çıkıntılı yüzeyler.

# The Influence of Bottom Geometry on Turbulent Flow Field in a Lid-Driven Cavity

## ABSTRACT

In this study, the effect of rib structures on the turbulent flow and heat transfer have been investigated numerically. six different Reynolds Numbers, two different rib geometry (sharp-edged square and rounded-edged square) and four different rib layout are carried out. Streamlines close to the ribbed area, velocities, temperature distributions and Nusselt Number distributions on the bottom surface are investigated.

The results shows that, flow near the bottom surface behaves independently by the reason of small stable vortices arises among the little cavities between the rib geometries and this hydrodynamic field created by the bottom geometry has significant effects on heat transfer. Besides, it is found that, for all Reynolds numbers, the total heat transfer coefficient is prominently influenced in case of sharp edged square rib cross section, and most reduction on the heat transfer is observed in this case. The reduction in the total heat transfer coefficient in a given Reynolds number range has reached 25%.

**Keywords:** Lid driven cavity flow, Computational Fluid Dynamics (CFD), heat transfer, ribbed surfaces.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bütün kenarları sabit dururken yüzeylerden birinin hareketi ile sağlanan hücre içi akışkan hareketi kapak etkili hücre problemi olarak adlandırılır. Basit geometrisi ve hücre içerisindeki karmaşık akım yapısı nedeni ile çok sayıda araştırmacı sayısal çözümlerini doğrulamak için kapak etkili hücre akımını test problemi olarak kullanmıştır [1-6]. Kapak etkili hücre problemi aynı zamanda farklı mühendislik uygulamaları için, örneğin entegre devrelerin soğutulması, güneş panellerinin etkinliklerinin artırılması, doğrusal hareketli hidrolik sistemlerdeki sızdırmazlık problemleri, iç mekanların havalandırılması, ısı değiştiriciler gibi uygulamalar ile doğadaki göller ve rezervuarların modellenmesi için çok elverişlidir [7-10].

Literatürde kapak etkili hücre içindeki akım ve ısı transferi ile ilgili çok sayıda sayısal çalışma bulunmaktadır. Prasad ve Koseff [11, 12] yapmış oldukları çalışmalarda kapak etkili hücre içi akışı deneysel olarak inceleyerek hücre geometrik boyutlarının düşük Reynolds sayılarında oldukça etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Mohamad ve Viskanta [13] alt yüzeyden ısıtılan hücre içindeki akımı sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Iwatsu vd. [14] çalışmalarında hücre içinde kapak etkisi ile akışın sürüklenmesi ve kaldırma kuvveti arasındaki denge ile ortaya çıkan termal katmanlı akışı sayısal olarak incelemişlerdir. Wang ve Chen [15] eğrisel yüzeye sahip kanal akışlarında Reynolds ve Prandtl sayılarının sürtünmeye ve ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Al-Amiri vd. [16] çalışmalarında sinüzoidal taban yüzeyine sahip kapak etkili hücre içi akışta ısı transferini araştırmış ve düşük Richardson sayılarında, geniş dalgalarda en efektif ısı transferi mekanizmasının sağlandığını tespit

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : tcosgun@yildiz.edu.tr

etmişlerdir. Barletta ve Nield [17] kapak etkili kare hücre içerisindeki laminer akımı Galerkin sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Cheng, Liu [18] ve Basak vd. [19], düzgün ya da düzgün olmayan ısıtmanın hücre içindeki akıma etkisini sayısal olarak incelemiştir. Ji vd. [20] hareketli üst yüzeyi alt yüzeyden daha yüksek sıcaklıkta olan hücre içindeki suyun hareketini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Rashid vd. [21] ve Omari [22] kapak etkili hücre içi akış probleminin çözümü için ticari kodlar kullanmışlardır.

Zheng vd. [23] yaptıkları çalışmada kapak etkili hücre içine homojen sıcaklıklı bir silindirik yerleştirerek akım alanını ve ısı transferini incelemiştir.

Nasrin ve Parvin [24] çalışmalarında sinüsoidal dalgalı taban geometrisine sahip, tabanı hücre kapağına göre daha düşük sıcaklıkta olan kapak etkili hücre içindeki akışı Galerkin metodunu temel alan sonlu elemanlar formülasyonu ve iki boyutlu olarak çözmüşlerdir. Tabanda bulunan dalgalı formun periyot sayısının artışının yüksek sıcaklıktaki taban yüzeyindeki Nusselt sayısını artırdığını gösterilmişlerdir.

Mekroussi vd. [25] tarafından yapılan çalışmada sinüsoidal dalgalı taban geometrisine sahip iki boyutlu kapak etkili hücre içi akış sayısal olarak çözülmüştür. Tabanda yüksek sıcaklık ve kapakta düşük sıcaklık şartları altında dikey yüzeylerin farklı eğim açılarında çözümler yapılmış ortalama Nusselt sayısı incelenmiştir. Ortalama Nusselt sayısı Reynolds sayısı ve dalga periyot sayısının artışı ile arttığı bulunmuştur.

Son yıllarda bazı araştırmacılar hücre içindeki değişik biçimlerde eklentilerin veya farklı çeper geometrilerinin akım alanına ve ısı transferine etkilerini araştırmış ve sonuçlarını yayımlamışlardır.

Yapıcı ve Obut [26] çalışmalarında iki boyutlu, zamandan bağımsız, laminer, karma ısı taşınımı modeli ile alt yüzeyinde kare, üçgen ve sinüsoidal dalgalı eklentili kapak etkili hücre içi akışı çözmüşlerdir. Çalışmada alt yüzeyi üst yüzeyine göre daha yüksek sıcaklıkta olan hücre içi akış incelenmiştir. Düşük Richardson sayılarında kare dalgalı modelde, yüksek Richardson sayılarında ise sinüsoidal dalgalı modelde ısı transferinde artış olduğu gösterilmiştir.

Gangawane [27] kapak etkili hücre içerisine sabit ısı akısıyla ısıtılmış olan bir prizmatik blok ekleyerek incelemiştir. Bu çalışmasının sonucunda; taşınım ile ısı transfer etkinliğinin %10 oranında değiştirdiğini ortaya çıkarmıştır.

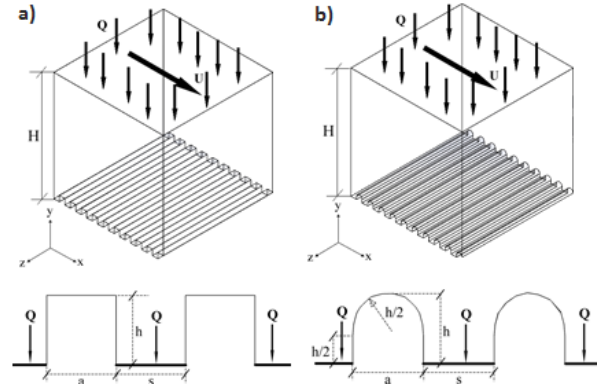
Yukarıda sözü edilen çalışmaların büyük bir kısmında, üst ve alt yüzey sıcaklıkları sabit, iki boyutlu hücre içinde laminer akış modellenmiştir. Ayrıca, çalışmaların çoğunda hücre tabanı düzlem olup farklı geometrik formlara sahip hücre içindeki akışı inceleyen çalışmalar sadece birkaç tanedir.

Bu çalışmanın amacı ise özellikle ısıtma ve soğutma problemlerinde uygulanabilecek bazı yüzey geometrilerinin sağlayacağı hidrodinamik yapıların ortamdaki ısı transferine etkisinin olup olmadığını

incelemektir. Bu nedenle kapağı hareketli üç boyutlu hücre tabanına kapak hareket yönüne dik şekilde çıkıntılar eklenmiştir. Hücrenin üst yüzeyinden hücre içine doğru, alt yüzeyinden ise dışına doğru sabit ısı akışı olduğu kabul edilmiştir. Çıkıntıların geometrik biçimlerinin ve yerleşimlerinin hücre içindeki sıkıştırılmaz ve türbülanslı akımı nasıl değiştirdiği ve ısı transferine etkisi araştırılmıştır. Çözüm için 0.1 m x 0.1 m x 0.1 m boyutlarındaki hücrenin alt yüzeyinde değişik aralıklarla yerleştirilen keskin köşeli kare ve yuvarlatılmış köşeli kare çubuklarla çıkıntı dizileri oluşturulmuştur. Çıkıntı geometrisinin ve yerleşiminin yanı sıra kapak hızının da hücre içindeki akım alanına ve ısı transferine etkisi araştırılmıştır.

## 2. PROBLEMİN TANIMI (PROBLEM DEFINITION)

Şekil 1'de kapak hareketi yönüne dik durumdaki çubuklarla oluşturulan çıkıntı dizileri ile donatılmış hücrelerin şematik görünümü verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere her iki çıkıntı geometrisi için  $h/a = 1$ ,  $H/h = 20$  kabul edilmiştir. Çıkıntılar arası mesafe  $s = n \times h$  ( $n:1,2,3$  ve 4) olarak alınmıştır.



Şekil 1. Hücre geometrileri (Cavity geometries)

## 3. MATEMATİK MODEL (MATHEMATICAL MODEL)

Üç boyutlu, üst yüzeyi hareketli hücre içindeki sıkıştırılmaz, zamandan bağımsız, türbülanslı, ısı akışı etkisi altındaki akımı modelleyen süreklilik (denklem 1), momentum (denklem 2-4), enerji (denklem 5) ve türbülansı modellemek için standart k-ε türbülans modeli (denklem 6-9) kullanılmıştır. Türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerji yayılımı denklemleri aşağıda verilmiştir [28]. Problemden yoğunluk ve viskozite değerlerinin sabit olduğu kabul edilmiş, bununla birlikte yerçekimi ile kaldırma kuvveti etkileri ihmal edilmiştir. Çalışmada taban yüzeyi üzerine eklenmiş olan çıkıntıların türbülans üretici etki oluşturabileceği [29, 30] ve hacim içerisinde tabana yakın bölgelerde türbülanslı akışa geçiş olabileceğinden dolayı  $400 < Re < 4000$  aralığında türbülans modeli ile çözüm tercih edilmiştir.

$$\text{div}V = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}(uV) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(v \text{ grad}u) \quad (2)$$

$$\text{div}(vV) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \text{div}(v \text{ grad}v) \quad (3)$$

$$\text{div}(wV) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \text{div}(v \text{ grad}w) \quad (4)$$

$$\text{div}(iV) = -P\text{div}V + \text{div}(k \text{ grad}T) \quad (5)$$

$$\text{div}(\rho kV) = \text{div}\left[\frac{\mu_\tau}{\sigma_k} \text{grad}k\right] \quad (6)$$

$$+2\mu_\tau S_{ij}S_{ij} - \rho\varepsilon$$

$$\text{div}(\rho\varepsilon V) = \text{div}\left[\frac{\mu_\tau}{\sigma_\varepsilon} \text{grad}\varepsilon\right] \quad (7)$$

$$+C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_\tau S_{ij}S_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$\mu_\tau = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44 \parallel C_{2\varepsilon} = 1.92 \parallel C_\mu = 0.09 \parallel \quad (9)$$

$$\sigma_k = 1.0 \parallel \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Tüm çıkıntı yüzeyleri adyabatik, çıkıntıların arasındaki hücreciklerin tabanı ısı geçirirli kabul edilmiştir. Bu kabulün nedeni hücre tabanına eklenen çıkıntılar nedeni ile oluşacak ısı transfer yüzey alanının artışına engel olmak ve sadece çıkıntı geometrilerinin ve yerleşimlerinin ortaya çıkaracağı hidrodinamik alan değişiminin ısı transferine etkisini araştırmaktır. Hücrenin hareketli üst yüzeyinden devamlı olarak 40 W ısı girişi, tabanın ısı geçirirli bölgelerinden ise 40 W ısı çıkışı olduğu kabul edilmiştir.

Başlangıç koşulları;

$y = 0.1$  m (üst yüzey);

$TH_i = 310$  K

$y = 0$  (alt yüzey);

$TC_i = 290$  K

$0.1 \text{ m} > y > 0$  m (tüm hacimde);

$T_i = 290 + y * 200$  [K] (10)

Üst yüzey dışındaki tüm yüzeyler sabit kabul edildiğinden sınır koşulları;

$x = 0$  m (yan yüzey),  $x = 0.1$  m (yan yüzey),  $y = 0$  m (alt yüzey);

$u = v = w = 0$

$y = 0.1$  m (üst yüzey);

$V = 0.00356$  m/s

$V = 0.00712$  m/s

$V = 0.01068$  m/s

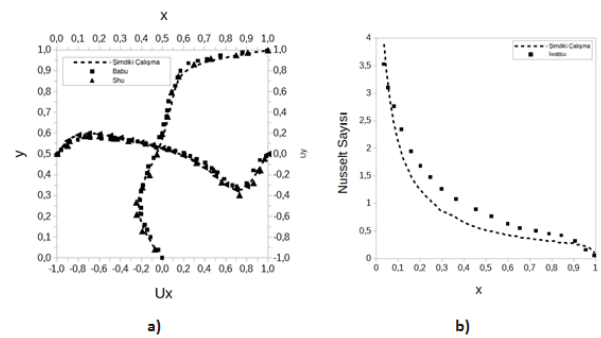
$V = 0.01424$  m/s

$V = 0.01780$  m/s

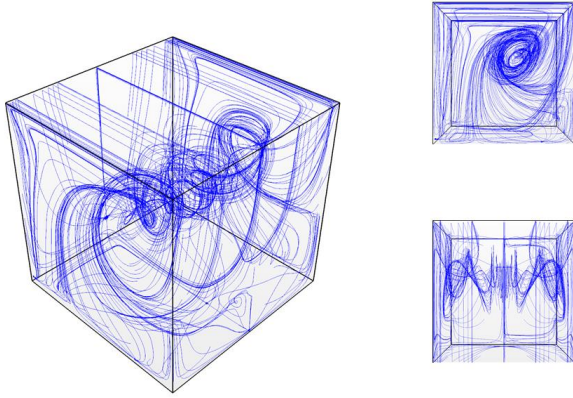
$V = 0.03560$  m/s

#### 4. DOĞRULAMA VE ÇÖZÜM AĞI BAĞIMSIZLIĞI (VALIDATION AND MESH DEPENDENCY)

Üst yüzeyi hareketli hücre içinde akışkan hareketi ve ısı transferini modellemek için StarCCM+ V11 ticari kodu kullanılmıştır. Çözüm yönteminin doğruluğunun ölçülmesi amacıyla, literatürde bulunan üst yüzeyi hareketli düzgün tabanlı bir hücre içindeki akım alanını test problemi olarak çözerek yayımladıkları sonuçlar kullanılmıştır [31]. Bu amaçla üç boyutlu üst kapağı hareketli bir hücre içindeki akış aynı koşullarda modellenmiş çözüm ağı bağımsızlığı çalışması sonucu elde edilen "Model 3" çözüm ağı kullanılarak hücre içindeki yatay ve düşey hız bileşenleri Şekil 2'de görüldüğü gibi referans çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların yeterli yakınlıkta olduğu görülmüştür. Ayrıca çözüm sonucunda elde edilmiş olan hücre içindeki akım çizgileri üç boyutlu olarak Şekil 3'de verilmiştir. Hücrenin yatay ve düşey merkez eksenlerindeki hız ve sıcaklık değerlerinin değişimleri incelenerek çözümün yakınsadığına karar verilmiştir.

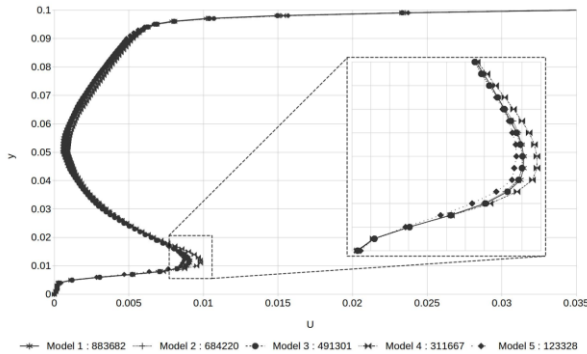


**Şekil 2.**  $Re = 400$  için üst yüzeyi hareketli hücre içinde a) Yatay ve düşey merkez hatlardaki hız bileşenlerinin karşılaştırılması b) Üst kapaktaki yerel Nusselt sayıları karşılaştırması [16] (In lid-driven cavity a) Comparison of horizontal and vertical central line velocity components b) Comparison of Local Nusselt numbers on lid)



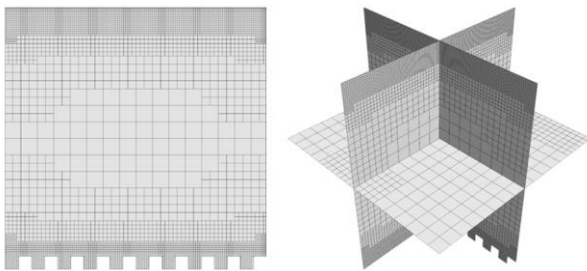
Şekil 3. Hücre içinde akım çizgileri (Streamlines in lid-driven cavity)

Sayısal uygulamada elde edilen sonuçların çözüm ağından bağımsızlaşması için farklı çözünürlükte çözüm ağları test edilmiştir. 883682, 684220, 491301, 311667 ve 123328 elemandan oluşan 5 farklı çözünürlükte model kullanılarak hücre merkezindeki hız değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4'ten görüldüğü gibi Model 2 ile Model 3 arasında çözüm ağının etkisinin fazla olmadığı görülerek 491301 elemana sahip Model 3 çözüm ağının kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 4. Re = 4000 için farklı çözünürlükte çözüm ağlarında hız profilleri (Velocity profiles for different grid resolutions)

Şekil 5'de kare kesitli çıkıntılı hücrenin çözüm ağı gösterilmiştir. Burada hareketli üst yüzeye ve çıkıntılı alt yüzeye yakın bölgelere daha hassas çözüm ağı uygulanmıştır.



Şekil 5. Modellemede kullanılan çözüm ağı yapısı (Model 3) (Chosen grid model)

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

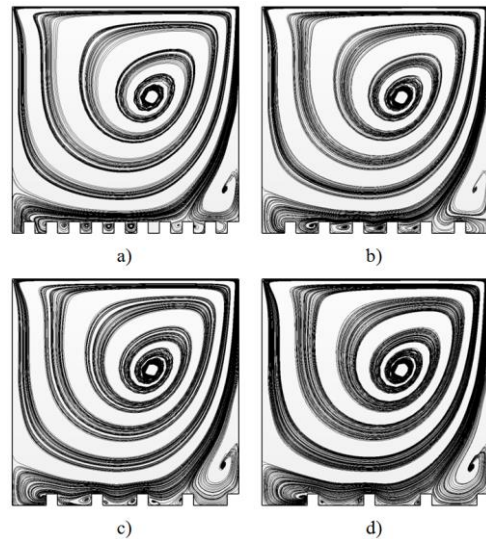
Kenar uzunluğu 0.1 m olan, üst yüzeyi x yönünde hareketli hücre içinde, ısı transferi etkisi altındaki suyun hareketi incelenmiş ve akım hatları, hız alanları, sıcaklık dağılımları, Nusselt sayıları ve ısı transfer katsayısının değişimi bulunmuştur. Hesaplamalar altı farklı kapak hızı için yapılmıştır. Kapak hızları sırasıyla 0.00356 m/s, 0.00712 m/s, 0.01068 m/s, 0.01424 m/s, 0.01780 m/s ve 0.03560 m/s olup karşılaştırmalarda kullanılmış olan Reynolds sayıları temel alınarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısı aşağıdaki gibidir.

$$Re = \frac{V_{\text{kapak}} L_{\text{kapak}}}{\nu} \quad (11)$$

$V_{\text{kapak}}$  ve  $L_{\text{kapak}}$  sırasıyla kapak hızı ve kapak uzunluğu, kinematik viskozitedir. Kinematik viskozite  $8.9088 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  olup sıcaklık ile değişimi ihmal edilmiştir. Reynolds sayıları 400 ile 4000 arasında alınmıştır. H hücre kenar uzunluğu 0.1 m, h çıkıntı yüksekliği 0.005 m, a çıkıntı genişliği 0.005 m'dir. Problemin tanımında söz edildiği gibi çıkıntı aralıkları her iki çıkıntı geometrisi için  $s = n \times h$  olarak tanımlanmış ve  $n = 1, 2, 3, 4$  değerleri olmak üzere aralıklar 0.005 m, 0.01 m, 0.015 m ve 0.02 m olarak alınmıştır. Akım hatları, Hız alanları, Nusselt sayısı ve sıcaklık alanları  $Re=400, 2000$  ve  $4000$  için verilmiştir.

### 5.1 Akım Çizgileri ve Hız Alanları (Streamlines and Velocity Fields)

Şekil 6'da  $Re = 400$  için keskin köşeli çıkıntılı ana girdap ve akım çizgileri gösterilmiştir. Şekil 7'de üç farklı Reynolds sayısı için keskin köşeli ve yuvarlatılmış köşeli çıkıntılı ana girdap ve akım çizgileri çalışmanın amacına uygun olarak çıkıntı geometri ve yerleşimlerinin akım üzerindeki etkisini görmek üzere hücrenin  $0 < y < 0.01$  bölgesinde gösterilmiştir.



Şekil 6. Re = 400 için a)  $s/h = 1$ , b)  $s/h = 2$ , c)  $s/h = 3$ ; d)  $s/h = 4$  geometrilerinde ana girdap akım çizgileri



Re = 400 durumunda çıkıntısız hücre içerisinde ortaya çıkan ana girdabın hücre tabanına yakın alt köşesinde ikincil bir girdap ortaya çıkardığı görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7 birlikte incelendiğinde, her iki tipteki çıkıntı geometrisinin olduğu hücrede ise ana girdap alt yüzeye yaklaşmamaktadır. Çıkıntılar arasında küçük girdaplar ortaya çıkmakta ve özellikle  $s/h = 1$  de her bir çıkıntı aralığında üst yüzeyi hareketli bir hücre içi akış davranışı elde edilmektedir. Bu olayın keskin köşeli kare kesitli çıkıntı durumunda yuvarlatılmış köşeli kare kesitli çıkıntıya göre daha baskın ve belirgin olduğu anlaşılabilmektedir. Bunun da çıkıntı köşelerinin yuvarlatılması durumunda akım çizgilerine daha uygun hücrelerin ortaya çıkmasının sebep olduğu açıkça görülmektedir. Çıkıntılar arasındaki boşlukta oluşan bu hücre içi akış bölgelerine hücrecik denmesi uygundur. Yine her iki geometri için  $s/h = 2$  durumunda tabanda oluşturulan hücrecikler içinde girdap oluşumunun devam ettiği ancak hücrecik içinde genişlemeye daha fazla yer bulan küçük girdapların  $s/h = 1$  durumuna göre daha fazla genişlediği görülmektedir.

Küçük girdapların hücreciğin alt kısmına doğru gerilemesiyle boşlukların oluştuğu ve ana girdabın ilerlemeye çalıştığı görülmektedir. Bu olayın  $s/h = 3$  durumunda, aralıkların daha fazla genişlemeye başlaması nedeniyle hücrecikler içindeki akımın dağılması ve küçük girdabın parçalanmasıyla özellikle yuvarlatılmış köşeli kare kesitli geometri durumunda ana girdabın hücrenin tabanına hayli yaklaştığı görülmektedir.  $s/h = 4$  durumunda ise aralıkların çok genişlemesi nedeniyle tabandaki hücrecik yapısının ortadan kalktığı ana girdabının hücre tabanına yakın hale geldiği net olarak görülmektedir.

Üç boyutlu kübik hücre içi akış problemleri, iki boyutlu hücre içi akış problemlerinden simetrik olma bakımından farklılık göstermektedir. Üç boyutlu hücre problemlerinde belirli bir kritik Reynolds sayısına (Re = 1914) kadar merkez kesitte elde edilen akış simetri gösterirken, kritik Reynolds sayısı değeri aşıldığında

simetri ortadan kalkar ve salınımlar meydana gelmeye başlar [32]. Re = 2000 ve 4000 durumlarında gerek hücre tabanının düz olması durumunda gerekse de çıkıntılı olması durumunda, ana girdabın beraberinde hücrenin sağ ve sol alt köşelerinde küçük girdaplar ortaya çıktığı ve bu girdapların her iki çıkıntı geometrisi ve bütün çıkıntı yerleşim durumlarında mevcut olduğu görülmektedir. Re = 4000 için Re = 2000 de köşe girdapların daha baskın ve sıkışmış olduğu görülmüştür. Re = 400 için tanımlanan hücre tabanındaki hücreciklerin yine üst yüzeyi hareketli hücre gibi davrandıkları, aralıkların (s) artmasıyla ana girdabın hücreciklerin içerisine doğru ilerlemesi görülmektedir. Ancak akım hızlarının Reynolds sayısının artması nedeniyle daha yüksek olduğu gerçeğiyle ana girdabın Re = 400 durumuna göre daha hızlı hareket ettiği, dolayısıyla hücrecikler içerisine girerek yayılmaya fırsat bulamadığı, bu durumda hücreciklerin içeriside girdapların kalıcı olduğu görülmektedir.

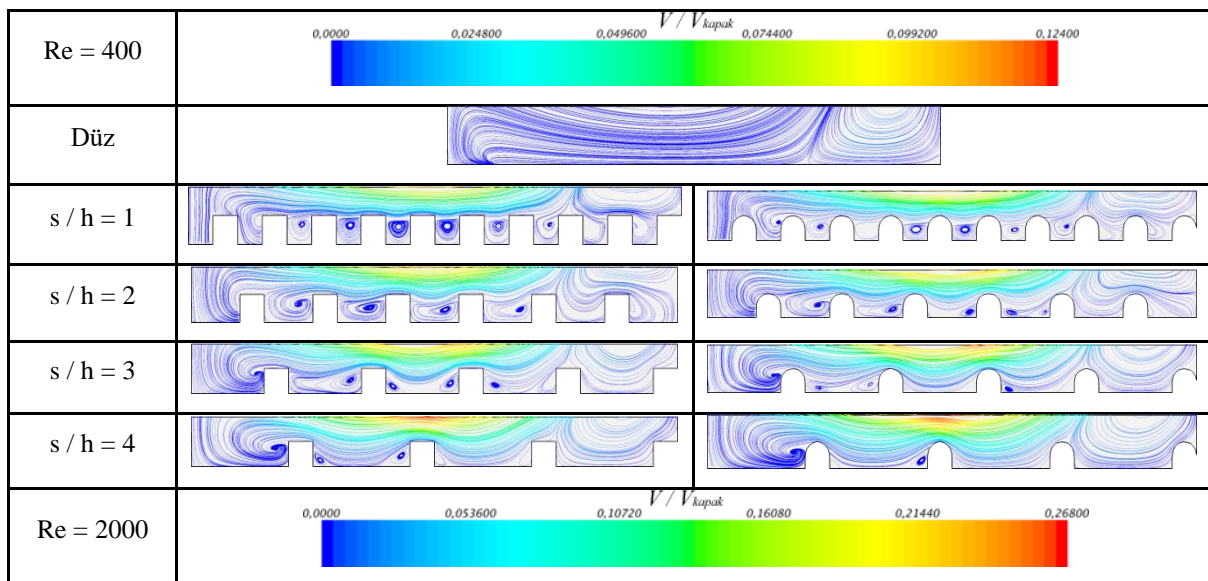
## 5.2 Sıcaklık Alanları (Temperature Fields)

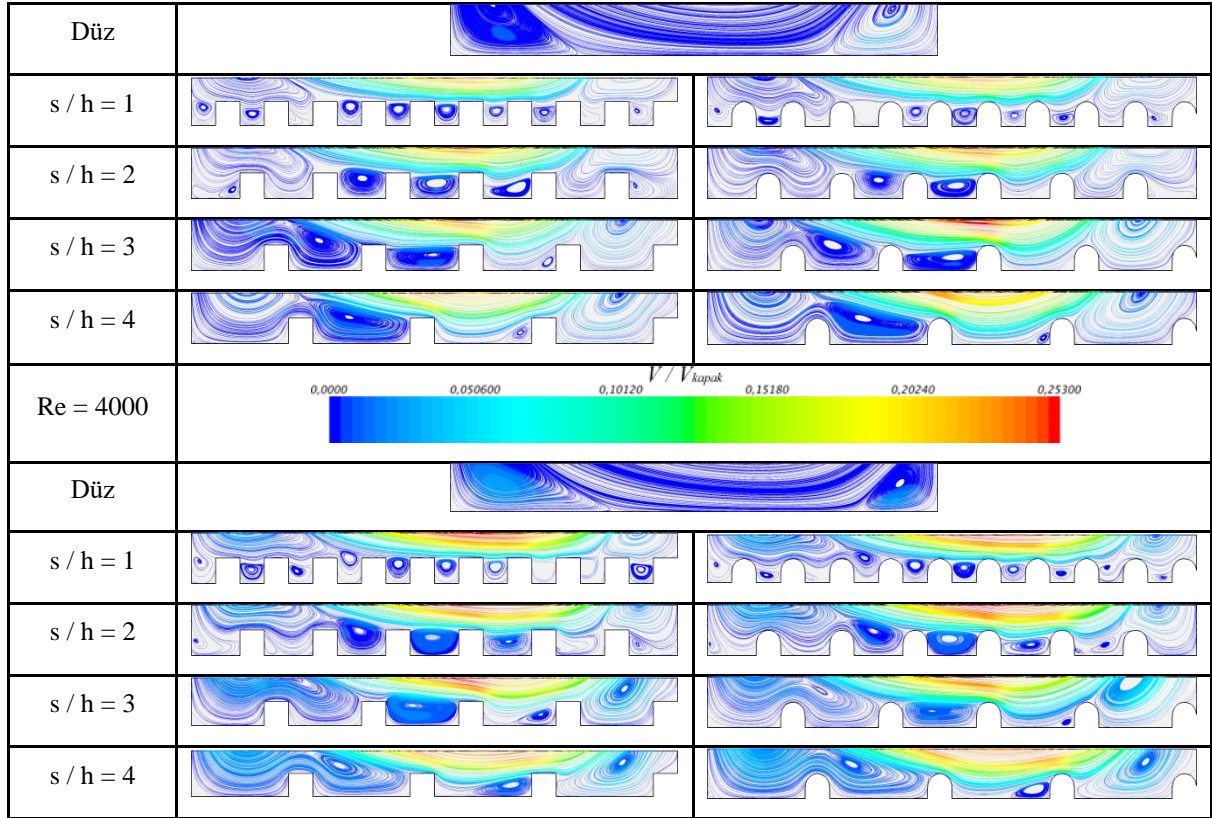
Şekil 8 keskin köşeli kare ve yuvarlatılmış köşeli kare formülü çıkıntılı  $s/h = 1, 2, 3$  ve 4 konumlarında ve farklı Reynolds sayılarında hücre içerisinde sıcaklık alanlarının oluşumuna etkisini göstermektedir. Hesaplamalarda kullanılan normalize edilmiş sıcaklık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\theta = (T - T_{Ci}) / (T_{Hi} - T_{Ci}) \quad (12)$$

Burada  $T_{Ci}$  başlangıç koşullarındaki alt yüzey sıcaklığını,  $T_{Hi}$  başlangıç koşullarındaki üst yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Öncelikle burada dikkati çeken Reynolds sayısının farklı değerleri için hücre içerisindeki sıcaklık gradyanının de farklı olmasıdır. (Yani Re = 400 için  $-7.24 < \theta < 1.14$ , Re = 2000 için  $-5.51 < \theta < 0.936$ , Re = 4000 için  $-3.65 < \theta < 0.865$ ).

Reynolds sayısı değişimi ile tüm taban geometrilerinde Şekil 6'da görülen akım hatlarındaki karakteristiklerdeki gibi farklı karakteristiklerde sıcaklık alanlarının geliştiği gözlemlenmektedir.

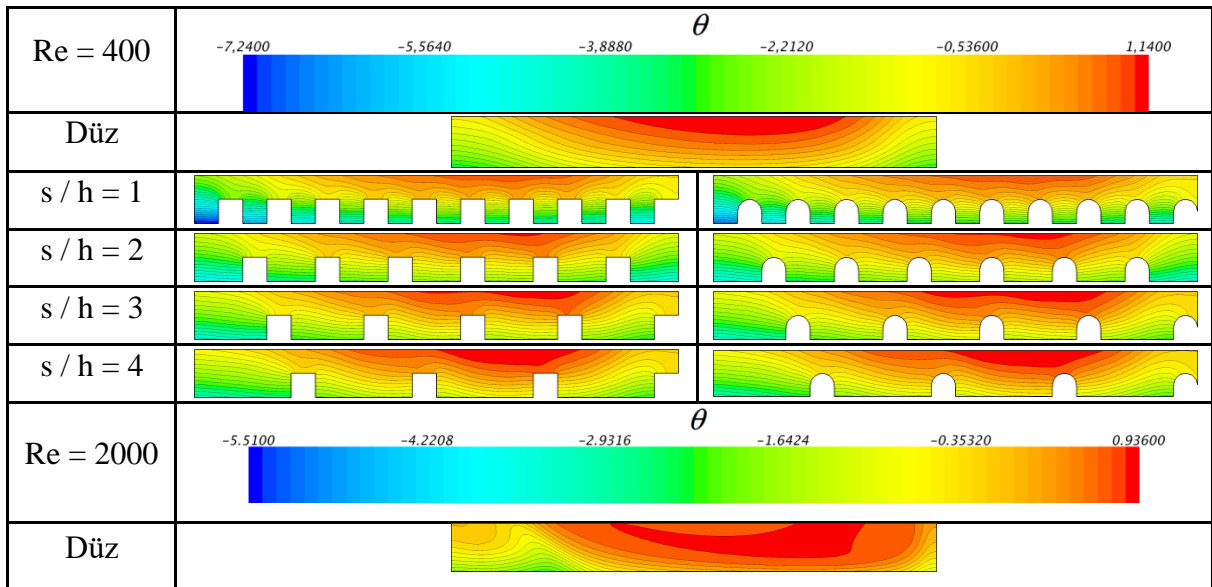


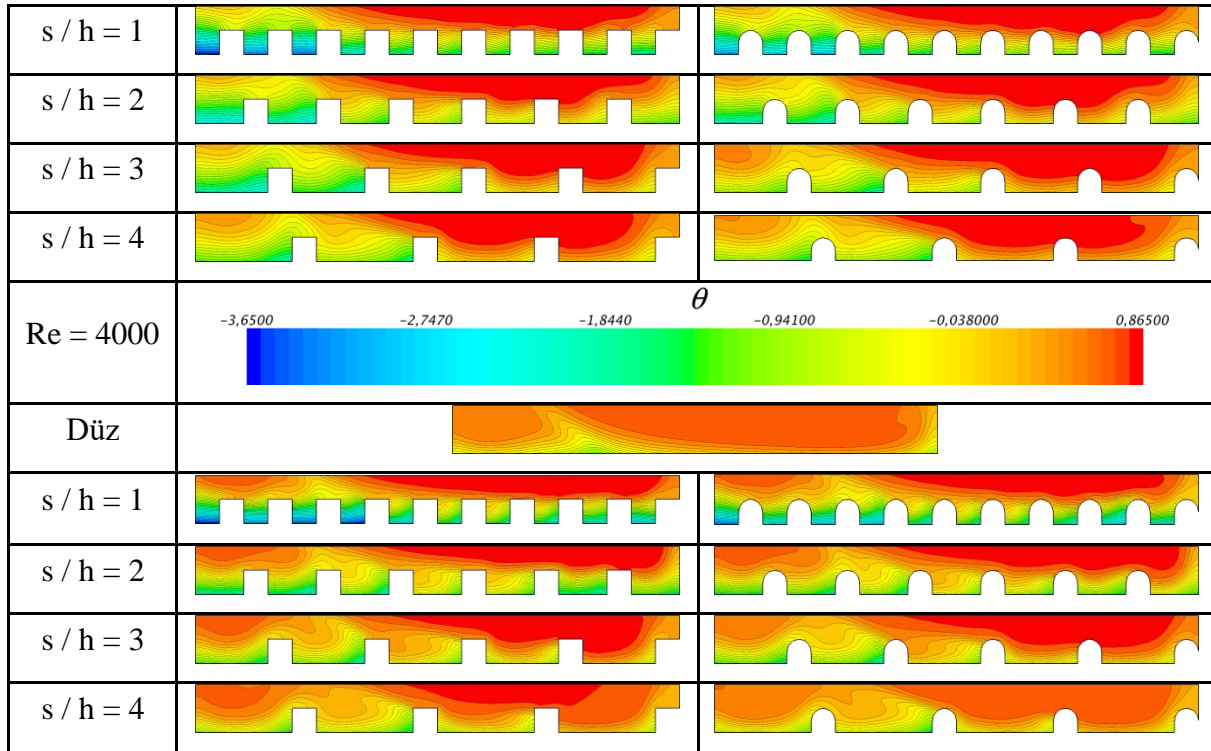


Şekil 7. Re = 400, Re = 2000, Re = 4000 için tüm geometrilere akım çizgileri (Streamlines near bottom wall for all cases)

Örneğin Re = 400'de  $s/h = 1, 2, 3$  ve 4 durumlarında aynı akım çizgilerindeki karakteristiklerin benzerliği gibi sıcaklık hatlarında da benzerlik oldukça belirgindir. Re = 2000 ve 4000 durumlarında hücre içi Re = 400'e göre ana hücre içerisinde hız değerlerinin arttığı görülmektedir. Buna bağlı olarak ana akımın özellikle hücrenin sağ alt köşesindeki hücreciklere girip çıkması herhangi bir girdap oluşturmaması, sol alt köşeye yakın hücreciklerde ise belirgin ve gelişmiş girdaplar oluşturması dikkat çekmektedir. Bu durum nedeniyle ana hücrenin sağ alt

tarafının kapak etkisi ile yukarıdan gelen sıcak akışkan tarafından sürekli olarak ısıtılmakta olduğu, sol alt tarafının ise stabil durumdaki küçük girdapların bu bölgelerde alt yüzeyden sürekli ısı akısına maruz kalmaları nedeniyle soğutma işlevi görmekte olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklık değerlerinin bu bölgelerde düştüğü gözlemlenmektedir. Çıkıntı geometrisi ve yerleşimlerinin de Reynolds sayısı ile birlikte etkili olduğu özellikle Re = 4000 'de bunun önemli ölçüde gerçekleştiği Şekil 8'de açıkça görülmektedir.

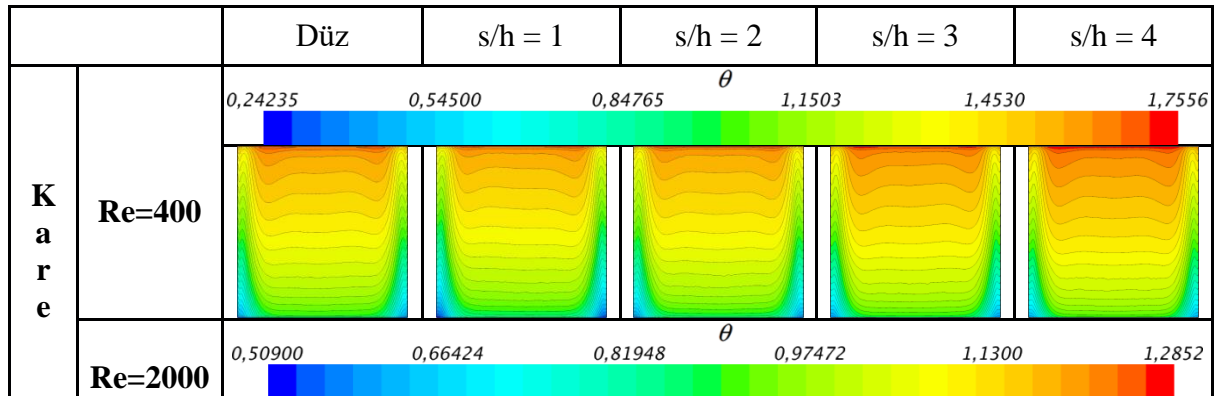


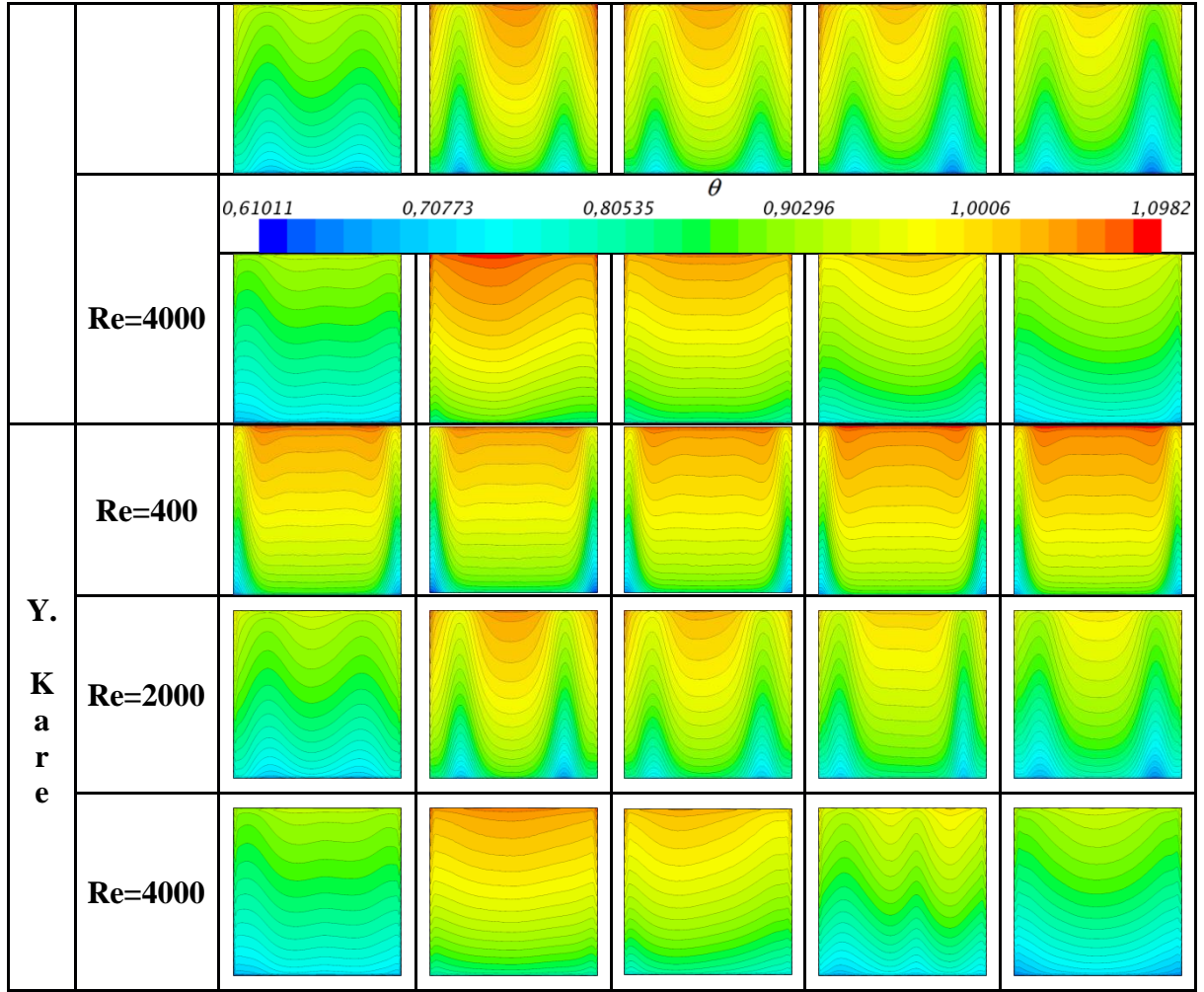


**Şekil 8.** Re = 400, Re = 2000, Re = 4000 için tüm geometrilere sıcaklık dağılımları (Temperature fields near bottom wall for all cases)

Çıkıntı geometrisi ve konumları ile birlikte Reynolds sayısının akımın özellikle yüksek sıcaklıklı hareketli kapak ve soğutmanın yapıldığı taban civarında sıcaklık alanlarını nasıl etkilediğini görmek için  $y = H$  (hareketli kapak) ve  $y = 2h$  'taki (X-Z düzlemlerindeki) sıcaklık dağılımları Şekiller 8 ve 9 'da verilmiştir. Bu düzlemlerde sıcaklık değerleri  $y=H$ 'de Re = 400 için  $0.24 < \theta < 1.75$ , Re = 2000 için  $0.51 < \theta < 1.29$ , Re = 4000 için  $0.63 < \theta < 1.1$ ,  $y = 2h$ 'de Re = 400 için  $-4.58 < \theta < -1.15$ , Re = 2000 için  $-1.33 < \theta < 0.94$ , Re = 4000 için  $-0.59 < \theta < 0.89$  olarak gerçekleşmiştir. Açıkça görülmektedir ki Re = 400 durumunda, beklendiği gibi, hareketli kapak civarındaki hücre tabanında uygulanmış olan tüm çıkıntı geometri ve yerleşimlerinin sıcaklık

dağılımına bir etkisi olmamıştır. Ancak tabana yakın düzlemlerde sıcaklık alanlarının çıkıntı geometrisi ve yerleşiminden çok etkilendiği, tüm geometri ve yerleşimlerde sıcaklık alanlarının, çıkıntısız tabana ve birbirlerine göre çok farklı olduğu açıkça görülmektedir. Sadece Re = 400 durumunda çıkıntısız taban ile  $s/h = 4$  durumu her iki çıkıntı geometrisi için benzerlik göstermektedir. Re = 2000 ve Re = 4000 için Şekiller 9 ve 10 'da bazı asimetrik görünümlere rastlanmıştır. Bu asimetri önceki kısımda bahsedildiği üzere üç boyutlu hücre içi akış probleminin kritik bir Reynolds sayısından (Re = 1914) sonra stabilizasyon bozuklukları ve salınmalar meydana getirmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Re = 2000 ve sonrasındaki hızlarda kritik Reynolds eşiği aşıldığı görülebilmektedir.



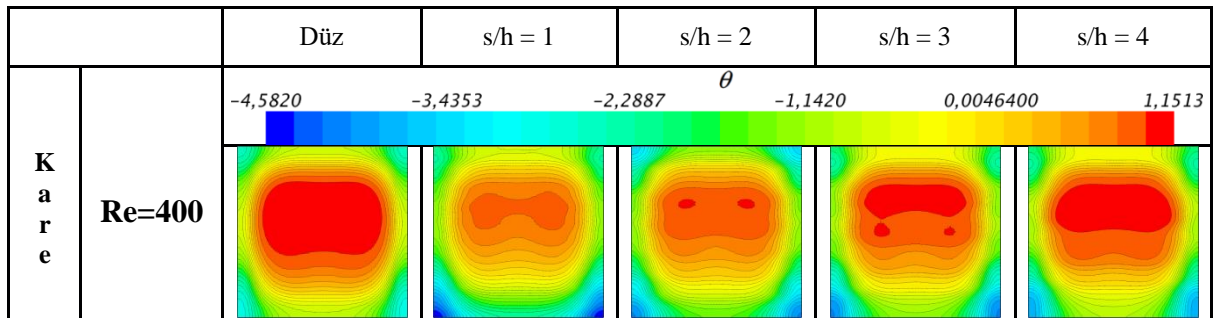


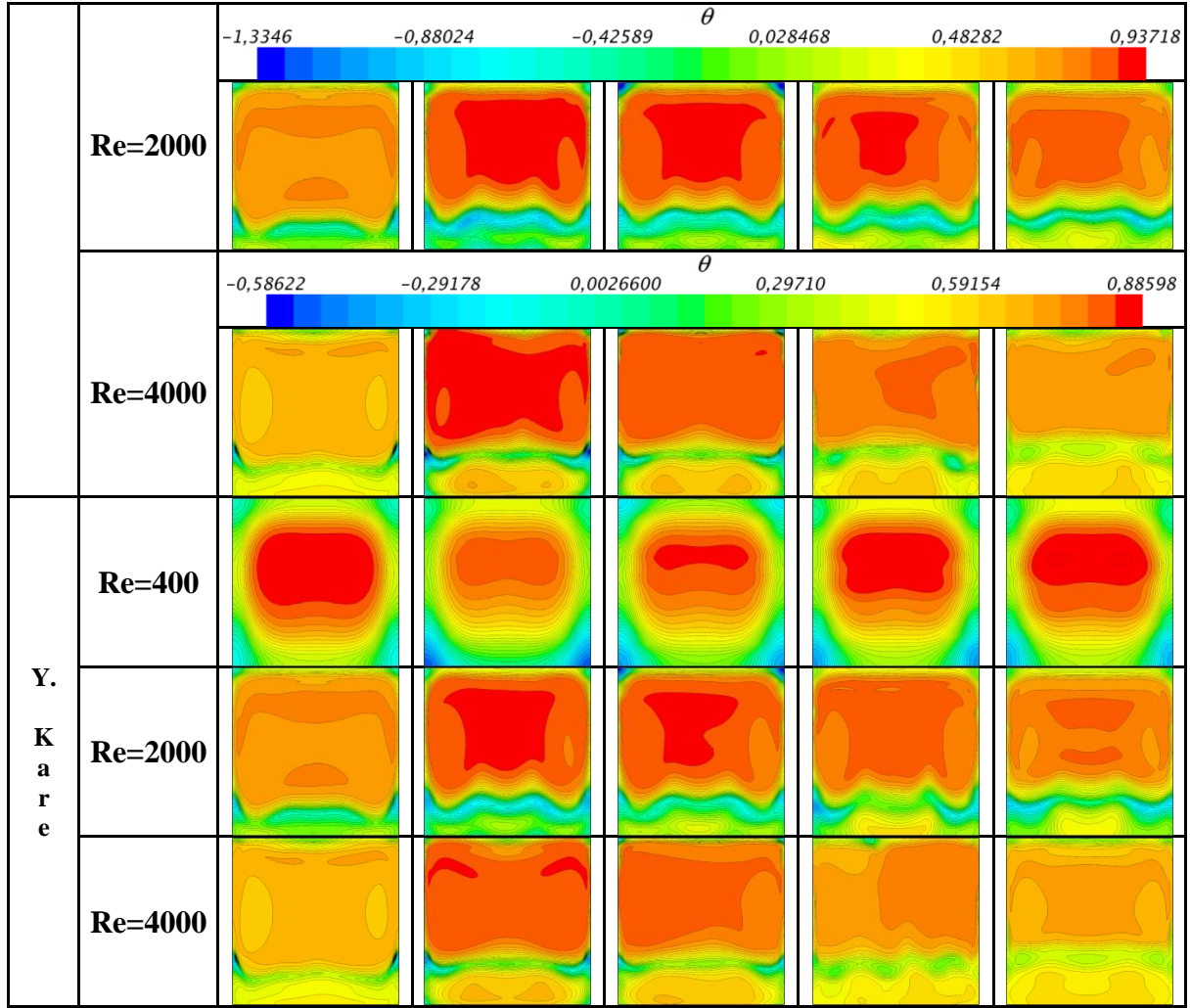
Şekil 9. Kare ve yuvarlatılmış kare kesitli geometriler için  $y=0.1$ 'de yüzey sıcaklık dağılımları (Temperature fields on  $y=0.1$ m for square and rounded square cross-sectional cases)

Üst yüzeyden giren ısının, alt yüzeydeki çıkıntılar arasında kalan bölgelerden dışarıya atıldığı hücre içinde, özellikle çıkıntıların yapıldığı alt yüzeyde taşınım ile ısı transferi değişimini incelemek için taşınım ile ısı transferini belirleyen en temel parametrelerden biri olan Nusselt sayısının değişimi incelenmiştir. Hesaplama kullanılan Nusselt sayısı eşitliği verilmiştir [33].

$$Nu = 2(1 + 0.3Re^{1/2} Pr^{1/3}) \quad (13)$$

Nusselt sayısı, incelenen geometrideki Nusselt sayısının ( $Nu$ ), çıkıntısız geometrideki ortalama Nusselt sayısına ( $Nu_0$ ) oranı olacak şekilde normalize edilmiştir. Şekil 11'da tüm Reynolds sayıları ve tüm çıkıntı geometrileri için alt yüzeydeki ( $y=0$ ) normalize edilmiş Nusselt sayısı değişimi verilmiştir. Nusselt sayısı ortalama değerlerine de Şekil 12'den ulaşılabilir. Çıkıntısız geometride ana girdabın alt yüzeye ulaşan kısmından kaynaklı olarak alt yüzeyin merkeze yakın bölümlerinde yüksek Nusselt değerleri tespit edilirken, yan duvarlara yaklaşıldıkça bu değerlerin düştüğü görülmüştür.

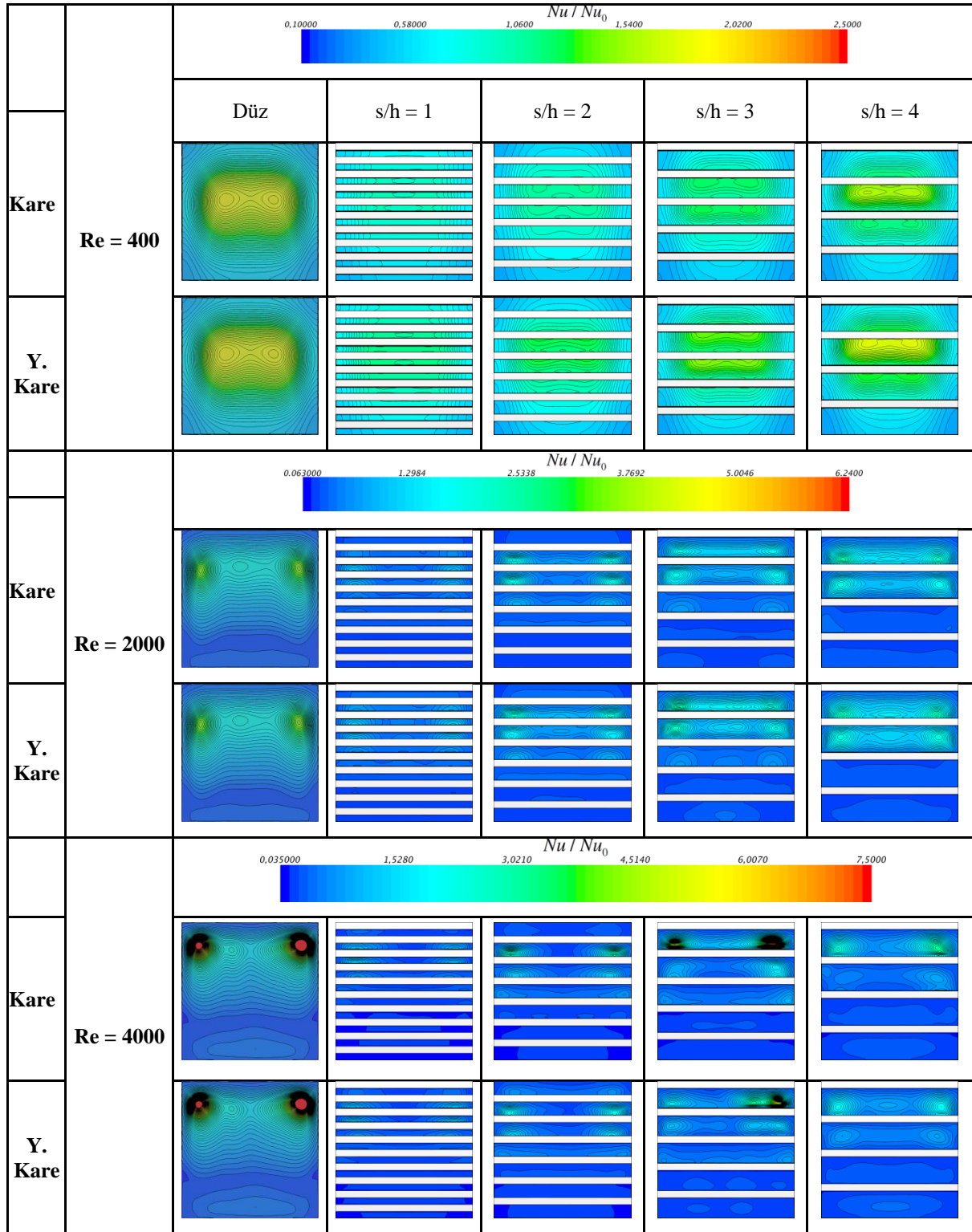




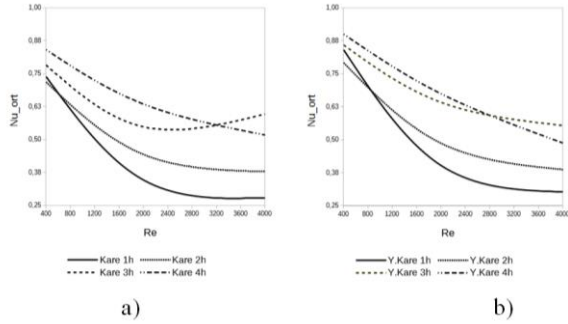
**Şekil 10.** Kare ve yuvarlatılmış kare kesitli geometriler için  $y=0.01$ m'de yüzey sıcaklık dağılımları (Temperature fields on  $y=0.01$ m for square and rounded square cross-sectional cases)

Bununla birlikte çıkıntılar arası mesafenin artması ile Nusselt sayısının dağılımı çıkıntısız geometri sonuçlarına yaklaşmıştır. Tüm keskin köşeli kare kesitli geometriler ile yuvarlatılmış köşeli kare kesitli geometriler arasında Nusselt sayılarına bakarak karşılaştırma yapıldığında, yuvarlatılmış köşeli kare kesitli geometrilerde ortalama Nusselt sayıları, çıkıntısız geometrideki ortalama Nusselt sayılarına yakın olduğu görülmektedir. Geometrilerin tamamı incelendiğinde yuvarlatılmış köşeli kare kesitli ve  $s/h = 4$  durumunda, çıkıntısız geometrideki en yakın Nusselt sayısı değerlerine ulaşılmıştır. Düşük

Nusselt sayısı değerleri bütün Reynolds sayılarında  $s/h = 1$  ve keskin köşeli kare kesitli çıkıntı durumunda elde edilmiştir. En küçük Nusselt sayısı ise  $Re = 4000$ ,  $s/h = 1$  ve keskin köşeli kare kesitli çıkıntı durumunda ( $Nu_{ort} = 0.279$ ) çıkmıştır. Çünkü Şekil 7'dan net olarak görüldüğü gibi  $Re = 4000$ ,  $s/h = 1$  ve keskin köşeli kare kesitli çıkıntı durumunda çıkıntılar arasındaki hüreciklerde küçük stabil girdaplar oluşturmaktadır. Bu küçük stabil girdaplar nedeniyle yukarıdan gelen yüksek sıcaklıklı ana akım hüreciklerin içerisine girememekte dolayısı ile tabana ulaşamamaktadır.



Şekil 11. Kare kesitli ve yuvarlatılmış kare kesitli geometriler için  $y = 0$ 'da Nusselt sayısı dağılımları (Nusselt numbers distributions on  $y=0$  for square and rounded square cross-sectional cases)



**Şekil 12.** a) Kare çıkıntılı b) Yuvarlatılmış kare çıkıntılı geometrilerde Reynolds sayısına bağlı Nuort değişimi ( a) Square ribs cases b) Rounded Square ribs cases distributions of Nuort based on Reynolds numbers )

Çıkıntıların geometrisinin ve yerleşiminin hücre içindeki toplam ısı transfer katsayısını etkileyip etkilemediğini veya ne kadar etkilediğini hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (14)$$

$$A = 0.01 \text{ m}^2, (y = H \text{ ve } y = 2h \text{ için } X\text{-}Z \text{ düzlem alanları})$$

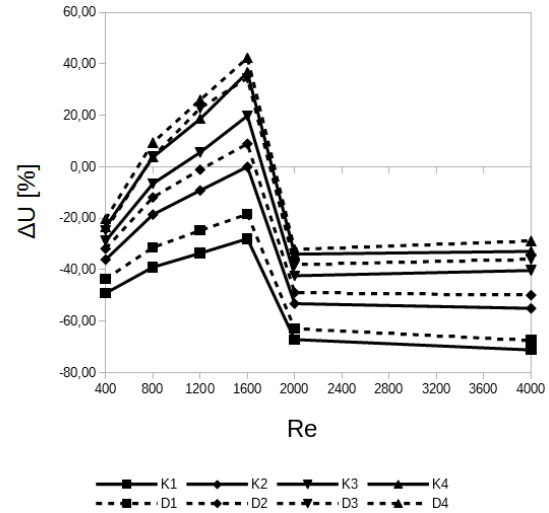
$$\Delta T = (T_H - T_C);$$

$$T_H : y = H \text{ için yüzey ortalama sıcaklığı,}$$

$$T_C : y=2h \text{ için yatay kesit ortalama sıcaklığı,}$$

$$\Delta U = \left[ \frac{(U_{\text{çıkıntılı}} - U_{\text{çıkıntısız}})}{U_{\text{çıkıntısız}}} \right] \times 100 \quad (15)$$

Denklem 14 ile her geometri için elde edilen toplam ısı transfer katsayıları (U), aynı Reynolds sayılarında çıkıntısız geometride elde edilen toplam ısı transferi kat sayısından çıkarılıp oranlanarak, fark ısı transfer katsayısı ( $\Delta U$ ) yüzdesi Denklem 15'de verildiği şekilde elde edilmiştir. Şekil 13'deki grafikte  $Re=400$ ,  $Re=800$ ,  $Re=1200$ ,  $Re=1600$ ,  $Re=2000$  ve  $Re=4000$  değerleri için Reynolds değerlerine göre fark ısı transfer katsayısı değişim yüzdeleri görülmektedir. Daha önce söz edildiği gibi  $\Delta U$  açısından da değerlendirildiğinde en büyük fark keskin köşeli kare kesitli çıkıntılı,  $s/h=1$  (K1) durumda ortaya çıkmış olup en az ısı transferinin gerçekleştiği durumdur.



**Şekil 13.** Farklı Reynolds sayılarında toplam ısı transfer kat sayısının değişimi (Distribution of total heat transfer coefficient for different Reynolds numbers)

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, farklı hızlarda üst yüzeyi hareketli kare geometrili bir hücre içerisindeki akım ve hücre tabanına belirli mesafeler ile yerleştirilmiş keskin köşeli kare ve yuvarlatılmış köşeli kare kesitli çıkıntıların bu akıma ve hücre içindeki ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Çıkıntı bölgesindeki akım çizgileri, hızlar, sıcaklık değerleri ve dağılımları ile birlikte Nusselt sayısının alt yüzeydeki değerleri ve değişimi incelenmiştir. İncelemede altı farklı Reynolds sayısı (400, 800, 1200, 1600, 2000 ve 4000), iki farklı çıkıntı geometrisi ve dört farklı yerleşim kullanılmıştır. Çalışma sonucunda toplam ısı transfer katsayısının etkileşimi verilmiştir. Toplam ısı transfer katsayısının bütün Reynolds sayılarında en fazla keskin köşeli kare kesitli ve  $s/h=1$  durumunda etkilendiği ve ısı transferinin en fazla bu durumda azaldığı görülmüştür. Çıkıntıların mesafelerinin artmasıyla bu etkileşimlerin en aza indiği ve çıkıntısız düzleme yakın şekilde davranış gösterdiği görülmüştür.

Birbirine en yakın çıkıntıların bulunduğu geometriler, bu geometrilerin tabanda oluşturduğu hücrecikler içerisindeki stabil küçük girdaplar nedeniyle ana akımdan bağımsız davranış gösterdiği söylenebilir. Ancak çıkıntı mesafeleri ile birlikte çıkıntı yüksekliklerinin de bu olayı etkileyebileceği düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda, çıkıntı yükseklikleri ile ilgili parametrik bir çalışma yapılması öngörülmektedir.

**SEMBOLLER (NOMENCLATURE)**

a	Çıkıntı genişliği [m]
A	Isı transfer alanı [m <sup>2</sup> ]
D1	Yuvarlatılmış köşeli 1h aralıklı
D2	Yuvarlatılmış köşeli 2h aralıklı
D3	Yuvarlatılmış köşeli 3h aralıklı
D4	Yuvarlatılmış köşeli 4h aralıklı
h	Çıkıntı yüksekliği [m]
H	Hücre yüksekliği [m]
k	Türbülans kinetik enerjisi [J/kg]
K1	Keskin köşeli 1h aralıklı
K2	Keskin köşeli 2h aralıklı
K3	Keskin köşeli 3h aralıklı
K4	Keskin köşeli 4h aralıklı
L <sub>kapak</sub>	Üst yüzey (kapak) uzunluğu [m]
Nu	Nusselt sayısı [2(1+0,3Re <sup>1/2</sup> Pr <sup>1/3</sup> )]
Nu <sub>0</sub>	Çıkıntısız geometrinin taban ortalama Nusselt sayısı
Nu <sub>ort</sub>	Nu/Nu <sub>0</sub> değerlerinin yüzey ortalaması
P	Basınç [Pa]
Q	Transfer edilen ısı [W]
Pr	Prandtl sayısı [= $V / \alpha$ ]
Re	Reynolds sayısı [= $(U_{kapak} \cdot L_{kapak}) / \nu$ ]
s	Çıkıntılar arası mesafe [m]
S <sub>ij</sub>	Deformasyon oranı bileşenleri
T	Sıcaklık [C°]
T <sub>i</sub>	Başlangıç sıcaklığı [C°]
T <sub>Ci</sub>	Alt yüzey başlangıç sıcaklığı [C°]
T <sub>Hi</sub>	Üst yüzey başlangıç sıcaklığı [C°]
T <sub>C</sub>	Alt yüzey ortalama sıcaklığı [C°]
T <sub>H</sub>	Üst yüzey ortalama sıcaklığı [C°]
ΔT	Sıcaklık farkı
U	Toplam ısı transfer katsayısı [W/m <sup>2</sup> .C]
V <sub>kapak</sub>	Üst yüzey (kapak) hızı [m/s]
u, v, w	Hız bileşenleri [m/s]
θ	Normalize edilmiş sıcaklık [= (T-T <sub>Co</sub> ) / (T <sub>H0</sub> -T <sub>Co</sub> )]
μ <sub>τ</sub>	Türbülans dinamik viskozitesi [kg/m.s]
ν	Kinematik viskozite [m <sup>2</sup> /s]
ε	Türbülans enerji kayıp oranı [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Ghia U, Ghia K.N, Shin C. T, "High-Re Solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method", *Journal of Computational Physics*, 48: 387- 411, (1982).
- [2] Neofytou P., "A 3rd order upwind finite volume method for generalised Newtonian fluid flows", *Advances in Engineering Software*, 36: 664-680, (2005).
- [3] Chen S., Tölke J., Krafczyk M., "A new method for the numerical solution of vorticity-streamfunction formulations", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 198: 367-376, (2008).
- [4] Kalita J.C., Gupta M.M., "A stream function-velocity approach for 2D transient incompressible viscous flows", *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 62: 237-266, (2010).
- [5] Bustamante C.A., Power H., Florez W.F., "A global meshless collocation particular solution method for solving the two-dimensional Navier-Stokes system of equations", *Computers and Mathematics with Applications*, 65: 1939-1955, (2013).
- [6] Felter, C.L. Walther J.H., Henriksen C., "Moving least squares simulation of free surface flows", *Computers & Fluids*, 91:47-56, (2014).
- [7] Salant R. F., Maser N., Yang B., "Numerical Model of a Reciprocating Hydraulic Rod Seal", *Journal of Tribology*, 129: 91-97, (2007).
- [8] Berger E. J. , Sadeghi F., Krousgrill C. M., "Finite element modelling of engagement of rough and grooved wet clutches", *Journal of Tribology*, 118: 137-146, (1996).
- [9] Nikas G. K., Sayles R. S., "Computational model of tandem rectangular elastomeric seals for reciprocating motion", *Tribology International*, 39: 622-634, (2006).
- [10] Dragoslav S.L., Stefan H. G., "Simulation of transient cavity flows driven by buoyancy and shear", *Journal of Hydraulic Research*, 38(3): 181-195, (2000).
- [11] Prasad A.K., Koseff J.R., "Reynolds number and end-wall effects on a lid-driven cavity flow", *Phys. Fluids*, A1: 208-218, (1989).
- [12] Prasad A.K., Koseff J.R., "Combined forced and natural convection heat transfer in a deep lid-driven cavity flow", *Int. J. Heat Fluid Flow*, 17: 460-467, (1996).
- [13] Mohamad A.A., Viskanta R., "Flow and thermal structures in a lid-driven cavity heated from below", *Fluid Dynamics Research*, 12: 173-184, (1993).
- [14] Iwatsu R., Hyun J.M., Kuwahara K., "Numerical simulation of flows driven by a torsionally oscillating lid in a square cavity", *J. Fluids Eng.*, 114: 143-151, (1992).
- [15] Wang C.-C., Chen C.-K., "Forced convection in a wavy wall channel", *Intl. J. Heat Mass Transfer*, 45: 2587-2595, (2002).
- [16] Al-Amiri A., Khanafer K., Bull J., Ioan Pop., "Effect of sinusoidal wavy bottom surface on mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 50: 1771-1780, (2007).
- [17] Barletta A., Nield D.A., "Mixed convection with viscous dissipation and pressure work in a lid-driven square enclosure", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 4244-4253, (2009).
- [18] Cheng T.S., Liu W.H., "Effect of temperature gradient orientation on the characteristics of mixed convection flow in a lid-driven square cavity", *Computers & Fluids*, 39: 965-978, (2010).
- [19] Basak T., Roy S., Sharma P.K., Pop I., "Analysis of mixed convection flows within a square cavity with uniform and non-uniform heating of bottom wall", *International Journal of Thermal Sciences*, 48: 891-912, (2009).
- [20] Ji T.H., Kim S. Y., Hyun J. M., "Transient mixed convection in an enclosure driven by a sliding lid", *Heat Mass Transfer*, 43: 629-638, (2007).



- [21] Rashid M., Kaish A. B. M. A., Islam M. M., Islam M. T., "Numerical simulation of incompressible flows in one-sided lid-driven square cavity by finite element method", *Journal of Innovation & Development Strategy (JIDS)*, 5(3):114-119, (2011).
- [22] Omari R., "CFD simulations of lid driven cavity flow at moderate reynolds number", *European Scientific Journal*, 9(15): 22-35, (2013).
- [23] Zheng G. F., Ha M. Y., Yoon H. S., Park Y. G., "A numerical study on mixed convection in a lid-driven cavity with a circular cylinder", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(1): 273-286, (2013).
- [24] Nasrin R., Parvin S., "Hydromagnetic effect on mixed convection in a lid-driven cavity with sinusoidal corrugated bottom surface", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38: 781-789, (2011).
- [25] Mekroussi S., Nehari D., Bouzit M., Chemloul N.E.S., "Analysis of mixed convection in an inclined lid-driven cavity with a wavy wall", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(7): 2181-2190, (2013).
- [26] Yapıcı K., Obut S., "Laminar Mixed-Convection Heat Transfer in a Lid-Driven Cavity with Modified Heated Wall", *Heat Transfer Engineering*, 36(3): 303-314, (2015).
- [27] Gangawane K. M., "Computational analysis of mixed convection heat transfer characteristics in lid-driven cavity containing triangular block with constant heat flux: Effect of Prandtl and Grashof numbers", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 105: 34-57, (2017).
- [28] Versteeg, H.K., ve Malalasekera, W., "An Introduction to Computational Fluid Dynamics(Second Ed.)", *Pearson*, Glasgow, England, (2007).
- [29] Sahiti N., Lemouedda A., Stojkovic D., Durst F., Franz E., "Performance comparison of pin fin in-duct flow arrays with various pin cross-sections", *Appl. Therm. Eng.*, 26, (2006).
- [30] Chimres N., Wang C.C., Wongwises S., "Optimal design of the semi-dimple vortex generator in the fin and tube heat exchanger", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 120: 1173-1186, (2018).
- [31] Chen, H., Li, K., and Wang, S., "A dimension split method for the incompressible Navier-Stokes equations in three dimensions", *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 73: 409-435, (2013).
- [32] Feldman, Y., Gelfgat A., "Oscillatory instability of a three-dimensional lid-driven flow in a cube", *Physics Of Fluids*, 22: 093602, (2010).
- [33] CD-Adapco - "StarCCM+ Kullanıcı Rehberi", (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Application of fuzzy DEMATEL technique to assess most common critical operational faults of marine boilers

### *Gemi kazanlarının en yaygın kritik operasyonel arızalarının bulanık DEMATEL tekniğiyle değerlendirilme uygulaması*

*Yazar(lar) (Author(s)): Veysi BAŞHAN<sup>1</sup>, Hakan DEMİREL<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-1070-1754*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-7579-7064*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Başhan V. and Demirel H. “application of fuzzy Dematel technique to assess most common critical operational faults of marine boilers”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 545-555, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.426644

# Application of Fuzzy Dematel Technique to Assess Most Common Critical Operational Faults of Marine Boilers

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Veysi BAŞHAN<sup>1\*</sup>, Hakan DEMİREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Technical University, Naval Architecture and Maritime Faculty, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup>Bülent Ecevit University, Maritime Faculty, Department of Marine Engineering Operations, Zonguldak, Turkey

(Received : 21.02.2018 ; Accepted : 24.04.2018)

## ABSTRACT

Whether it is steam powered or has an internal combustion engine as the main engine of propulsion, a ship without a boiler is unimaginable; somehow a boiler, which is indispensable on ships is needed. Boiler, one of the most important ship auxiliary engines, is used for several purposes that consist of heating of fuel tanks, machinery equipment and accommodation. Many problems can arise in boilers which are designed to work with main engine exhaust gas so that the waste heat can be used in order to match expectations of energy efficiency requirements. When ship systems are analyzed, it is understood that many systems are related to each other. If there is a problem with the boiler many systems will be affected and many problems will be encountered. Therefore, this study provides a fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) method to assess most common critical operational faults in marine boilers. The DEMATEL method gives chances to identify and analyses the important faults of marine boiler with respect to cause effect relationship diagram. Likewise, fuzzy sets get through with the uncertainty in decision making and experts comments on DEMATEL. When the results are examined, it is understood that “boiler takes excessive time to reach pressure” is important in terms of the reasons. When the effects are examined, it is seen that the most important effect is “leakage from pipes or valves”. The acquired results of the research will contribute to ship boilers operational safety and prevention of dangerous machinery effects.

**Keywords:** Marine boiler, fuzzy DEMATEL, faults, safety.

## Gemi Kazanlarının En Yaygın Kritik Operasyonel Arızalarının Bulanık DEMATEL Tekniğiyle Değerlendirilme Uygulaması

### ÖZ

Tahrik sisteminin ana motoru olarak ister buharla çalışan isterse de içten yanmalı motora sahip olan bir geminin, kazansız olması hayal edilemezdir; her şekilde, gemilerde vazgeçilmez bir yardımcı makine olan kazana ihtiyaç vardır. En önemli gemi yardımcı makinelerinden biri olan kazan; yakıt tanklarının, makine ekipmanlarının ve yaşam mahallinin ısıtılmasını içeren çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Gemi ana makinesi egzoz gazı ile çalışacak şekilde tasarlanmakta ve bu sayede atık ısı, enerji verimliliği gereksinimlerinin beklentilerini karşılayacak şekilde kullanılabilir. Bu sistemlerde kazanlarda birçok sorun ortaya çıkabilir. Gemi sistemleri incelendiğinde, birçok sistemin birbiriyle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Kazanda bir sorun varsa, birçok sistem etkilenecek ve birçok sorunla karşılaşılacaktır. Bu nedenle, bu çalışma, gemi kazanlarında en yaygın kritik operasyonel hataları değerlendirmek için bulanık bir DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) yöntemini sunmaktadır. DEMATEL yöntemi, gemi kazanlarının önemli arızalarını neden etki ilişkisi şemasına göre tanımlama ve analiz etme şansı verir. Benzer şekilde, bulanık kümeler karar verme konusundaki belirsizlikler ve DEMATEL ile ilgili uzman görüşleri üzerine bilgiler vermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, “kazanın istenilen basınca ulaşmak için aşırı zaman geçtiği” nedenler açısından önemlidir. Etkiler incelendiğinde en önemli etkinin “borulardan veya valflerden sızıntı” olduğu görülmektedir. Araştırmanın elde edilen sonuçları, gemi kazanlarına operasyonel emniyet ve tehlikeli makine etkilerinin önlenmesine katkıda bulunacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Gemi kazanları, bulanık DEMATEL, arızalar, emniyet

### 1. INTRODUCTION

Boilers are closed vessels containing a liquid, generally water, which is converted into steam at any desired pressure designed by applying heat, as understood by

marine engineers [1]. Years ago different types of these boilers and control methods were patented [2–4]. Boiler, one of the most important ship auxiliary engines, is used for several purposes that consist of heating of fuel tanks, machinery equipment and accommodation. Basically, it converts the water in the boiler to the high

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author)  
e-mail : vbashan@yildiz.edu.tr

temperature steam when the ship is in navigation with the heat of the main engine exhaust gas or the heat obtained by burning the fuel. Although it seem simple, boilers are made up of many structures and affect many systems. From the external view, the structures that are on the boiler can be simply as; hand rail at the top, steam pressure switch and gauge, soot blower, funnel base of main engine (M/E) inlet and outlet, water level controller and gauge, blow of valve(s), fuel oil heater(s), boiler water sampling valve(s) and burner exhaust gas outlet. Likewise, in internal structure, boiler have steam and water drums, some manholes, water tubes, burner etc. Each of these structures is systematically composed of several devices within itself. For example, fuel oil system of boiler have strainers, fuel oil pump, fuel pump motor, control valves, thermocouples, thermostats, solenoid valves for low and high combustion and solenoid shut-off valve. Besides, damper unit, ignition transformers, flame eye and peep hole, nozzles are also system components. In the operation of the boilers, fuel and combustion, air required for combustion, water to be transformed into steam and the treatment of this water, general corrosive problems, vapor pressures and other operational situations are important. There are a few publications and/or books in the literature on ship boilers [5-6], optimal control strategies [7-9] and failures of these boilers [10]. In such cases it is possible to use the fuzzy DEMATEL method. The DEMATEL method enables to identify and analyses the important faults of marine boiler with respect to cause effect relationship diagram. Likewise, fuzzy sets get through with the uncertainty in decision making and experts comments on DEMATEL. When the literature is searched, as for fuzzy DEMATEL technique, it is found that it can be applied to many different areas [11-16]. Wu and Lee [17] searched an effective method that combines fuzzy logic and DEMATEL method to segment required competencies of global managers. Labovská et al. [18] investigated model based hazard identification of an ammonia synthesis chemical reactor. Akyuz and Celik [19] underlined the importance of human errors aboard ships with their reliability analysis for chemical tanker's cargo tank cleaning operations. Patil and Kant [20] proposed a prediction which is based on DEMATEL and fuzzy multi criteria decision making (FMCDM) for knowledge adoption in supply chain. Shahi et al. [21] investigated the cause and effect decision making model of fuzzy DEMATEL for development of nuclear power plant. Baykasoğlu et al. [22] studied on integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for land transportation companies truck selection. George-Ufot et al. [23] examined several factors into economic, political, environmental and socio - cultural criteria in

Nigeria by using fuzzy logic and DEMATEL method. Tadić et al. [24] proposed a novel hybrid model which involve DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for solving complex city logistics concept selection. Furthermore, Liou et al. [25] developed a method that consist of fuzzy logic and DEMATEL method for building safety management system for airlines. When the literature is examined as above, it is seen that these methods have been successfully applied to many different research areas but there are not sufficient studies about ship and marine industry. In this context, apart from prior studies, this paper will remedy the missing part in the literature by adopting fuzzy DEMATEL method for critical operational faults of marine boilers which is one of the most important ship auxiliary engine.

## 2. RESEARCH METHODS

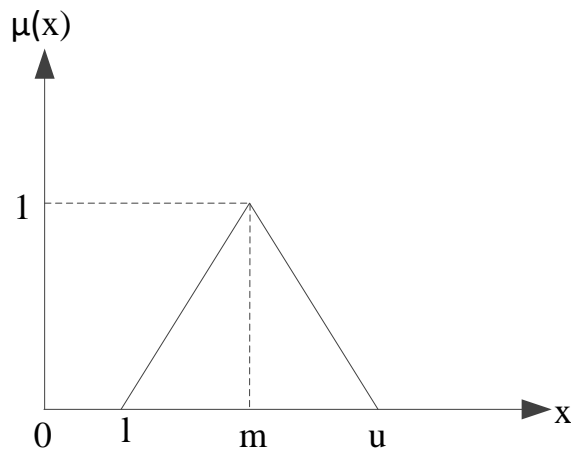
This study uses fuzzy sets and DEMATEL method to assess most common and important operational faults for ship boilers operation in any type of ships. The next section discusses fuzzy sets and DEMATEL methodologies.

### 2.1. Fuzzy Sets

Fuzzy logic which is developed by Lotfi A. Zadeh in 1965, is a method for evaluating uncertainty, ambiguity and decision making in human decisions. When the problems of decision making in real transactions are examined, it is seen that many decisions are caused by constraints and uncertain events, which are not known precisely [26]. It is thought to be more advantageous to translate linguistic terms into fuzzy numbers rather than blending opinions, ideas or decisions that arise from the expertise of the individuals or groups. Thus, the problems of group decision-making have essential generated fuzzy numbers to put into effect. A triangular fuzzy number can be expressed as a triplet  $\tilde{A} = (l, m, u)$  where  $l$ ,  $m$  and  $u$  denotes lower, medium and upper numbers of the fuzzy which is crisp and real numbers ( $x \leq y \leq z$ ). The membership function of a triangular fuzzy number can be described as below.

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x - l)/(m - l), & l \leq x \leq m \\ (u - x)/(u - m), & m \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

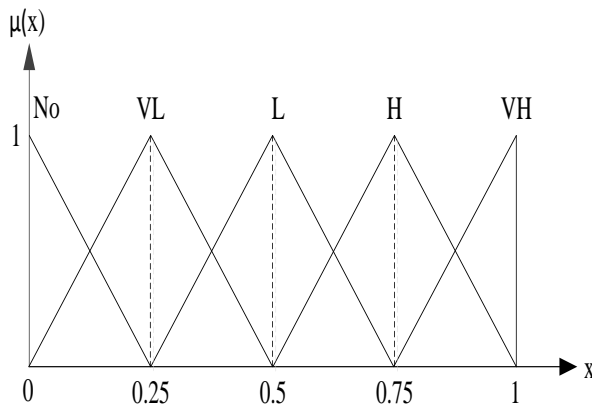
Within this framework, Figure 1 shows a triangular fuzzy number. The ersatz relationship among the verbal terms and triangular fuzzy numbers is identified according to the Table 1. Hence, fuzzy ratings and their membership function is exemplified in Figure 2.



**Figure 1.** Triangular fuzzy number

**Table 1.** Ersatz relationship among linguistic terms and fuzzy numbers

Linguistic terms	Triangular fuzzy numbers
No influence (No)	(0, 0, 0.25)
Very low influence (VL)	(0, 0.25, 0.5)
Low influence (L)	(0.25, 0.5, 0.75)
High influence (H)	(0.5, 0.75, 1)
Very high influence (VH)	(0.75, 1, 1)



**Figure 2.** Fuzzy ratings and their membership function

For any two triangular fuzzy numbers  $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  and  $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ , the mathematical calculation of the two triangular fuzzy numbers can be defined as follows:

The inset process among the triangular fuzzy numbers;  
 $\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$  (2)

The removal operation among the triangular fuzzy numbers;

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2)$$
 (3)

The multiplication operation among the triangular fuzzy numbers;

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$$
 (4)

The arithmetical operation for the triangular fuzzy numbers;

$$k \times \tilde{A}_1 = (k \times l_1, k \times m_1, k \times u_1), (k > 0)$$
 (5)

$$\frac{\tilde{A}_1}{k} = \left( \frac{l_1}{k}, \frac{m_1}{k}, \frac{u_1}{k} \right), (k > 0)$$
 (6)

The normalized direct-relation matrix can be obtained through with equation 7. It should be noted that all diagonal elements are equal to zero. Also, total relation matrix (T) is calculated by using equation 8. Finally,  $r_i$  and  $c_j$  are determined with the help of equations 9 and 10 respectively.

$$D = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$
 (7)

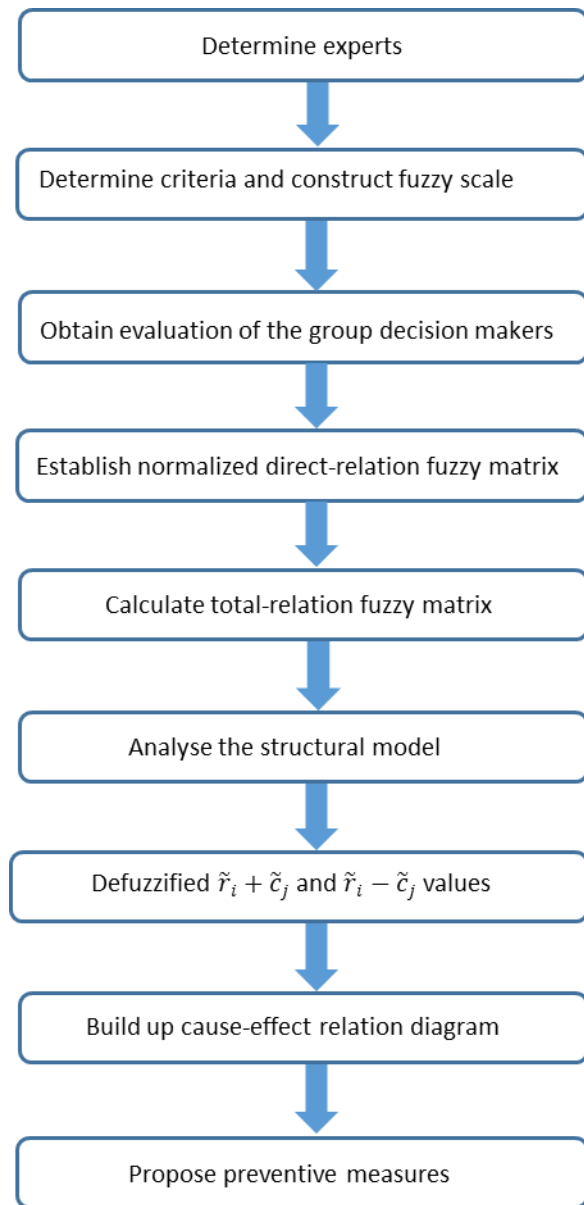
$$T = D(1 - D)^{-1}$$
 (8)

$$r_i = \sum_{1 \leq j \leq n} t_{ij}$$
 (9)

$$c_j = \sum_{1 \leq i \leq n} t_{ij}$$
 (10)

**2.2. Integration of Methods**

In this part, fuzzy sets and DEMATEL methods are combined to perform sensitive evaluation. A flow diagram of the fuzzy DEMATEL approach is illustrated in Figure 3. The base steps of the method is described as below [17], [25], [27].



**Figure 3.** Flow order of the Fuzzy DEMATEL method [28]

**Step 1- Determine experts:** In this step, it is consulted to the experts who have profound knowledge and experience about the problem in order to obtain coherent assessments.

**Step 2-Determine factors and construct fuzzy scale:** In this part, important factors are determined in order to be analyzed and assessed appropriately. Later on, linguistic variable is utilized with five scales (no influence, very low influence, low influence, high influence, and very high influence) due to the linguistic terms and fuzzy numbers. Thenceforth, corresponding triangular fuzzy members are shared.

**Step 3: Acquire assessment of the group decision makers:** The comparison is acquired in terms of verbal variables. Moreover, the fuzzy evaluations are converted into defuzzified and aggregated as a crisp value. As a consequence, initial direct-relation fuzzy matrix ( $\tilde{E}$ ) of group decision makers is builded.

$$\tilde{E} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{E}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{E}_{n1} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\tilde{e}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (12)$$

**Step 4-Demonstrate normalized direct-relation fuzzy matrix:** In the presence of the initial direct-relation matrix, normalized direct-relation fuzzy matrix is created. For achieving that, first of all it is considered  $\tilde{\beta}_i$  and  $\gamma$  as triangular fuzzy numbers. The below calculation is carried out respectively.

$$\tilde{\beta}_i = \sum \tilde{e}_{ij} = (\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij}) \quad (13)$$

$$\gamma = \max(\sum_{j=1}^n u_{ij}) \quad (14)$$

Furthermore, the linear scale transformation is implemented to convert the factors into corresponding scales. The normalized direct-relation fuzzy matrix ( $\tilde{F}$ ) of group decision makers can be shown as below.

$$\tilde{F} = \begin{bmatrix} \tilde{F}_{11} & \dots & \tilde{F}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{F}_{n1} & \dots & \tilde{F}_{nn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\text{where } \tilde{f}_{ij} = \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma} = \left( \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma}, \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma}, \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma} \right)$$

**Step 5-Calculate total-relation fuzzy matrix:** After having established normalized direct-relation fuzzy matrix, a total-relation fuzzy matrix is calculated by making sure that  $\lim_{\omega \rightarrow \infty} F^\omega = 0$ . After, the crisp case of the total-relation fuzzy matrix is identified as follows.

$$\tilde{T} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} (\tilde{F} + \tilde{F}^2 + \dots + \tilde{F}^\omega) \quad (16)$$

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \dots & \tilde{t}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \dots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\text{where } \tilde{t}_{ij} = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})$$

$$\text{Matrix}[l''_{ij}] = F_l \times (I - F_l)^{-1} \quad (18)$$

$$\text{Matrix}[m''_{ij}] = F_m \times (I - F_m)^{-1} \quad (19)$$

$$\text{Matrix}[u''_{ij}] = F_u \times (I - F_u)^{-1} \quad (20)$$

**Step 6-Analyse the structural model:** After calculating matrix  $\tilde{T}$ ,  $\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$  and  $\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$  are calculated. In the formula,  $\tilde{r}_i$  and  $\tilde{c}_j$  denote the sum of the rows and columns of matrix  $\tilde{T}$ . While  $\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$  shows the importance of factor  $i$ ,  $\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$  shows the net effect of factor  $i$ .

**Step 7- Defuzzify  $\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$  and  $\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$ :** Thenceforth,  $\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$  and  $\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$  are defuzzified by using COA (centre of area) defuzzification technique which is introduced by Ross [29] in order to determine BNP (best non-fuzzy performance) value. For a convex fuzzy number  $\tilde{\delta}$ , a real number  $z^*$  corresponding to its centre of area can be expressed as below: [30].

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{\delta}}(z)zdz}{\int \mu_{\tilde{\delta}}(z)dz} \quad (21)$$

The BNP value of a fuzzy number  $\tilde{G} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  can be determined with following formula.

$$BNP_{ij} = \frac{u_{ij} - l_{ij} + m_{ij} - l_{ij}}{3} + l_{ij} \quad (22)$$

**Step 8-Build up cause-effect relation diagram:** Lastly, the cause and effect relation diagram is illustrated by representing the dataset of  $r_i + c_j$  and  $r_i - c_j$ . The calculation can be done with the step 6 approach.

### 3. APPLICATION

This section includes fuzzy DEMATEL method which is applied to assess most common critical operational faults of marine boilers. The 15 critical problems identified by an overall assessment and the reports of several boiler manufacturers are addressed.

#### 3.1. Problem Description

Operational faults in boilers operating at high temperatures and pressures can have serious damages to people working in the ship machinery room, as well as to auxiliary equipment and systems that the boiler feeds. The boiler, which is directly and indirectly connected to many systems, is at the forefront of the most important auxiliary machinery on the ship. If the heating cannot be done, many systems, especially the fuel system, will be negatively affected and the ship operation will suffer a great deal of problems. Therefore, both physical and operational failures must be identified, hazards that may potentially be known, and necessary maintenance repairs made accordingly. In this context, Table 2 shows most common critical operational and physical problems of marine steam boilers.

**Table 2.** Critical operational faults of marine composite boiler

<b>C1</b>	High or low water level alarm
<b>C2</b>	Hotwell tank low level alarm
<b>C3</b>	Leakage from pipes or valves
<b>C4</b>	Turbolator fan doesn't work properly
<b>C5</b>	Atomizer doesn't work properly
<b>C6</b>	Ignition electrodes are dirty
<b>C7</b>	Safety valve doesn't work properly
<b>C8</b>	Feed water pump doesn't work properly
<b>C9</b>	PH, Alkalinity or Chloride problem
<b>C10</b>	General corrosion problems
<b>C11</b>	Boiler fuel supply pump doesn't work properly
<b>C12</b>	Air ratio setting is not proper
<b>C13</b>	Fluctuation problem on steam pressure
<b>C14</b>	Very high furnace pressure and temperature
<b>C15</b>	Boiler takes excessive time to reach pressure

#### 3.2. Determining of Experts

The views of experienced engineers who have profound knowledge and also working in the sector are very important because of the lack of academic studies and books about the systems on the ships. Thus, evaluations from experts' verbal experiences are very practical and useful. Marine engineers usually make a 6 month long distance marine internship as engine cadet. After an oceangoing marine training, they become an oceangoing watch keeping engineer (third engineer). After working for 30 months at sea, they become second engineers by going into exams in Turkey. After being a second engineer, they become chief engineers when they work at sea for 30 months and pass exams. One, have to work at sea for almost 5 years to become chief engineer. Thus, in this study, the knowledge of two oceangoing chief engineers who have at least 10 years' experience and have been closely interested in boiler repair & maintenance and also the information of a naval architecture and marine engineer who has done oceangoing second engineering at ships have been referred. The marine engineers were asked to evaluate the relationship between faults on boiler according to the verbal scale. It seems that the consensus of experts is achieved to get meaningful result.

#### 3.3. Application of Proposed Method

Critical operational problems related to boiler operation are given in Table 2 and marine engineers were asked to understand the relationship between faults. Then, marine engineers assess the relationship between the faults through the use of fuzzy verbal scale. Accordingly, Table 3 illustrates the initial direct-fuzzy matrix. After determining established initial direct-fuzzy matrix, normalized direct-relation fuzzy matrix is determined by using equations 13-15 respectively. Table 4 demonstrates the normalized initial direct-relation fuzzy matrix. Moreover, total relation fuzzy matrix can be determined with the help of equations 16-20. So, Table 5 shows the total-relation fuzzy matrix. Later on, table 6 illustrates defuzzified threshold values of T-matrix, table 7 demonstrates fuzzy values of  $\tilde{r}_i$ ,  $\tilde{c}_j$ ,  $\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$ ,  $\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$  and lastly in the light of above, with the help of equations 21 and 22 the crisp results.

**Table 3.** The initial direct-relation fuzzy matrix

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	...	<b>C12</b>	<b>C13</b>	<b>C14</b>	<b>C15</b>
<b>C1</b>	(0, 0, 0.25)	(0.50, 0.75, 1)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0, 0.25)	...	(0, 0, 0.25)	(0, 0.17, 0.42)	(0, 0, 0.25)	(0.08, 0.25, 0.50)
<b>C2</b>	(0, 0.17, 0.42)	(0, 0, 0.25)	(0.75, 1, 1)	(0, 0, 0.25)	...	(0, 0, 0.25)	(0.25, 0.42, 0.67)	(0, 0, 0.25)	(0.08, 0.25, 0.50)
<b>C3</b>	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	...	(0, 0, 0.25)	(0.17, 0.42, 0.67)	(0, 0.17, 0.42)	(0.08, 0.25, 0.50)
<b>C4</b>	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	...	(0.25, 0.50, 0.75)	(0.08, 0.25, 0.50)	(0.25, 0.42, 0.67)	(0.17, 0.33, 0.58)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<b>C12</b>	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.75, 1, 1)	...	(0, 0, 0.25)	(0.17, 0.33, 0.58)	(0, 0.08, 0.33)	(0.33, 0.50, 0.75)
<b>C13</b>	(0.5, 0.75, 0.92)	(0.58, 0.83, 0.92)	(0.50, 0.75, 1)	(0.42, 0.67, 0.92)	...	(0.25, 0.42, 0.67)	(0, 0, 0.25)	(0.25, 0.42, 0.67)	(0.17, 0.33, 0.58)
<b>C14</b>	(0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0.17, 0.42)	(0.17, 0.42, 0.67)	(0.08, 0.25, 0.50)	...	(0.17, 0.33, 0.58)	(0.17, 0.33, 0.58)	(0, 0, 0.25)	(0.08, 0.25, 0.50)
<b>C15</b>	(0, 0.17, 0.42)	(0.08, 0.25, 0.50)	(0.75, 1, 1)	(0.50, 0.75, 0.92)	...	(0.75, 1, 1)	(0.25, 0.42, 0.67)	(0, 0, 0.25)	(0, 0, 0.25)

**Table 4.** Normalized initial direct-relation fuzzy matrix

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	...	<b>C12</b>	<b>C13</b>	<b>C14</b>	<b>C15</b>
<b>C1</b>	(0, 0, 0.03)	(0.05, 0.08, 0.11)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0, 0, 0.03)	...	(0, 0, 0.03)	(0, 0.02, 0.04)	(0, 0, 0.03)	(0.01, 0.03, 0.05)
<b>C2</b>	(0, 0.02, 0.04)	(0, 0, 0.03)	(0.08, 0.11, 0.11)	(0, 0, 0.03)	...	(0, 0, 0.03)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0, 0, 0.03)	(0.01, 0.03, 0.05)
<b>C3</b>	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	...	(0, 0, 0.03)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0, 0.02, 0.04)	(0.01, 0.03, 0.05)
<b>C4</b>	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	...	(0.03, 0.05, 0.08)	(0.01, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<b>C12</b>	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)	(0.04, 0.05, 0.07)	(0.08, 0.11, 0.11)	...	(0, 0, 0.03)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0, 0.1, 0.4)	(0.04, 0.05, 0.08)
<b>C13</b>	(0.05, 0.08, 0.10)	(0.06, 0.09, 0.10)	(0.05, 0.08, 0.11)	(0.04, 0.07, 0.10)	...	(0.03, 0.04, 0.07)	(0, 0, 0.03)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0.02, 0.04, 0.06)
<b>C14</b>	(0.04, 0.05, 0.07)	(0, 0.02, 0.04)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.01, 0.03, 0.05)	...	(0.02, 0.04, 0.06)	(0.02, 0.04, 0.06)	(0, 0, 0.03)	(0.01, 0.03, 0.05)
<b>C15</b>	(0, 0.02, 0.04)	(0.01, 0.03, 0.05)	(0.08, 0.11, 0.11)	(0.05, 0.08, 0.10)	...	(0.08, 0.11, 0.11)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0, 0, 0.03)	(0, 0, 0.03)



**Table 5.** Total–relation fuzzy matrix

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	...	<b>C12</b>	<b>C13</b>	<b>C14</b>	<b>C15</b>
<b>C1</b>	(0, 0.01, 0.18)	(0.06, 0.10, 0.27)	(0.05, 0.09, 0.32)	(0, 0.01, 0.19)	...	(0, 0.01, 0.18)	(0.01, 0.04, 0.26)	(0, 0.01, 0.17)	(0, 0.04, 0.20)
<b>C2</b>	(0, 0.03, 0.20)	(0.01, 0.02, 0.20)	(0.09, 0.14, 0.36)	(0, 0.01, 0.19)	...	(0, 0.01, 0.18)	(0.03, 0.07, 0.29)	(0, 0.01, 0.17)	(0, 0.05, 0.20)
<b>C3</b>	(0, 0.01, 0.17)	(0, 0.02, 0.19)	(0.01, 0.03, 0.27)	(0, 0.01, 0.18)	...	(0, 0.01, 0.17)	(0.02, 0.06, 0.27)	(0, 0.02, 0.18)	(0, 0.04, 0.20)
<b>C4</b>	(0, 0.01, 0.15)	(0, 0.01, 0.16)	(0, 0.02, 0.24)	(0, 0.02, 0.17)	...	(0.03, 0.07, 0.21)	(0.01, 0.04, 0.23)	(0.03, 0.05, 0.20)	(0, 0.05, 0.20)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<b>C12</b>	(0, 0.01, 0.18)	(0, 0.01, 0.19)	(0.04, 0.08, 0.32)	(0.08, 0.12, 0.28)	...	(0.01, 0.02, 0.19)	(0.02, 0.06, 0.28)	(0, 0.03, 0.20)	(0, 0.07, 0.3)
<b>C13</b>	(0.06, 0.10, 0.32)	(0.07, 0.12, 0.35)	(0.07, 0.15, 0.48)	(0.05, 0.10, 0.35)	...	(0.03, 0.07, 0.30)	(0.01, 0.05, 0.36)	(0.03, 0.06, 0.30)	(0, 0.08, 0.4)
<b>C14</b>	(0.04, 0.07, 0.23)	(0.01, 0.04, 0.23)	(0.03, 0.08, 0.34)	(0.01, 0.04, 0.23)	...	(0.02, 0.05, 0.23)	(0.02, 0.06, 0.29)	(0, 0.01, 0.19)	(0, 0.05, 0.3)
<b>C15</b>	(0, 0.04, 0.25)	(0.01, 0.05, 0.28)	(0.10, 0.17, 0.46)	(0.06, 0.11, 0.34)	...	(0.09, 0.13, 0.32)	(0.04, 0.09, 0.38)	(0.01, 0.03, 0.25)	(0, 0.04, 0.3)

**Table 6.** Defuzzified threshold values of T-matrix

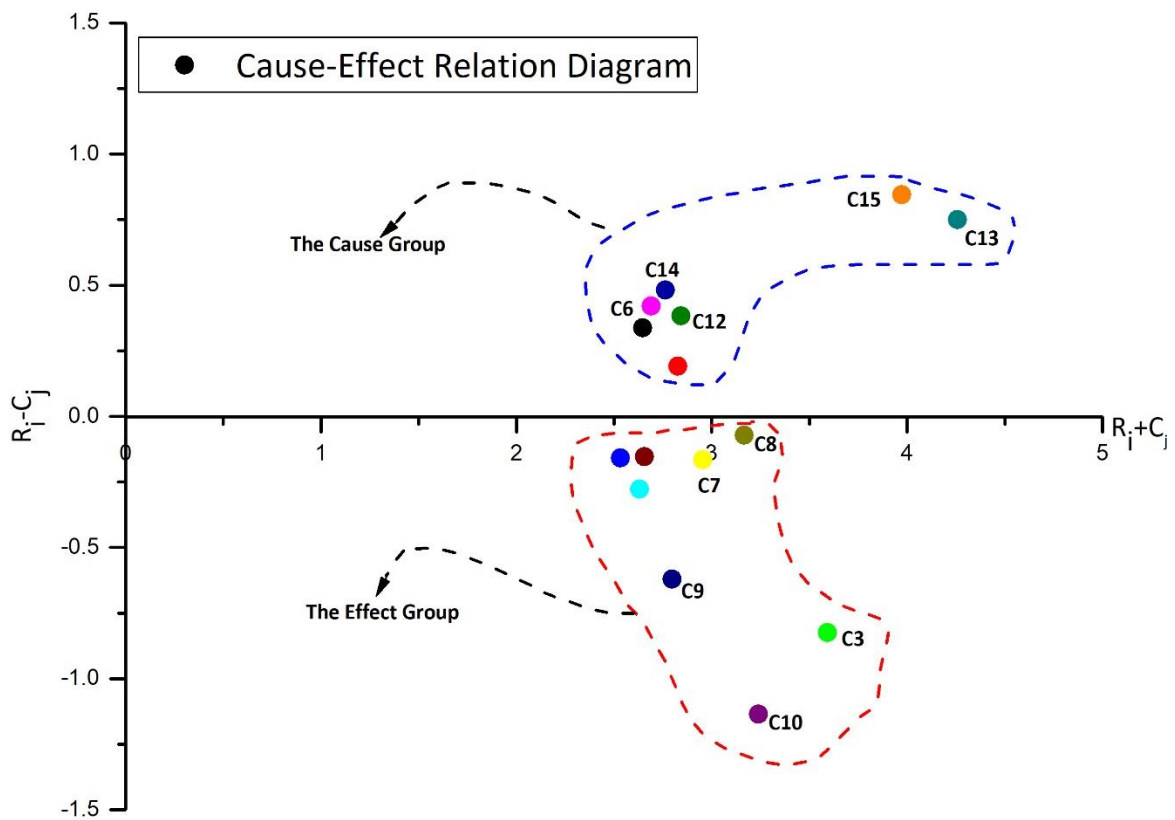
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0.06	0.14	0.15	0.07	0.07	0.06	0.11	0.15	0.14	0.14	0.07	0.06	0.10	0.06	0.06
C2	0.08	0.07	0.20	0.07	0.07	0.06	0.14	0.15	0.11	0.14	0.07	0.06	0.13	0.06	0.07
C3	0.06	0.07	0.10	0.06	0.07	0.06	0.13	0.12	0.14	0.15	0.07	0.06	0.12	0.07	0.07
C4	0.05	0.06	0.09	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.10	0.07	0.10	0.09	0.09	0.09
C5	0.05	0.06	0.09	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.12	0.12	0.06	0.10	0.08	0.08
C6	0.06	0.07	0.11	0.12	0.13	0.07	0.08	0.08	0.10	0.13	0.14	0.12	0.11	0.10	0.11
C7	0.07	0.08	0.15	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.15	0.16	0.07	0.06	0.14	0.06	0.07
C8	0.12	0.15	0.16	0.07	0.08	0.06	0.09	0.09	0.11	0.15	0.07	0.07	0.14	0.06	0.07
C9	0.05	0.05	0.14	0.05	0.05	0.05	0.08	0.08	0.08	0.16	0.05	0.05	0.08	0.05	0.05
C10	0.05	0.05	0.12	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.15	0.08	0.05	0.05	0.09	0.05	0.05
C11	0.05	0.06	0.13	0.06	0.09	0.10	0.07	0.07	0.08	0.16	0.06	0.06	0.10	0.09	0.08
C12	0.06	0.07	0.15	0.16	0.16	0.08	0.08	0.08	0.09	0.15	0.12	0.07	0.12	0.08	0.09
C13	0.16	0.18	0.23	0.16	0.18	0.13	0.19	0.19	0.17	0.20	0.15	0.13	0.14	0.13	0.13
C14	0.11	0.09	0.15	0.10	0.10	0.09	0.11	0.13	0.10	0.15	0.10	0.10	0.13	0.07	0.07
C15	0.10	0.12	0.24	0.17	0.19	0.13	0.20	0.16	0.15	0.20	0.19	0.18	0.17	0.09	0.09

**Table 7.** Fuzzy values of  $\tilde{r}_i, \tilde{c}_j, \tilde{r}_i + \tilde{c}_j, \tilde{r}_i - \tilde{c}_j$

	$\tilde{r}_i$	$\tilde{c}_j$	$\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$	$\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$
C1	(0.28, 0.67, 3.53)	(0.17, 0.42, 2.87)	(0.45, 1.09, 6.40)	(-2.59, 0.24, 3.36)
C2	(0.28, 0.69, 3.55)	(0.24, 0.54, 3.18)	(0.52, 1.23, 6.73)	(-2.89, 0.15, 3.32)
C3	(0.22, 0.58, 3.36)	(0.59, 1.23, 4.80)	(0.81, 1.81, 8.16)	(-4.58, -0.66, 2.77)
C4	(0.14, 0.43, 2.99)	(0.27, 0.56, 3.22)	(0.40, 0.99, 6.21)	(-3.08, -0.12, 2.73)
C5	(0.13, 0.42, 2.98)	(0.29, 0.63, 3.44)	(0.42, 1.05, 6.42)	(-3.31, -0.21, 2.69)
C6	(0.30, 0.71, 3.65)	(0.16, 0.41, 2.84)	(0.46, 1.12, 6.49)	(-2.54, 0.30, 3.50)
C7	(0.23, 0.57, 3.38)	(0.33, 0.72, 3.63)	(0.55, 1.30, 7.01)	(-3.40, -0.15, 3.05)
C8	(0.32, 0.71, 3.61)	(0.33, 0.78, 3.75)	(0.65, 1.49, 7.37)	(-3.43, -0.07, 3.28)
C9	(0.15, 0.36, 2.76)	(0.32, 0.86, 3.95)	(0.47, 1.22, 6.71)	(-3.80, -0.49, 2.44)
C10	(0.14, 0.34, 2.67)	(0.49, 1.18, 4.89)	(0.63, 1.52, 7.57)	(-4.75, -0.84, 2.18)
C11	(0.20, 0.49, 3.06)	(0.29, 0.60, 3.33)	(0.49, 1.09, 6.39)	(-3.13, -0.11, 2.77)
C12	(0.37, 0.77, 3.70)	(0.23, 0.47, 2.98)	(0.60, 1.24, 6.68)	(-2.61, 0.29, 3.47)
C13	(0.68, 1.42, 5.42)	(0.29, 0.85, 4.12)	(0.97, 2.26, 9.54)	(-3.44, 0.57, 5.12)
C14	(0.26, 0.76, 3.85)	(0.14, 0.39, 2.90)	(0.39, 1.15, 6.75)	(-2.64, 0.37, 3.72)
C15	(0.71, 1.42, 5.09)	(0.27, 0.71, 3.72)	(0.98, 2.13, 8.81)	(-3.00, 0.71, 4.82)

**Table 8.** Crisp values of  $\tilde{r}_i, \tilde{c}_j, \tilde{r}_i + \tilde{c}_j, \tilde{r}_i - \tilde{c}_j$

	$\tilde{r}_i$	$\tilde{c}_j$	$\tilde{r}_i + \tilde{c}_j$	$\tilde{r}_i - \tilde{c}_j$
<b>C1</b>	1.49	1.16	2.65	0.34
<b>C2</b>	1.51	1.32	2.83	0.19
<b>C3</b>	1.38	2.21	3.59	-0.82
<b>C4</b>	1.19	1.35	2.53	-0.16
<b>C5</b>	1.18	1.45	2.63	-0.28
<b>C6</b>	1.56	1.14	2.69	0.42
<b>C7</b>	1.39	1.56	2.96	-0.17
<b>C8</b>	1.55	1.62	3.17	-0.07
<b>C9</b>	1.09	1.71	2.80	-0.62
<b>C10</b>	1.05	2.19	3.24	-1.14
<b>C11</b>	1.25	1.40	2.66	-0.15
<b>C12</b>	1.61	1.23	2.84	0.38
<b>C13</b>	2.50	1.75	4.26	0.75
<b>C14</b>	1.62	1.14	2.76	0.48
<b>C15</b>	2.41	1.56	3.97	0.84



**Figure 4.** Cause-effect relation diagram

### 3.4. Findings and Comments

With the help of the above calculations results, figure 4 illustrates the cause effect relation diagram which is divided into two different groups; the cause and the effect group.

#### 3.4.1. Cause Factors

In order to clearly assess the most common critical marine boiler operational faults it is really important to focus on the cause factors which require great caution. While investigating figure 4 C15 (Boiler takes excessive time to reach pressure) has the highest  $r_i-c_j$  value (0.84) between the all factors in cause group. This tells that C15 has more impact on the whole process. Thereafter, C13 (Fluctuation problem on steam pressure) is the second most important causal factor since it is at second place between entire process. Also C13 has third highest  $r_i$  value (1.75) which means that it has substantial influence on entire process. The third most critical factor between all factors is C14 (Very high furnace pressure and temperature) since its  $r_i-c_j$  value is (0.48). This sequence continues with C6 (Ignition electrodes are dirty) and C12 (Air ratio setting is not proper). And it seems from hereafter other cause factors have relatively moderate impact on the whole boiler system.

#### 3.4.2. Effect Factors

As it is known, influential effect factors can easily be affected by other factors. It may still be necessary to analyze the effect factors (faults) that could lead to serious consequences in the operations of the marine boiler. According to the cause effect relation diagram in figure 4, there is every appearance that C3 (Leakage from pipes or valves) has the highest  $r_i+c_j$  value (3.59) between effect factor group. Furthermore, its influenced impact index ( $c_j$ ) has the biggest value (2.21) among entire process.  $r_i-c_j$  value of C3 is also appears to be in the middle when the whole process is taken into consideration. The system will continue to operate at its maximum capacity so that the operating pressure of the system can be provided in case of a leakage from pipes or valves. The boiler fuel pumps will run continuously and the water will be pumped consistently from the hotwell tank to the boiler. If the leakages can not be remedied urgently, there is a possibility of encountering more problems in a short time. Moreover, C10 (General corrosion problems) and C8 (Feed water pump doesn't work properly) have great influence on the whole process as effect factors. But, C8  $r_i-c_j$  value is (-0.07) which means that it should be excepted from critical cause faults list. Because feed water pump can easily be repaired if a problem is encountered or a spare pump can be replaced quite easily.

### 3.5. Recommendations for Preventing Failures

Planned maintenance and repairs must be carried out either at the ship's main engine or at the ship auxiliary engine(s). Both the intermediate surveys and the main machinery surveys, which is held every 5 years, have the vital importance of eliminating any kind of glitches. When examining 15 common problems with the boiler,

for preventing any malfunction some important inspections should be done. Careless handling of the burner unit can seriously lead up to causing accidents such as explosion and fires which may lead to loss of life. For example, if there is burner ignition failure, electrodes should be checked and dirt on electrode and insulator should be removed. Likewise, in case of the oil temperature is improper the setting of the thermostat for temperature control should be done. Furthermore, in case of safety valve(s) fault the reason is generally; operating and limit switch set higher than safety valve, incorrect wired gas valve or somehow pressure of boiler exceeds pressure setting of safety valve. Finally it can be say that instruction manuals must be read before operation of boiler.

## 4. CONCLUSION

Both on land and onboard, security and safety are the most important issues. Safety of life at sea is the most important issue as there is little chance of medical intervention at sea. For this reason, the operation of ship machinery which usually operates at high temperatures and pressures needs to be done with great care and attention. A malfunction at the machinery can cause serious damage either to crew or to machinery. There is almost no study in the marine boiler problems in literature related to this subject. In order to close this gap in the literature, in this study, 15 critical problems of marine boilers were investigated by using fuzzy DEMATEL approach for betterment of safety as well as prevention loss of crew life and machinery hazards. While DEMATEL gives chances to an intelligent decision-making approach for evaluation by dividing potential failures into a cause-effect group, fuzzy sets make it possible to interpret uncertain and ambiguous judgments in group decision. Thus, most common and critical operational faults in the course of marine boiler process are determined and evaluates associated with visual cause - effect relation diagram. When all these results are examined, it is clear that scheduled maintenance is vital to the ship. It should be remembered that all the systems on the ship are somehow connected to each other and it should not be forgotten that an error will trigger other failures. For this reason, it is very important to carry out all maintenance and repair operations on time. As a result, contribution of the research findings to seafarers and indirectly to the ship owners can be considerably admirable. Also, the result of research contributes an important way to sustainably enrich safety of shipboard machinery operations in an extensive way. Moreover, if boiler takes excessive time to reach pressure the reasons are mostly: burners can be out of adjustment, improper gas pressure, insufficient quantity of gas supply, dirty boiler flue passages.

## REFERENCES

- [1] Milton J.H. and Leach R.M. *Marine steam boilers*. 4th ed. Elsevier; (2013).

- [2] Funke F. "*Marine Steam-Boiler*", 269041, (1882).
- [3] Kling O. "*Marine Steam-Boiler*", 578753, (1897).
- [4] Jack L. Pinkerton. "*Steam Boiler Control*", 2385161, (1940).
- [5] Gutiérrez Ortiz FJ. "Modeling of fire-tube boilers", *Applied Thermal Engineering*, 31:3463–78, (2011).
- [6] Flanagan GTH. *Marine Boilers*. Elsevier; (2013).
- [7] Solberg B, Karstensen CMS, Andersen P, Pedersen TS, and Hvistendahl PU. "MODEL-BASED CONTROL OF A BOTTOM FIRED MARINE BOILER", *IFAC Proceedings Volumes*, 38:314–9. d, (2005).
- [8] Solberg B, Andersen P, and Karstensen CMS. "Control properties of bottom fired marine boilers", *Energy*, 32:508–20, (2007).
- [9] Solberg B, Andersen P, Maciejowski JM, and Stoustrup J. "Optimal switching control of burner setting for a compact marine boiler design", *Control Engineering Practice*, 18:665–75, (2010).
- [10] Slater I. and Parr N. "Marine Boiler Deterioration", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 160:341–358, (1949).
- [11] Chang B, Chang C-W, and Wu C-H. "Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria", *Expert Systems with Applications*, 38:1850–8, (2011).
- [12] Wu W-W. "Segmenting critical factors for successful knowledge management implementation using the fuzzy DEMATEL method", *Applied Soft Computing*, 12:527–35, (2012).
- [13] Uygun Ö, Kaçamak H, and Kahraman ÜA. "An integrated DEMATEL and Fuzzy ANP techniques for evaluation and selection of outsourcing provider for a telecommunication company", *Computers & Industrial Engineering*, 86:137–46, (2015).
- [14] Pandey A, and Kumar A. "Commentary on "Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach", *Applied Soft Computing*, 51:351–2, (2017).
- [15] Sayyadi Tooranloo H, Azadi MH, and Sayyahpoor A. "Analyzing factors affecting implementation success of sustainable human resource management (SHRM) using a hybrid approach of FAHP and Type-2 fuzzy DEMATEL", *Journal of Cleaner Production*, 162:1252–65, (2017).
- [16] Ocampo LA, Tan TAG, and Sia LA. "Using fuzzy DEMATEL in modeling the causal relationships of the antecedents of organizational citizenship behavior (OCB) in the hospitality industry: A case study in the Philippines", *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 34:11–29, (2018).
- [17] Wu W-W, and Lee Y-T. "Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method", *Expert Systems with Applications*, 32:499–507, (2007).
- [18] Labovská Z, Labovský J, Jelemenský P, Dudáš J, and Markoš J. "Model-based hazard identification in multiphase chemical reactors", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 29:155–62, (2014).
- [19] Akyuz E, and Celik M. "A methodological extension to human reliability analysis for cargo tank cleaning operation on board chemical tanker ships", *Safety Science*, 75:146–55, (2015).
- [20] Patil SK, and Kant R. "A hybrid approach based on fuzzy DEMATEL and FMCDM to predict success of knowledge management adoption in supply chain", *Applied Soft Computing*, 18:126–35, (2014).
- [21] Shahi E, Alavipour FS, and Karimi S. "The development of nuclear power plants by means of modified model of Fuzzy DEMATEL and GIS in Bushehr, Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 83:33–49, (2018).
- [22] Baykasoğlu A, Kaplanoğlu V, Durmuşoğlu ZDU, and Şahin C. "Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection", *Expert Systems with Applications*, 40:899–907, (2013).
- [23] George-Ufot G, Qu Y, and Orji II. "Sustainable lifestyle factors influencing industries' electric consumption patterns using Fuzzy logic and DEMATEL: The Nigerian perspective", *Journal of Cleaner Production*, 162:624–34, (2017).
- [24] Tadić S, Zečević S, and Krstić M. "A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection", *Expert Systems with Applications*, 41:8112–28, (2014).
- [25] Liou JJ, Yen L, and Tzeng G-H. "Building an effective safety management system for airlines", *Journal of Air Transport Management*, 14:20–26, (2008).
- [26] Zadeh LA. "Fuzzy sets. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh", *World Scientific*, p. 394–432, (1996).
- [27] Chen-Yi H, Ke-Ting C, and Gwo-Hshiang T. "FMCDM with Fuzzy DEMATEL Approach for Customers' Choice Behavior Model", *International Journal of Fuzzy Systems*, 9, (2007).
- [28] Akyuz E, and Celik E. "A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38:243–53, (2015).
- [29] Ross TJ. *Fuzzy logic with engineering applications*, John Wiley & Sons; (2009).
- [30] Gumus AT, Yayla AY, Çelik E, and Yildiz A. "A combined fuzzy-AHP and fuzzy-GRA methodology for hydrogen energy storage method selection in Turkey", *Energies*, 6:3017–3032, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Zeki optimizasyon tabanlı destek vektör makineleri ile diyabet teşhisi

## *Diabetes diagnosis with intelligent optimization based support vector machines*

Yazar(lar) (Author(s)): Utku KÖSE

ORCID: 0000-0002-9652-6415

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Köse U., “Zeki optimizasyon tabanlı destek vektör makineleri ile diyabet teşhisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 557-566, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.418851

# Zeki Optimizasyon Tabanlı Destek Vektör Makineleri ile Diyabet Teşhisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Utku KÖSE\*

Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.02.2018 ; Kabul/Accepted : 30.03.2018)

## ÖZ

Yapay Zekâ, farklı gerçek dünya problemlerine etkin bir şekilde uygulanabilen ve geleceğimizi uzun bir süredir şekillendiren, önemli bilim alanlarından birisidir. Uygulandığı problem türleri çok çeşitli olmakla birlikte, bunlardan en dikkat çekenlerinden birisi de medikal teşhistir. Açıklamalardan hareketle bu çalışmanın amacı, zeki optimizasyon tabanlı Destek Vektör Makineleri'ni (DVM) kullanarak diyabet teşhisi gerçekleştirmektir. Bu bağlamda, günümüz güncel zeki optimizasyon algoritmalarından beş tanesi Gaussian-RBF kernel fonksiyonu kullanan bir non-lineer DVM'yi optimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, farklı algoritmalar ile kurulmuş hibrit sistemlerin, farklı düzeyde başarımlar gösterdiğini ancak genel anlamda zeki optimizasyon-DVM yaklaşımıyla diyabet teşhisinde yüksek oranda tutarlı sonuçlar elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Çalışma bu yönüyle izlenen yaklaşımın Yapay Zekâ tabanlı teşhis açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu da teyit etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Zeki optimizasyon, destek vektör makineleri, diyabet teşhisi, medikal teşhis, yapay zekâ.

## Diabetes Diagnosis with Intelligent Optimization Based Support Vector Machines

### ABSTRACT

Artificial Intelligence is one of the most important scientific fields that can be applied effectively in different real world problems and has been shaping our future for a long time. While there are various types of problems in which it is applied, medical diagnosis is one of the most remarkable one among them. Moving from the explanations, objective of this study is to realize diabetes diagnosis by using intelligent optimization based Support Vector Machines (SVM). In this context, five ones of today's recent intelligent optimization algorithms were used for optimizing a non-linear SVM, which is using a Gaussian-RBF kernel function. Obtained findings showed that hybrid systems formed with different algorithms show different-level success but in general, good level accurate results can be achieved via intelligent optimization-SVM approach. Hereby, the study also confirms that this followed approach has a significant potential for Artificial Intelligence based diagnosis.

**Keywords:** Intelligent optimization, support vector machines, diabetes diagnosis, medical diagnosis, artificial intelligence

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler, beraberinde birçok farklı sonucu ortaya çıkarmaktadır. Söz konusu sonuçlar, gelişmelerle ilişkili bağlı teknolojilerin ivme kazanması ya da bilimsel literatüre yeni alanların eklenmesi yönündeki durumları içerebilmekte ve özellikle birbirini destekleyici teknolojilerin karşılıklı değişimiyle beraber süreç ilerleyebilmektedir. Bu bağlamda, hızlı yükselişlerini yirminci yüzyılın ortalarından başlayarak, günümüze kadar sürdüren ve etkilerini insan hayatında yoğun bir şekilde hissettiren; bilgisayar, elektronik ve iletişim teknolojileri gibi teknolojiler, geleceğe ışık tutan bilim alanlarının ortaya çıkmasına da sebep olmuştur. Yapay Zekâ, söz konusu bu alanlardan birisi olarak dikkat çekmektedir.

Genel olarak, insan ve doğa esinli, matematiksel ve mantıksal yaklaşımlarla gerçek dünya problemlerini başarılı bir şekilde çözümlen Yapay Zekâ [1, 2], esnek

yapısı ve çok disiplinli uygulanabilirliği neticesinde yükselişini hızlı bir şekilde sürdürmektedir [1-3]. Burada özellikle geleneksel yaklaşım, yöntem ve tekniklerle çözümlenemeyen ya da istenilen düzeylerde çözümlenemeyen problemler, Yapay Zekâ ile oluşturulan zeki sistemler aracılığıyla başarılı bir şekilde çözüme kavuşturulabilmektedir. Özellikle tahmin, teşhis, örüntü tanıma, optimizasyon, adaptif kontrol, yorumlama ve bilgi işleme – modelleme tabanlı gerçek dünya problemlerine yönelik başarısı gözler önünde olan Yapay Zekâ [2, 4-9], artık günlük hayatta da kendini yakından hissettirir hale gelmiştir. Mühendislik tabanlı alanlar, eğitim, ekonomi, askeriye gibi alanların yanında kuşkusuz ki sağlık da, Yapay Zekâ'nın ön planda kullanıldığı alanlardan birisi olmuştur. Sağlık alanında birçok farklı çözüm ve uygulama kapsamı söz konusu olmakla birlikte, ilgili literatür ve mevcut gelişmeler dikkate alındığında, Yapay Zekâ tabanlı yaklaşımların yaygın bir biçimde kullanıldığı uygulamalardan birisinin de medikal teşhisler olduğunu ifade edebiliriz [10-16].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : utkukose@sdu.edu.tr

Bu çalışmanın amacı, zeki optimizasyon tabanlı Destek Vektör Makineleri'ni (DVM) kullanarak diyabet teşhisi gerçekleştirmektir. Bu bağlamda, günümüz yaygın zeki optimizasyon algoritmalarından beş tanesi (ikisi temel, üçü güncel algoritmalar olmak üzere): Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Genetik Algoritma (GA), Guguk Kuşu Araması (GKA), Bakteriyel Yiyecek Arama Optimizasyonu (BYAO) ve Çiçek Tozlaşma Optimizasyonu (ÇTO), Gaussian-RBF kernel fonksiyonu kullanan bir non-lineer DVM'yi optimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Literatürde Gaussian-RBF kernel fonksiyonunun farklı parametreleri yönünden optimize edildiği farklı çalışmalar mevcuttur [17-21]. Bu çalışmada ise, Gaussian-RBF kernel fonksiyonu için önem arz eden sigma ( $\sigma$ ) parametresi değerinin belirlenmesi adına ilgili zeki optimizasyon algoritmalarının devreye sokulduğu bir hibrit sistem düzeni oluşturulmuştur. Sistem kapsamındaki amaç, algoritmaların optimizasyon yönelimli mekanizmalarının optimum parametre belirlemek için iteratif bir şekilde çalıştırılmasıdır. Çalışmadaki diyabet teşhisi yaklaşımı, literatürde kullanılagelen Pima Yerlileri veri seti dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın konusu ve amaçları doğrultusunda metnin ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bir sonraki bölüm altında diyabet teşhisine yönelik uygulanan yöntem ve işe koşulan tekniklere dair detaylar vurgulanmıştır. Bu bağlamda öncelikli olarak diyabet veri setine ilişkin temel bilgilere, işe koşulan tekniklere ve yine tasalanan diyabet teşhisi yaklaşımına dair temel işlem adımlarına değinilmiştir. İkinci bölümü takiben, üçüncü bölüm altında diyabet teşhisi süreciyle elde edilen bulgular sunulmuş ve metin, çalışmayla ulaşılan sonuçlar, bu bağlamda genel tartışmalar ve düşünülen gelecek çalışmalardan bahsedilerek soma erdirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada gerçekleştirilen teşhis yaklaşımı ile elde edilen bulgulara değinmeden önce, zeki optimizasyon algoritmaları ve Destek Vektör Makineleri ile kurulan hibrit sistemlere dair detayları açıklamak gerekmektedir. Bu bağlamda bölüm içerisinde araştırmaya konu olan veri setine, Destek Vektör Makineleri tekniğine ve zeki optimizasyon kavramı ile işe koşulan algoritmalar (bu çalışmada kullanılan Sürü Zekâsı teknikleri – algoritmaları) açıklanmıştır.

### 2.1. Teşhis Amaçlı Diyabet Veri Seti (Diagnosis Purpose Diabetes Data Set)

Bu çalışmada amaçlanan diyabet teşhisi için, literatürde sıklıkla kullanılan Pima Yerlileri veri seti kullanılmıştır. Söz konusu veri seti, UCI Machine Learning Repository adlı veri havuzu Web sitesinden indirilebilmektedir [22]. Veri setinin alındığı hedef kişilere ve veri seti geneline dair bazı bilgiler şu şekildedir [23]:

- Kişiler, Arizona civarında yaşayan, Pima Yerlileri'dir.

- Veriler, en küçüğü 21 yaşındaki kişilerden alınmıştır.
- Veri setinde toplamda 768 örnek ve 8 nitelik vardır.
- Her bir örnekte ilgili kişinin diyabet pozitif ya da diyabet negatif (hasta ya da değil) olmasına göre 1 adet çıkış değeri vardır. Bu bağlamda, veri setindeki niteliklerin neler olduğuna dair açıklamalar Çizelge 1'de sunulmuştur [23].
- Veri setindeki 768 örnekten 500 tanesi diyabet negatif kişilere, geriye kalan 268 tanesi ise diyabet pozitif kişilere aittir.

**Çizelge 1.** Hedef diyabet veri setindeki nitelikler (Features in the target diabetes dataset) [23].

Nitelik No.	Niteliğin Açıklaması
1	Hamilelik Sayısı
2	Plazma Glukoz Konsantrasyonu
3	Diastolik Kan Basıncı
4	Kol Kası Cilt Kıvrım Kalınlığı
5	2-h serum insülin
6	Vücut Kütle İndeksi
7	Diyabet Soyağacı Fonksiyonu
8	Yaş

İlerleyen alt-bölümler çalışmada kullanılan tekniklerden ve uygulanan yaklaşımdan kısaca bahsedilmiştir.

### 2.2. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines)

Bir Yapay Zekâ (Makine Öğrenmesi) ve Veri Madenciliği tekniği olarak Destek Vektör Makineleri (DVM), Vapnik tarafından literatüre kazandırılmış ve bu bağlamda, regresyon ve sınıflandırma tabanlı problemler için önerilmiştir [24, 25]. Söz konusu problem yaklaşımlarıyla farklı gerçek dünya problemlerine sunduğu etkin çözümler neticesinde, çok disiplinli uygulamalar kapsamında oldukça popüler bir hale gelmiştir [26-31]. Kısaca ifade etmek gerekirse DVM, Lagrange çarpanlarından yola çıkarak, farklı iki sınıfı ayıran optimum ayırıcıyı bulmayı amaç edinen, bunun için de eldeki örnek verilerden (eğitim seti) faydalanan bir tekniktir [32, 33].

DVM'yi üzerinde çalışılan verilerin lineer veya lineer olmama durumuna göre iki farklı türe ayırmamız mümkündür [34-37]:

- **Lineer DVM:** Lineer bir şekilde ayrılabilen (sınıflandırılabilen) verilere uygulanan temel DVM türüdür. Burada,  $(x_1, \dots, x_n)$  hedef veri seti,  $v$  normal vektör ve  $ed$  eşik değeri olmak üzere veriler Eşitlik 1'deki hiper-düzlem ile ayrılmaktadır.

$$h(x) = v^T x + ed = 0 \quad (1)$$



Hiper-düzlem'den yola çıkılacak olursa,  $s_i \in (-1, +1)$  olmak üzere, dikkate alınan bir veri  $v^T x_i + ed \geq +1$  ise Sınıf 1,  $v^T x_i + ed \leq -1$  ise Sınıf 2'ye ait olmaktadır [35, 36].

- **Non-linear DVM:** Hedef veriler, lineer olarak birbirinden ayrılmaz ise non-linear DVM kullanılmaktadır. Bu durumda, eğitim verileri birbirlerinden ayrılabilir daha yüksek uzayda haritalandırılmaktadır [37]. Söz konusu haritalandırma aşamasında kernel fonksiyon adı verilen çeşitli özel fonksiyonlar işe koşulmakta ve  $n$  boyuttaki veri kümesi daha yüksek boyuta taşınarak, ilgili boyutta lineer sınıflandırma yoluna gidilmektedir. Literatüre bakıldığında, DVM'nin uygulandığı problemdeki başarımını doğrudan etkileyen farklı kernel fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlardan sık kullanılan üç tanesi şu şekildedir [34]:

$$\text{Lineer fonksiyon: } K(x_i, x_j) = x_i^T x_j \quad (2)$$

$$\text{Gaussian-RBF fonksiyon: } K(x_i, x_j) = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

$$\text{Polinomal: } K(x_i, x_j) = (1 + x_i^T x_j)^p \quad (4)$$

Eşitliklerden de anlaşılacağı üzere, söz konusu kernel fonksiyonlarda değeri önem arz eden çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin alacakları değerler, DVM'nin uygulandığı problemi en iyi şekilde çözebilmesi adına oldukça önemlidir.

### 2.3. Zeki Optimizasyon ve Çalışmaya Konu Algoritmalar (Intelligent Optimization and the Algorithms Related to the Study)

Yapay Zekâ'nın geleneksel çözüm yaklaşımlarına olan üstünlüğü, bu bilim alanı kapsamındaki problem türlerinin kısa sürede artmasına sebep olmuştur. Çalışmanın Giriş bölümü altında da ifade edildiği üzere; birçok farklı problem türü Yapay Zekâ'nın kapsamı içerisinde. Optimizasyon süreçleri de bu problem türleri içerisinde yer alan ve zamanla Yapay Zekâ altında alt ilgi alanlarının oluşmasına sebep olan bir problem türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genel olarak bakıldığında zeki optimizasyon, belirli kısıtlar dahilinde, parçacık temelli olarak oluşturulmuş ve iteratif bir biçimde çalışabilen Yapay Zekâ algoritmaları ile yerine getirilmektedir [38, 39]. Mevcut gelişmeler de dikkate alındığında, zeki optimizasyon algoritmalarının (tekniklerinin), doğadan sıklıkla esinlendiğini ve doğadaki canlıların veya dinamiklerin temelinde tasarlandığını görebiliriz [38-40]. Özellikle Sürü Zekâsı (Swarm Intelligence) adı verilen alt ilgi alanı, bu bağlamda sürü içerisindeki etkileşim ve hareketlere odaklanarak optimizasyon süreçlerini içeren algoritmaları kapsamı içerisine almaktadır [41, 42]. Tipik bir zeki optimizasyon algoritması, matematiksel modellemesi yapılmış hedef optimizasyon problemi için  $N$  sayıda parçacığın aynı anda işe koşulduğu ve optimum sonuç için arama – hesaplama gibi süreçleri

gerçekleştirdiği bir yapı üzerine kurulmaktadır. Burada önemli olan diğer bir husus da, zeki optimizasyon algoritmalarının, Makine Öğrenmesi tekniklerinden farklı olarak; eğitim süreçlerinden geçmeyen, doğrudan optimizasyon odaklı çözüm yapılarına karşılık gelmesidir.

Literatürde her ne kadar çok sayıda algoritma olsa da, bu çalışmada Sürü Zekâsı kapsamına giren, beş farklı algoritmanın diyabet teşhisi uygulamalarına katılması sağlanmıştır. Bu noktada, algoritmaların ikisi temel nitelikte, üçü ise güncel durumdaki algoritmalar. Söz konusu algoritmalara ilişkin temel açıklamalar, ilerleyen alt-bölümler altında yapılmıştır.

#### 2.3.1. Parçacık sürü optimizasyonu (Particle swarm optimization)

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), zeki optimizasyon amaçlı algoritmaların en temellerinden birisidir. Bu bağlamda, diyabet teşhisi problemi kapsamında çalışmaya dâhil edilen ilk temel algoritma olmuştur. PSO genel anlamda doğadaki kuş ve balık gibi hayvanların sürüler içerisindeki yiyecek arama hareketlerinden yola çıkarak geliştirilmiş bir algoritmadır [43, 44]. Algoritmada, çözüm uzayına dağılmış  $N$  parçacığın optimumu bulma çabasına yönelik iteratif adımlar yerine getirilmekte ve bu noktada her parçacığın bulunduğu konum (position) ve hız (velocity) gibi parametreler genel hareketlerin belirleyicisi olmaktadır. Hareketler neticesinde elde edilen parçacık konumları karşılık geldikleri değişkenler kapsamında problemin amaç fonksiyonu değer(ler)ini hesaplamakta kullanılmaktadır. Parçacıkların konum değişiklikleri sırasında her parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi kişisel konum (optimum değeri sağlayan) ve çözüm sürecinde o ana kadar elde edilmiş olan küresel konum değeri (küresel optimum değeri sağlayan konum) dikkate alınmakta ve parçacıklar bu değerler etkisinde küresel optimumu sağlayan parçacığı da takip ederek çözüme ulaşmaya çalışmaktadır [44, 45]. PSO'nun algoritmik adımlarına dair detaylar, [45] üzerinde ifade edilmektedir. Kaba-kod olarak ise Çizelge 2'de verilmiştir [38].

#### 2.3.2. Genetik algoritma (Genetic algorithm)

Evrim Teorisi'nden esinlenerek işe koşulan çaprazlama, mutasyon ve nihayetinde doğal seleksiyon gibi çeşitli mekanizmaları temel alarak geliştirilmiş olan Genetik Algoritma (GA), bu çalışmaya dâhil edilen ikinci temel algoritma olmuştur. Genel hatlarıyla GA, çeşitli kodlama yaklaşımlarıyla (her bir kod gen anlamı gelmektedir) oluşturulan  $N$  adet parçacıktan oluşmaktadır (Her bir parçacık, genlerden oluşan, kromozom yapısı altında temsil edilen bireylerdir) [46, 47]. İteratif algoritmik adımlar, hesaplanan amaç fonksiyonu değerine göre seçilen, nispeten iyi durumdaki parçacıkların karşılıklı çaprazlanması (karşılık parçacık kodlarının-genlerinin takası) ve hatta elde edilen yeni parçacıkların bazılarında mutasyon (bazı kodların-genlerin değiştirilmesi) uygulanması suretiyle yenilenen popülasyon ile optimizasyon sürecinin gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. GA'ya ilişkin adımların detayları [48]'de

açıklanmaktadır. Kaba-kod ise Çizelge 3'deki gibidir [38].

**Çizelge 2.** Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması kaba-kodu (Pseudo-code of the Particle Swarm Optimization algorithm) [38].

- **1. Adım (Kurulum):**  $N$  parçacığı çözüm uzayına rastgele dağıt ve her parçacık için başlangıç  $Hız$  ( $v$ : *velocity*) değerini ata. Her parçacığın başlangıç konumunu aynı zamanda kişisel en iyi konumu yap. Algoritma parametreleri değerlerini ata. Çözülecek probleme yönelik düzenlemeleri yap.
- **2. Adım:** İteratif adımlar (her parçacık ve her amaç fonksiyon boyutu için):
- **2.1. Adım:** Parçacığın konumuna göre amaç fonksiyon değeri hesapla.
- **2.2. Adım:** Parçacığın konumu o ana kadarki kişisel en iyi konumundan daha iyi ise, güncelle. Konum aynı zamanda küresel en iyi konumdan daha iyi ise, küresel en iyi konumu da güncelle.
- **2.3. Adım:** Parçacığın hızını güncelle.
- **2.4. Adım:** Güncel hız ile parçacığın konumunu güncelle.
- **3. Adım:** İteratif süreç sonunda optimum çözüm, küresel en iyi konum ve değer(ler)dir.

**Çizelge 3.** Genetik Algoritma kaba-kodu (Pseudo-code of the Genetic Algorithm) [38].

- **1. Adım (Kurulum):**  $N$  bireyli (parçacık) popülasyonu hedef problem ve seçilen kodlama düzenine göre oluştur. Başlangıç algoritma parametre değerlerini ve seçim, çaprazlama, mutasyon gibi işlemlerde uygulanacak yöntemleri belirle.
- **2. Adım:** İteratif adımlar (her parçacık ve her amaç fonksiyon boyutu için):
- **2.1. Adım:** Birey (parçacık) ile amaç fonksiyon değeri hesapla.
- **2.2. Adım:** Amaç fonksiyon değerleri bağlamında üreme sürecine girecek bireyleri seç.
- **2.3. Adım:** Seçilen bireylere çaprazlama işlemini uygula.
- **2.4. Adım:** Bazı bireylere mutasyon işlemini uygula.
- **3. Adım:** İteratif süreç sonunda optimum çözüm, küresel en iyi konum ve değer(ler)dir.

### 2.3.3. Guguk kuşu araması (Cuckoo search)

Guguk Kuşu Araması (GKA), doğadaki guguk kuşlarının yuva ve yumurtalarını sahiplenme ve başka yuvaları parazitsel olarak kullanma gibi davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir zeki optimizasyon algoritmasıdır [49]. GKA'da çözüm uzayına dağıtılmış olan  $N$  adet parçacık, Levy Uçuşları [50] adı verilen hareketler gerçekleştirerek, potansiyel çözümleri temsil

eden konumlara (yuvalara) konumlanmakta, bu noktada problem amaç fonksiyonu üzerinden iyi değerler üreten yumurtalar – yuvalar gelecek nesillere aktarabilmekte, parazitsel davranışlar neticesinde yuvalarını başka parçacıklara (guguk kuşlarına) kaptıran parçacıklar yine yeni yuva arayışlarına girerek iteratif çözüm arama ve optimizasyon sürecini devam ettirmektedir [49, 51]. GKA'nın genel algoritmik adımlarına ilişkin bilgiler, [51] üzerinde detaylı bir şekilde verilmiştir. Algoritmanın kaba-kodu Çizelge 4'te verilmiştir [38].

**Çizelge 4.** Guguk Kuşu Araması algoritması kaba-kodu (Pseudo-code of the Cuckoo Search Algorithm) [38].

- **1. Adım (Kurulum):**  $N$  yuvayı (amaç değişken değerlerini) hedef probleme göre, çözüm uzayında rastgele oluştur. Fraksiyon parametresi değerini belirle ve her yuvaya karşılık birer guguk kuşu olduğunu kabul et.
- **2. Adım:** İteratif adımlar (her parçacık ve her amaç fonksiyon boyutu için):
- **2.1. Adım (Levy Uçuşları):** Her guguk kuşu (parçacık) için Levy Uçuş'u gerçekleştir ve ulaştığı konuma göre amaç fonksiyon değeri hesapla.
- **2.2. Adım (Yuva Tespit ve Değerlendirme):** İlgili guguk kuşu için rastgele yuva seç ve karşılıklı amaç fonksiyon değerlerini karşılaştır. Eğer guguk kuşunun daha optimum bir amaç fonksiyon değeri söz konusu ise, guguk kuşu ile yuva değerlerini takas yap.
- **2.3. Adım (Seçim):** Fraksiyon değerine göre kötü düzeydeki yuvaları ele ve rastgele yeni yuvalar oluştur. İyi yuvaları gelecek nesillere aktar.
- **3. Adım:** İteratif süreç sonunda optimum çözüm, küresel en iyi konum ve değer(ler)dir.

### 2.3.4. Bakteriyel yiyecek arama optimizasyonu (Bacterial foraging optimization)

Bakteriyel Yiyecek Arama Optimizasyonu (BYAO), Koli Basili adı verilen bakterinin hareketlerinden ve yaşam süreçlerinden esinlenilerek ortaya konulmuş bir zeki optimizasyon algoritmasıdır [52, 53]. BYAO'nun algoritmik adımları,  $N$  adet, bakterileri temsil eden parçacıkların, çözüm uzayı ortamında gerçekleştirdikleri; kemotaksis, yüzme, yuvarlanma, üreme ve gelecek iteratif süreçlere ulaşmaya çalışma çabalarını temel alan bir yapı ortaya koymaktadır. Algoritmada tıpkı GA'da olduğu gibi bir tür seleksiyon (iyi olanların devamı, kötü olanların elenmesi) mekanizması işletilmiş olmaktadır [53, 54]. Parçacıkların bütün hareket ve yaşam süreçleri, ilgili problemin amaç fonksiyonu üzerinden hesaplanan değer(ler)in uygunluğuna göre devam etmektedir. BYAO'nun algoritmik adımlarına dair detaylar [54] üzerinde açıklanmaktadır. Kaba-kod ise Çizelge 5'te gösterildiği şekildedir [38].

**Çizelge 5.** Bakteriyel Yiyecek Arama Optimizasyonu algoritması kaba-kodu (Pseudo-code of the Bacterial Foraging Optimization algorithm) [38].

- **1. Adım (Kurulum):**  $N$  bakteriyi (parçacığı) çözüm uzayına rastgele dağıt. Algoritma parametreleri değerlerini belirle. Hedef probleme dair düzenlemeleri gerçekleştir.
- **2. Adım:** Bakterilerin konumlarına göre amaç fonksiyon değerini hesapla.
- **3. Adım:** Aşağıdaki adımları,  $N_e$  algoritma parametresi kadar, her boyut için tekrarla:
- **3.1. Adım (Kemotaksis):** Aşağıdaki adımları  $N_k$  algoritma parametresi kadar, her bakteri için gerçekleştir:
- **3.1.1. Adım:** Bakterinin konumuna göre amaç fonksiyon değerini hesapla.
- **3.1.2. Adım:** Bakterinin amaç fonksiyon değerini hücreler arası çekici etkisi ile güncelle. Yüzme sürecine kadar bu değeri sakla.
- **3.1.3. Adım (Yuvarlanma):**  $[-1, 1]$  aralığında amaç fonksiyon boyutu kadar rastgele sayı üret. İlgili bakteri için yuvarlanma işlemini gerçekleştir.
- **3.1.4. Adım:** Bakterinin konumuna göre amaç fonksiyon değerini hesapla ve yine ilgili bakterinin amaç fonksiyon değerini hücreler arası çekici etkisi ile güncelle.
- **3.1.5. Adım (Yüzme):** Aşağıdaki adımları  $N_{yüz}$  algoritma parametresi kadar, ilgili bakteri için gerçekleştir:
- **3.1.5.1. Adım:** Bakterinin son amaç fonksiyon değeri, Yüzme sürecinden önce saklandıktan daha iyi ise güncelle.
- **3.1.5.2. Adım:** Hesaplanan yer değiştirme değerine göre bakterinin saklanan amaç fonksiyon değerini güncelle.
- **3.2. Adım (Üreme):** Her bakterinin sağlık durumunu hesapla ve hepsini, bu değere göre büyükten küçüğe sırala.
- **3.3. Adım:** İlgili kritere göre en kötü bakterileri ele. En iyi durumdakilerin ise üremesini sağla (Yeni bakteriler ebeveynlerin yerlerine geçer).
- **3.4. Adım:**  $N_{i}$  algoritma parametre değerine ulaşmadıysa, bu değeri bir artır ve 3.1. Adım'a dön (Yeni nesil bakteriler ile devam).
- **3.5. Adım (Eliminasyon – Dağılım).**  $O_{ed}$  algoritma değerine göre her bakteriyi rastgele yeni bir konuma geçir.
- **Adım 4.** İteratif süreç sonunda optimum çözüm, küresel en iyi konum ve değer(ler)dir.

### 2.3.5. Çiçek tozlaşma optimizasyonu (Flower pollination optimization)

Adından da anlaşılacağı üzere; doğadaki tozlaşma süreçlerinden esinlenerek geliştirilmiş olan Çiçek Tozlaşma Optimizasyonu (ÇTO),  $N$  adet parçacığın, birer çiçeği temsilen çözüm uzayına konumlandığı ve tozlaşma süreçlerine dair çeşitli mekanizmaların işletilerek, amaç fonksiyon değer(ler)i üzerinden optimizasyon süreçlerinin yerine getirildiği bir zeki optimizasyon algoritması olarak literatürde yer almaktadır [55]. ÇTO'nun algoritmik adımları, küresel

tozlaşma adı verilen ve Levy Uçuşları yaklaşımına dayanan çapraz konumlandırmalar ile yerel tozlaşma olarak ifade edilen, kendi kendine konumlandırmalara ve çiçek istikrarı kriteri üzerinden çiçek benzerliklerinin değerlendirilmesi – yeniden üretim gibi süreçleri içermektedir. Bütün bu süreçler her algoritmada olduğu gibi iteratif bir şekilde gerçekleştirilmektedir [55, 56]. ÇTO'nun algoritma adımlarına ilişkin detaylar [56]'da ifade edilmektedir. Kaba-kod ise Çizelge 6'da gösterilmiştir [38].

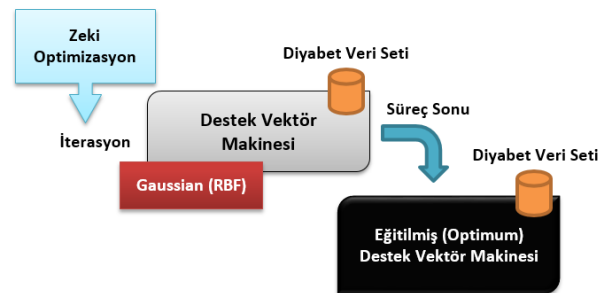
**Çizelge 6.** Çiçek Tozlaşma Optimizasyonu algoritması kaba-kodu (Pseudo-code of the Flower Pollination Optimization algorithm) [38].

- **1. Adım (Kurulum).**  $N$  çiçeği (parçacığı) çözüm uzayına rastgele dağıt. Algoritma parametre değerlerini ata ve hedef probleme dair düzenlemeleri gerçekleştir.
- **2. Adım:** Çiçeklerin konumlarına göre amaç fonksiyon değeri hesapla ve en iyi olanı belirle.
- **3. Adım:** İteratif adımlar (her parçacık ve her amaç fonksiyon boyutu için):
- **3.1. Adım (Küresel – Yerel Tozlaşma).** Rastgele bir değer üret. Eğer üretilen değer  $g_0$  algoritma parametresinden düşük ise Levy Uçuşları üzerinden küresel tozlaşma gerçekleştir. Aksi halde,  $[0, 1]$  aralığında uniform dağılım ve yerel tozlaşma yap.
- **3.2. Adım:** Çiçeklerin güncel konumlarına göre amaç fonksiyon değerini hesapla. En iyi amaç fonksiyon değerinden daha iyisi bulunmuşsa küresel en iyi değerleri güncelle.
- **4. Adım:** İteratif süreç sonunda optimum çözüm, küresel en iyi konum ve değer(ler)dir.

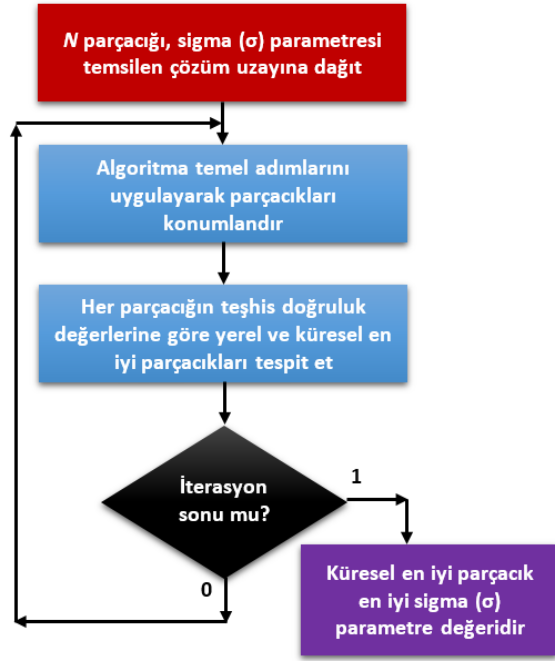
İlgili zeki optimizasyon algoritmaları, bir sonraki alt-bölüm altında açıklanan hibrit sistem yaklaşımı üzerinden DVM'yi eğitmek (optimize etmek) adına kullanılmıştır. Bu bağlamda dikkate alınan çözüm süreci, ilerleyen paragraflar altında açıklanmıştır.

### 2.4. Diyabet Teşhisi İçin Zeki Optimizasyon Tabanlı DVM Sistemi (Intelligent Optimization Based SVM System for Diabetes Diagnosis)

Çalışma kapsamında oluşturulan zeki optimizasyon-DVM hibrit sistem yaklaşımı, genel hatlarıyla parametre optimizasyonunun parçacık temelli algoritmalarla gerçekleştirilmesi sürecine dayanmaktadır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Diyabet teşhisi için zeki optimizasyon tabanlı DVM sistemi (Intelligent optimization based SVM system for diabetes diagnosis).



Şekil 2. Geliştirilen sistemde eğitim – optimizasyon süreci (Training – optimization process in the developed system).

Şekil 1’de gösterilen sistemde, hedef diyabet veri seti kapsamında alternatif optimize DVM’lerin başarımlarını ölçmek için aşağıdaki adımlar (Şekil 2), aynı parçacık sayısı ve eğitim (optimizasyon) iterasyon sayısına tabi, seçili zeki optimizasyon algoritmalarına uygulanmıştır:

- Seçilen zeki optimizasyon algoritmasının  $N$  parçacığı, DVM’deki Gaussian-RBF kernel fonksiyonunda işe koşulacak sigma ( $\sigma$ ) parametresinin değerini taşıma görevindedir. İlgili parçacıklar bu amaçla çözüm uzayına konumlandırılmaktadır.
- Anlaşılabileceği üzere, algoritmanın kendi spesifik adımları doğrultusunda yönlendirdiği parçacıkların konum değerleri değiştikçe, DVM kernel fonksiyondaki sigma ( $\sigma$ ) parametresi olarak kullanılarak teşhis başarımları ölçülebilecektir.
- Algoritma belirli bir iterasyon sayısına göre, eğitim verisi üzerinde çalıştırılmakta ve her iterasyonda, parçacıkların sigma ( $\sigma$ ) parametresi değerleri DVM’de kullanılmaktadır. Burada, Eşitlik 5 aracılığıyla hesaplanan teşhis doğruluk değerlerine göre en iyi parçacıklar [yani sigma ( $\sigma$ ) parametre değerleri] tespit edilmektedir.

$$\frac{dnt + dpt}{ynt + ypt + dnt + dpt} * 100 \quad (5)$$

Eşitlik 5’te,  $dnt$  doğru teşhis edilen negatif (diyabet olmayan) kişi sayısı,  $dpt$  doğru teşhis edilen pozitif (diyabet) kişi sayısı,  $ynt$  yanlış teşhis edilen negatif (diyabet olmayan) kişi sayısı ve  $ypt$  yanlış teşhis edilen pozitif (diyabet) kişi sayısıdır.

- Algoritmanın iteratif adımları sonunda, elde edilen optimum (küresel en iyi) parçacık değeri, DVM’nin Gaussian-RBF kernel fonksiyonundaki sigma ( $\sigma$ ) parametresi için, diyabet teşhisinde en yüksek başarımları sağlayan değerdir. Bütün bu süreç, DVM’nin bir tür eğitimi (optimizasyonu) anlamına gelmektedir.

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

Bir önceki bölüm altında anlatılan hibrit sistem düzeneği, çalışmaya dahil edilen beş farklı zeki optimizasyon algoritması üzerinden, hedef diyabet veri seti dikkate alınarak çalıştırılmıştır. Bu noktada, aşağıdaki kıstaslar da uygulamalarda dikkate alınmıştır:

- Her algoritmada parçacık sayısı  $N$  sırasıyla 50, 75 ve 100 olmak üzere, 5000 iterasyonda eğitim (optimizasyon) sürecinden geçirilerek, üç farklı parçacık sayısının süreci nasıl etkilediğine ilişkin bulguların elde edilmesi sağlanmıştır.
- Daha önce de belirttiği üzere; toplamda 768 örnekten oluşan diyabet veri setinin yarısı (384 örnek) eğitim için (eğitim veri seti) kullanılmıştır.
- Her zeki optimizasyon algoritmasının ilgili parametrelerine, literatürdeki kaynaklarda [44, 47, 49, 54, 56] geçen ve genel kabul gören, varsayılan değerler verilmiştir.
- İşe koşulan zeki optimizasyon-DVM sistemlerinin tutarlılığını yeter düzeyde ölçmek adına, her farklı parçacık düzeni için sistemler 30’ar kez çalıştırılmış ve elde edilen optimum sigma ( $\sigma$ ) parametrelerinin ortalaması dikkate alınarak, eğitim için ayrılan 384 örnek haricindeki, geriye kalan 384 örnek (test veri seti) kullanılarak, diyabet teşhis süreci değerlendirilmesine geçilmiştir.

Her hibrit sistem için farklı parçacık sayılarıyla ulaşılan ortalama sigma ( $\sigma$ ) parametresi ve başarımları Çizelge 7’de verilmiştir (En iyi bulgular koyu olarak gösterilmiştir).

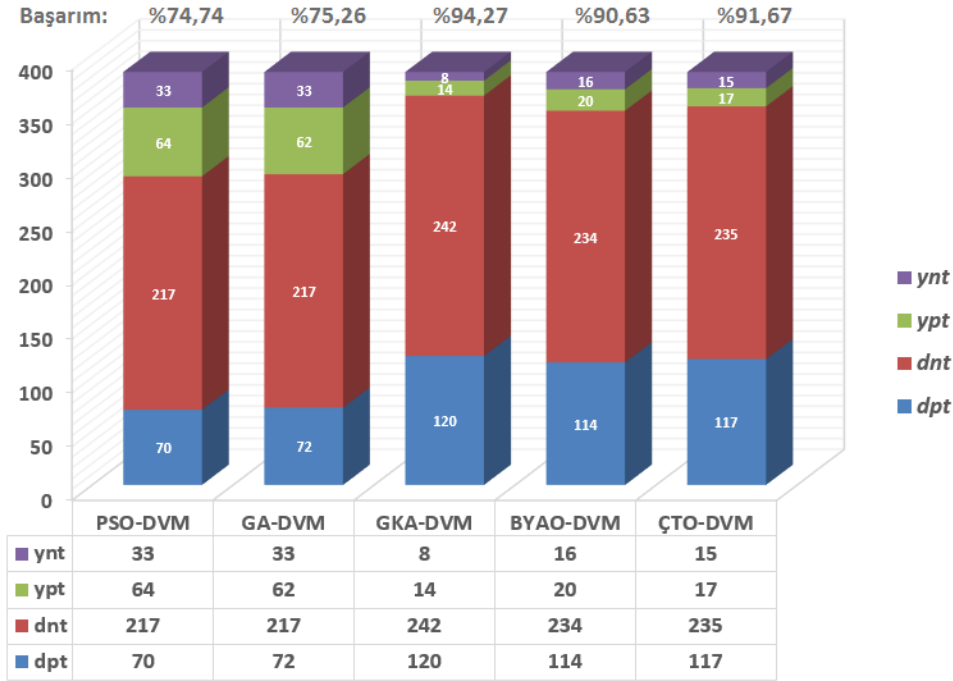
Çizelge 7. Farklı hibrit sistemler ve parçacık düzenleri ile elde edilen sigma ( $\sigma$ ) parametresi ortalamaları (Obtained average value of sigma ( $\sigma$ ) parameter on different hybrid systems and particle set-ups).

Sistem	Parçacık Sayısı*	Ortalama sigma ( $\sigma$ )*	Başarımları*
PSO-DVM	50	0,6584	%72,12
	75	0,6550	%73,15
	<b>100</b>	<b>0,6482</b>	<b>%74,61</b>
GA-DVM	50	0,6604	%71,60
	75	0,6590	%72,14
	<b>100</b>	<b>0,6472</b>	<b>%75,22</b>

GKA-DVM	50	0,5599	%87,74
	75	0,5017	%93,49
	<b>100</b>	<b>0,4889</b>	<b>%94,42</b>
BYAO-DVM	50	0,6008	%81,77
	75	0,5402	%89,31
	<b>100</b>	<b>0,5321</b>	<b>%90,59</b>
ÇTO-DVM	50	0,5798	%85,39
	75	0,5330	%89,81
	<b>100</b>	<b>0,5204</b>	<b>%91,77</b>

\* Her sistem için en iyi bulgular koyu olarak gösterilmiştir

Söz konusu ortalama sigma ( $\sigma$ ) parametresi değerleri kullanılarak, hedef diyabet veri setinin test veri seti kısmı üzerinden (384 örnek), her bir sistemin elde ettiği (Bkz. Eşitlik 5) doğru teşhis edilen negatif (*dnt*: diyabet olmayan) kişi sayısı, doğru teşhis edilen pozitif (*dpt*: diyabet) kişi sayısı, yanlış teşhis edilen negatif (*ynt*: diyabet olmayan) kişi sayısı ve yanlış teşhis edilen pozitif (*ypt*: diyabet) kişi sayısı bağlamında başarımlar grafikleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı hibrit sistemlerin diyabet teşhisindeki başarımları (Success of different hybrid systems on diabetes diagnosis).

Şekil 3'ten hareketle, her bir hibrit sistemin diyabet teşhis başarımlarına ilişkin şu yorumları yapmak mümkündür:

- PSO-DVM sisteminde doğru tespit edilen birey verileri negatif tespit için 217, pozitif tespit için 70 olmuştur. Böylece, toplamda doğru tespit sayısı 287 olup, geriye kalan 97 birey verisinin (*ynt*: 33 ve *ypt*: 64) diyabet yönünden tespiti yanlış yapılmıştır. Genel anlamda sistem, negatif diyabetleri kendi içinde oransal anlamda daha doğru tespit etmiştir. Sistemin tespit durumu sayısal olarak GA-DVM ile oldukça yakındır. Sonuç itibarıyla ise PSO-DVM sisteminin genel başarımlar oranı %74,74 bulunmuştur.
- GA-DVM sistemi, 217 adet doğru negatif tespit ve 72 adet doğru pozitif tespit ile toplamda 289 doğru diyabet tespitinde bulunmuştur. Yanlış yapılan tespit sayısı ise toplamda 95 (*ynt*: 33 ve *ypt*: 62) şeklindedir. Sistemin kendi içlerinde oransal anlamda negatif diyabetleri daha doğru tespit ettiği görülmekle birlikte, sayısal anlamdaki değer, PSO-DVM ile aynıdır. Sadece, pozitif birey tespiti PSO-DVM sistemine göre 2 birey verisi daha fazladır (72). Genel başarımlar oranı ise %75,26'dır.
- GKA-DVM sistemindeki doğru tespit edilen birey verisi sayısı toplamda 362 olarak elde edilmiştir (*dnt*: 242 ve *dpt*: 120). Geriye kalan 22 adet birey verisi ise yanlış tespit edilmiştir (*ynt*: 33 ve *ypt*: 62). Oransal anlamda bu sistemde de negatif diyabetleri tespit etme oranı yüksek olsa da, pozitif tespit oranında da, özellikle PSO-DVM ve GA-DVM'ye göre çok daha fazla artış görülmektedir. GKA-DVM sisteminin genel başarımlar oranı %94,27'dir.
- BYAO-DVM sisteminde birey verileri için doğru tespit sayısı negatif olanlar için (*dnt*) 234, pozitif olanlar için (*dpt*) 114 olarak elde edilmiştir. Geriye kalan 36 birey verisinin (*ynt*: 16 ve *ypt*: 20) diyabet yönünden tespiti ise yanlış yapılmıştır. Oransal anlamda sistemin kendi içlerinde negatif diyabet tespit oranı diyabet pozitif tespitinden yaklaşık %8 daha iyidir. Sistemin genel başarımlar oranı %90,63'tür.

- ÇTO-DVM sistemi için elde edilen doğru tespit sayısı toplamda 352 bulunmuştur (*dnt*: 235 ve *dpt*: 117). Yanlış yapılan diyabet teşhisi ise birey verisi kapsamında 32'dir (*ynt*: 15 ve *ypt*: 17). Oransal anlamda bakıldığında ise sistemin kendi içlerinde negatif diyabet tespit oranı diyabet pozitif tespitinden yaklaşık %7 daha iyi durumdadır. Genel başarı oranı bu sistemde %91,67'dir.
- Genel çerçevede bakıldığında, PSO-DVM ile GA-DVM sistemlerinin birbirine yakın olduğu performanslara karşı, GKA-DVM, ÇTO-DVM ve BYAO-DVM'nin %90'ın üstünde birbirine yakın, uzak ara sayılabilecek noktalarda bir başka grup halinde temsil edebileceğimiz bir performans durumu göze çarpmaktadır.

Açıklamaları ve bulguları bir bütün halinde incelediğimizde, tespit edilen ortalama sigma ( $\sigma$ ) parametresi değerleri üzerinden, hedef diyabet veri seti üzerinde en yüksek oranda tespit başarımını GKA-DVM hibrit sistemi göstermiş, bu sistemi sırasıyla ÇTO-DVM, BYAO-DVM, GA-DVM ve PSO-DVM sırası izlemiştir. Dolayısıyla seçilen zeki optimizasyon algoritmalarının her birinin diyabet veri seti bağlamında DVM eğitimi (optimizasyonu) etkinliğinin de bu sırada olduğu bulgusuna ulaşabiliriz. Genel hatlarıyla bakıldığında ise, her sistemin, kabul edilebilir düzeylerde diyabet teşhisi performansına sahip olduğunu ifade etmek de yanlış bir tespit olmayacaktır.

## 6. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION and DISCUSSION)

Medikal teşhis, Yapay Zekâ'nın yoğun bir şekilde uygulandığı problem kapsamlarından birisidir. Bu doğrultuda kurulan zeki sistemler, özellikle sağlık alanındaki karar destek süreçleri için kritik önem arz etmektedir. Bu çalışmada, söz konusu problem kapsamında diyabet teşhisine odaklanılmış ve bu amaçla, zeki optimizasyon tabanlı Destek Vektör Makineleri (DVM) yaklaşımına dayalı bir süreç izlenmiştir. Non-lineer yapıdaki, Gaussian-RBF kernel fonksiyonu kullanan ve zeki optimizasyon algoritmalarıyla eğitilen (optimize edilen) DVM sistemleri Pima Yerlileri veri seti üzerinde uygulanmış ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Bu noktada, zeki optimizasyon algoritmalarının rolü, Gaussian-RBF kernel fonksiyonunun sigma ( $\sigma$ ) parametresini optimize etmek olmuştur.

Çalışmada zeki optimizasyon kapsamında seçilen iki temel ve üç güncel algoritmanın [Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Genetik Algoritma (GA), Guguk Kuşu Araması (GKA), Bakteriyel Yiyecek Arama Optimizasyonu (BYAO) ve Çiçek Tozlaşma Optimizasyonu (ÇTO)] diyabet teşhisi doğrultusunda performansları dikkate alındığında; genel olarak bütün algoritmaların diyabet teşhisinde istedik düzeylerde başarı gösterdiği, spesifik olarak bakıldığında ise, GKA ile desteklenmiş DVM'nin (hibrit sistemin) diğer

algoritmalarla kurulmuş hibrit sistemlere göre daha iyi başarı gösterdiği görülmüştür (Bu algoritmayı sırasıyla ÇTO, BYAO, GA ve PSO takip etmiştir). İşe koşulan DVM, ortaya koyduğu başarılı sonuçlar nedeniyle, farklı gerçek dünya problemleri için sıklıkla kullanılagelen bir teknik konumdadır. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar, gerek DVM'nin, gerekse bu teknik ile kurulabilecek hibrit sistemlerin teşhis ve hatta medikal teşhis yönelimli problemlere dair potansiyelini kanıtlamıştır. Yine ulaşılan sonuçlar, Yapay Zekâ'nın potansiyelini de ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, farklı gelecek çalışmaların düşünülmesine de yol açmıştır. Buna göre, aynı problem – sistem düzeninde farklı zeki optimizasyon algoritmalarının performansları da değerlendirilecek, DVM'nin farklı kernel fonksiyonlarla uygulamaları ve yine kernel fonksiyonlardaki farklı parametrelerin optimizasyonuna yönelik alternatif çalışmalar yerine getirilecektir. Yine ilgili zeki optimizasyon tabanlı DVM yaklaşımının farklı gerçek dünya problemlerine yönelik uygulamalar da gelecek çalışmalar kapsamındadır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Russell, S.J., Norvig, P., Canny, J.F., Malik, J.M. and Edwards, D.D., "Artificial Intelligence: A Modern Approach", 2(9): Upper Saddle River: Prentice Hall, (2003).
- [2] Nabiyeve, V.V., "Yapay Zeka: Problemler-Yöntemler-Algoritmalar", Seçkin Yayıncılık, (2012).
- [3] Goertzel, B., "Artificial general intelligence: concept, state of the art, and future prospects", *Journal of Artificial General Intelligence*, 5(1): 1-48, (2014).
- [4] Allahverdi, N., "Uzman Sistemler: Bir Yapay Zeka Uygulaması", Atlas Yayın Dağıtım, (2002).
- [5] Alpaydın, E., "Yapay Öğrenme", İstanbul, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, (2011).
- [6] Aydın, A.O., "Yapay Zekâ: Bütünleşik Bilişe Doğru", İstanbul, İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları, (2013).
- [7] Hamet, P. and Tremblay, J., "Artificial intelligence in medicine", *Metabolism*, 69: 36-40, (2017).
- [8] Jaeger, H., "Artificial intelligence: Deep neural reasoning", *Nature*, 538(7626): 467-468, (2016).
- [9] Strong, A., "Applications of artificial intelligence and associated technologies", *Science (ETEBMS-2016)*, 5(6), (2016).
- [10] Szolovits, P., Patil, R.S. and Schwartz, W.B., "Artificial intelligence in medical diagnosis", *Annals of Internal Medicine*, 108(1): 80-87, (1988).
- [11] Kononenko, I., "Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective", *Artificial Intelligence in Medicine*, 23(1): 89-109, (2001).
- [12] Abbas, H.A., "An evolutionary artificial neural networks approach for breast cancer diagnosis", *Artificial Intelligence in Medicine*, 25(3): 265-281, (2002).
- [13] Al-Shayea, Q.K., "Artificial neural networks in medical diagnosis", *International Journal of Computer Science Issues*, 8(2): 150-154, (2011).
- [14] Dhar, J. and Ranganathan, A., "Machine learning capabilities in medical diagnosis applications:

- Computational results for hepatitis disease”, *International Journal of Biomedical Eng and Tech*, 17(4): 330-340, (2015).
- [15] Botero-Rosas, D., Leon-A.J., Reina, J.M., Obando, A. and Bastidas, A.R., “Use of artificial intelligence in the diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease (COPD)”, *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 191, (2015).
- [16] Thong, N.T., “HIFCF: An effective hybrid model between picture fuzzy clustering and intuitionistic fuzzy recommender systems for medical diagnosis”, *Expert Systems with Applications*, 42(7): 3682-3701, (2015).
- [17] Faris, H., Hassonah, M.A., Ala’M, A.Z., Mirjalili, S. and Aljarah, I., “A multi-verse optimizer approach for feature selection and optimizing SVM parameters based on a robust system architecture”, *Neural Computing and Applications*, 1-15, (2017).
- [18] Das, S.P. and Padhy, S., “A novel hybrid model using teaching-learning-based optimization and a support vector machine for commodity futures index forecasting”, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 9(1): 97-111, (2018).
- [19] Pradhan, B., Jebur, M.N. and Abdullahi, S., “Spatial Prediction of Landslides Along Jalan Kota in Bandar Seri Begawan (Brunei) Using Airborne LiDAR Data and Support Vector Machine”. In *Laser Scanning Applications in Landslide Assessment*, 167-178: Springer, Cham, (2017).
- [20] Ling, X., Feng, X., Chen, Z., Xu, Y. and Zheng, H., “Short-term traffic flow prediction with optimized Multi-kernel Support Vector Machine”. In *Evolutionary Computation (CEC), 2017 IEEE Congress on*, 294-300: IEEE, (2017).
- [21] Tharwat, A. and Hassanien, A.E., “Chaotic antlion algorithm for parameter optimization of support vector machine”, *Applied Intelligence*, 48(3): 670-686, (2018).
- [22] Frank, A. and Asuncion, A., “*UCI Machine Learning Repository*”, University of California Irvine, School of Information and Computer Science, <http://archive.ics.uci.edu/ml>, [Erişim: 11.01.2018], (2010).
- [23] Turney, P., “Pima Indians Diabetes Data Set”, UCI M.L. Repository. Originally from: *National Ins. of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases*, <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/pima+indians+diabetes>, [Erişim: 11.01.2018], (1990; updated: 2011).
- [24] Çomak, E., Arslan, A. and Türkoğlu, İ., “A decision support system based on support machines for diagnosis of the heart valve diseases”, *Computers in Biology and Medicine*, 37: 21-27, (2007).
- [25] Vapnik, V., Golowich, S. and Smola, A., “Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 9: 281-287, (1997).
- [26] Akşehirli, Ö.Y., Ankaralı, H., Aydın, D. and Saraçlı, Ö., “Tıbbi tahminde alternatif bir yaklaşım: Destek vektör makineleri”, *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 5(1), (2013).
- [27] Chung, S.S. and Zhang, S., “Volatility estimation using support vector machine: Applications to major foreign exchange rates”, *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 10(2): 499-511, (2017).
- [28] Güner, N. and Çomak, E., “Mühendislik öğrencilerinin matematik I derslerindeki başarısının destek vektör makineleri kullanılarak tahmin edilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2): 87-96, (2011).
- [29] Rastogi, R., Sharma, S. and Chandra, S., “Robust parametric twin support vector machine for pattern classification”, *Neural Processing Letters*, 1-31, (2017).
- [30] Kavzoğlu, T. and Çölkesen, İ., “Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi”, *Harita Dergisi*, 144(7): 73-82, (2010).
- [31] Hasni, H., Alavi, A.H., Jiao, P. and Lajnef, N., “Detection of fatigue cracking in steel bridge girders: a support vector machine approach”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17(3): 609-622, (2017).
- [32] Tamura, H. and Tanno, K., “Midpoint validation method for support vector machines with margin adjustment technique”, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 5: 4025-4032, (2009).
- [33] Çomak, E., “*Destek Vektör Makineleri Çoklu Sınıf Problemleri için Çözüm Önerileri*”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD., (2004).
- [34] Özkaya, A.U., Kaya, M.E. and Gürgen, F. “Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Aritmi Sınıflandırması”. *Biyomedikal Müh. Ulusal Toplantısı*, (2005).
- [35] Karaç, E.I., “*Model Selection for Multi-Class Support Vector Machines*”, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD., (2005).
- [36] Özkan, Y., “*Veri Madenciliği Yöntemleri*”, Papatya Yayıncılık, (2008).
- [37] Özkaya, A.U., “*Intelligent Arrhythmia Classification Based on Support Vector Machines*”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, (2003).
- [38] Köse, U., “*Yapay Zekâ Tabanlı Optimizasyon Algoritmaları Geliştirilmesi*”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD., (2017).
- [39] Karaboğa, D., “*Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*”, Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık, (2014).
- [40] Yang, X.-S., “*Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*”, Luniver Press, (2010).
- [41] Yang, X.-S., Cui, Z., Xiao, R., Gandomi, A.H. and Karamanoglu, M., “*Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications*”, Newnes, (2013).
- [42] Hassanien, A.E. and Emary, E., “*Swarm Intelligence: Principles, Advances, and Applications*”, CRC Press, (2016).
- [43] Eberhart, R. and Kennedy, J., “A new optimizer using particle swarm theory”, *Micro Machine and Human Science*, 1995. MHS’95., Proceedings of the Sixth International Symposium on, 39-43, (1995).
- [44] Shi, Y. and Eberhart, R., “A modified particle swarm optimizer”, *Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational*

- Intelligence.*, The 1998 IEEE International Conference on, 69-73, (1998).
- [45] Kennedy, J., “Particle Swarm Optimization”, In: *Encyclopedia of Machine Learning*, Eds: Springer, 760-766, (2011).
- [46] Back, T., “Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming”, *Genetic Algorithms*, Oxford University Press, (1996).
- [47] Goldberg, D.E., “*Genetic Algorithms*”, Pearson Education India, (2006).
- [48] Holland, J.H., “Genetic algorithms”, *Scholarpedia*, 7(12): 1482, [http://www.scholarpedia.org/article/Genetic\\_algorithms](http://www.scholarpedia.org/article/Genetic_algorithms), [Erişim: 20.01.2018], (2012).
- [49] Yang, X.-S. and Deb, S., “Cuckoo search via Lévy flights”, *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*, 210-214, (2009).
- [50] Mandelbrot, B.B., “*The Fractal Geometry of Nature*”, New York, W. H. Freeman, (1982).
- [51] Yang, X.-S. and Deb, S., “Engineering optimisation by cuckoo search”, *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 1(4): 330-343, (2010).
- [52] Passino, K.M., “Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control”, *IEEE Control Systems*, 22(3): 52-67, (2002).
- [53] Passino, K.M., “Bacterial foraging optimization”, *Innovations and Developments of Swarm Intelligence Applications*, 219-233, (2012).
- [54] Gazi, V. and Passino, K.M., “Bacteria Foraging Optimization”, In: *Swarm Stability and Optimization*, Eds: Springer, 233-249, (2011).
- [55] Yang, X.-S., “Flower Pollination Algorithm for Global Optimization”, *International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation*, 240-249, (2012).
- [56] Yang, X.-S., Karamanoglu, M. and He, X., “Flower pollination algorithm: A novel approach for multiobjective optimization”, *Engineering Optimization*, 46(9): 1222-1237, (2014).





# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)  
URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen titanyum levhaların çekme-makaslama dayanımlarının taguchi metoduyla optimizasyonu

### *Optimization of tensile strength of titanium plates jointed resistance spot welding with taguchi method*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet Serkan YIDIRIM<sup>1</sup>, Yakup KAYA<sup>2</sup>, Ramazan ÇAKIROĞLU<sup>3</sup>, Behçet GÜLENC<sup>4</sup>, Nizamettin KAHRAMAN<sup>5</sup>, Ahmet DURGUTLU<sup>6</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6133-6905

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-9951-2844

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-3120-1599

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0001-8434-8183

ORCID<sup>5</sup>: 0000-0002-7152-3795

ORCID<sup>6</sup>: 0000-0003-3839-2903

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yıldırım M.S, Kaya Y., Çakıroğlu R., Gülenç B., Kahraman N., Durgutlu N., “Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen titanyum levhaların çekme-makaslama dayanımlarının taguchi metoduyla optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 567-573, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.426645

# Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen Titanyum Levhaların Çekme-Makaslama Dayanımlarının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Serkan YIDIRIM<sup>1\*</sup>, Yakup KAYA<sup>2</sup>, Ramazan ÇAKIROĞLU<sup>1</sup>, Behçet GÜLENC<sup>3</sup>, Nizamettin KAHRAMAN<sup>2</sup>, Ahmet DURGUTLU<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknikbilimler MYO, Makine ve metal teknolojileri Bölümü, Yenimahalle/ANKARA

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Merkez/KARABÜK

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme. Mühendisliği Bölümü, Yenimahalle/ANKARA

(Geliş/Received: 26.02.2018 ; Kabul/Accepted : 27.04.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada; düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve mükemmel korozyon direncinden dolayı havacılık, uzay ve kimya endüstrilerinde oldukça yaygın olarak kullanılan ticari saf titanyum(Grade 2) levhalar, nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde; farklı elektrod kuvveti (3 ve 6 kN), kaynak akımı(3,5 ve 7 kA) ve kaynak süresi (10,20 ve 30 çevrim) kullanılarak, kaynak parametrelerinin çekme-makaslama dayanımında etkisi incelenmiştir. Çekme-makaslama testi sonuçları Taguchi metodunun en büyük-en iyi kontrol karakteristiği ile optimize edilmiştir. Maksimum çekme-makaslama dayanımı için belirlenen optimum test kombinasyonu, A2B3C3 (6kN-7kA-30 çevrim) olarak belirlenmiştir. Çekme-makaslama dayanımı sonuçlarına, kaynak parametrelerinin etkisi varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılarak incelenmiş ve en etkin parametrenin %45.82 ile kaynak akımı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nokta direnç kaynağı, çekme dayanımı, ANOVA, Taguchi metodu.

## Optimization of Tensile Strength of Titanium Plates Jointed Resistance Spot Welding with Taguchi Method

### ABSTRACT

In this study, commercial titanium (Grade 2) plates, which are commonly used in aviation, space and chemistry industries because of its low density, high resistance and perfect corrosion resistance, are jointed by using spot resistance welding. In the process, the effect of welding parameters on tensile strength using different electrode strengths (3 and 6 kN), welding current (3, 5 and 7 kA) and welding time (10, 20 and 30 cycles). The results of tensile strength test were optimized with the characteristic of maximum-best control of Taguchi method. Optimum test combination for maximum tensile strength was designated as A2B3C3 (6 kN-7 kA-30 cycles). Effects of welding parameters on tensile strength results were analyzed with analysis of variant (ANOVA) method and the most effective parameter was determined as welding current with %45.82.

**Keywords:** Spot resistance welding, tensile strength, ANOVA, Taguchi method.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzdeki konstrüksiyonlar iş verimi ve güvenliğini arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda malzeme ve üretim masraflarını azaltmaya yöneliktir.

Konstrüksiyonlardan istenilen bu özelliklerin sağlanmasında malzeme seçimi ve birleştirme yöntemi çok önemlidir [1].

Endüstride kullanılan birleştirme yöntemlerinden en yaygın olanlarından biri de kaynaktır. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte kaynak teknolojisinde de önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişen kaynak

yöntemlerinden bir tanesi de nokta direnç kaynak yöntemidir [2].

Nokta direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın tatbiki ile yapılan bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik oluşu, özel beceri gerekmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde uçak ve otomotiv endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır [3-4].

Nokta direnç kaynağı ile endüstriyel uygulamalarda sıkça birleştirilen malzemelerden biri titanyumdur. Titanyum özgül ağırlığı bakımından alüminyumdan yüksek fakat çeliğin % 60'ı kadardır. Ergime sıcaklığı çelik ve

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: msy0616@gmail.com

alüminyumdan daha yüksektir. Endüstriyel uygulamalarda dayanım ağırlık oranı önemlidir. Bu açıdan bakıldığında en yüksek dayanımlı titanyum alaşımları yine en yüksek dayanımlı çeliklerle kıyaslanır. Bu özellikleri ve iyi korozyon direncinden dolayı titanyum alaşımları sanayide sıkça kullanılmaktadır [1,4-6].

Nokta direnç kaynak yöntemi ile titanyum levhaların birleştirilmesinde en iyi sonuçları elde etmek için Taguchi metodu ve ortogonal diziler kullanılmaktadır. Taguchi deneyi ile kontrol edilemeyen faktörlere karşı tasarımın duyarlılığı en aza indirgenerek, maliyet ve kalite faktörlerinde optimum bir tolerans aralığının belirlenmesi hedeflenir [7-12].

Lin ve arkadaşları [13], 100 x 30 x 0,7 mm boyutlarındaki çelik levhaları nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, Taguchi metodu ve sinir ağırları kullanarak optimizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Analizler sonucunda, optimum parametre olarak 4mm elektrod çapı, 7800A akım değeri, 18kN elektrod kuvveti ve 8 çevrim kaynak süresi olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu kombinasyon değerleri sonrasında toplam % 15,98 iyileşme sağlanmıştır.

Eşme ve arkadaşları [12], 4 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemeleri TIG kaynak yöntemiyle farklı kaynak hızı, kaynak akımı, gaz akış hızı ve ark boyu değerlerinde birleştirmişlerdir. Taguchi modeli ile optimizasyonu için deneyler yapmışlar, analizler sonucunda optimum faktör ve seviye kombinasyonu belirlemişlerdir.

Casalino ve arkadaşları [10], Ti6Al4V malzemeleri lazer kaynak yöntemiyle farklı kalınlık, koruyucu gaz türü ve kaynak hızı ile birleştirmişlerdir. Taguchi modeli ile optimizasyonu için deneyler yapmışlar, analizler sonucunda optimum faktör ve seviye kombinasyonunu belirlemişlerdir.

Ayrıca yapılan çalışmalarda istatistiksel bir yöntem olan varyans analizi (ANOVA) yardımıyla hangi kaynak parametresinin mekanik test sonuçlarına ne derece etkili olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur.

Nandagopal ve arkadaşları [14], Pandiarajan ve arkadaşları [15] yapmış oldukları kaynak işlemlerinin mekanik test sonuçlarına varyans analizi yöntemiyle hangi kaynak parametresinin ne derece etkili olduğunu gösteren çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmada, titanyum levhalar nokta direnç kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametreleri (elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi) kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan farklı parametrelerin çekme-makaslama dayanımı optimizasyonu, Taguchi metodunun “en büyük-en iyi” kalite kontrol karakteristiği ile çözülmüş ve sonuçlar grafiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Ayrıca çekme-makaslama dayanımı sonuçlarına kullanılan farklı parametrelerden hangisinin daha etkili olduğunu saptamak için ANOVA yöntemi kullanılmıştır.

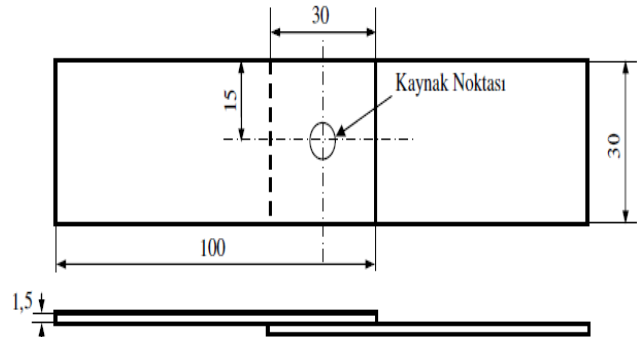
## 2. MALZEME VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneyel çalışmalarda kullanılan ticari saf titanyum (Grade 2) levha malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlık) (Chemical composition of the used material)

ASTM standartı	N	C	H	Fe	O	Ti
Grade 2	0,03	0,10	0,015	0,30	0,25	Kalan

Birleştirme işlemleri için titanyum malzemeler, Şekil 1’de gösterilen ölçülerde ve standartlara uygun olarak 100x30x1,5 mm ebatlarında hazırlanmıştır.



**Şekil 1.** Nokta direnç kaynak numune ölçüleri (Sample measurements of resistance spot welding)

### 2.1. Nokta Direnç Kaynağı (Resistance Spot Welding)

Titanyum levhaların birleştirilebileceği, kaynak parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Ön çalışmalarda, nokta direnç kaynak işlemi parametrelerinden; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi değiştirilerek titanyum numunelerin birleştirilebildiği kaynak parametreleri belirlenmiştir. Elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresinin çok düşük ve çok yüksek olduğu ön deneylerde, yetersiz birleştirme ve fazla deformasyondan dolayı kabul edilebilir kaynak çekirdeği sınırları aşılmıştır. Ön deneylerin değerlendirilmesi sonucunda; elektrod kuvveti olarak 3 ve 6 kN, kaynak akımı olarak 3, 5 ve 7 kA ve kaynak süresi olarak ise; 10, 20 ve 30 çevrimin (1 çevrim=0,02 sn) uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Deneylerde, titanyum levhaların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmelerinde; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi değerlerinin ayarlanabildiği, su soğutmalı ve pnomatik kontrollü nokta direnç kaynağı makinesi kullanılmıştır.

Birleştirilecek malzemeler, Şekil 2’de görülen ve özel olarak hazırlanan kalıbın içerisine yerleştirilerek birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak süresince elektrod kuvvetinin sabit kalması ve elektrod soğutma suyunun akışı sürekli kontrol edilmiştir. Kaynak işlemi biten numuneler, kalıptan çıkarılarak açık havada

soğutulmuşlardır. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kaynak esnasında kullanılan kalıp görüntüsü (The image of the mould used during welding)

Çizelge 2. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreler (Parameters used in welding processes.)

Elektrod Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (Çevrim)		
3	3	10	20	30
	5			
	7			
6	3	10	20	30
	5			
	7			

## 2.2. Çekme-Makaslama Testi (Tensile Strength Test)

Nokta direnç kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ticari saf (Grade 2) titanyum levhalarda, farklı parametrelerin kaynak dikişinin mekanik özelliklere etkisinin tespiti için Şekil 3’de görülen kaynaklı numuneler hazırlanmıştır. Çekme-makaslama testleri için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka çekme testi cihazı kullanılmıştır. Nokta direnç kaynak yöntemi ile 18 farklı parametrede birleştirilmiş kaynaklı numuneler, standartlara (ISO 14273) uygun olarak çekme deney cihazına bağlanmış ve çekme-makaslama testi 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında, gerilme değerleri, çekme cihazı üzerindeki proplar ile bilgisayara aktarılarak otomatik olarak kaydedilmiştir. Çekme-makaslama deneyleri, optimum sonuçları elde edebilmek amacıyla, her bir parametreden 3 adet numuneye uygulanmış ve sonuçlar elde edilen bu üç değer ortalaması alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 3. Çekme-makaslama numuneleri görüntüleri (Images of tensile strength samples)

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

### 3.1. Çekme-Makaslama Testi Sonuçları (Tensile Strength Test Results)

3 ve 6 kN elektrod kuvveti, 3, 5 ve 7 kA kaynak akımı ve 10, 20 ve 30 çevrim kaynak süresi kullanılarak, nokta direnç kaynak yöntemiyle birleştirilmiş titanyum levhaların mekanik özelliklerinin tespiti için çekme-makaslama test numuneleri hazırlanmıştır. Çekme-makaslama testleri sonucunda elde edilen 3 değer ortalama Çizelge 3’de, verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen çekme-makaslama deneyi sonuçları (Tensile strength test results obtained from different welding parameters)

Elektrod kuvveti (kN)	Kaynak akımı (kA)	Kaynak süresi (Çevrim)	Çekme-Makaslama Dayanımı (N)	Deney numarası
3	3	10	8.034	1
		20	9.025	2
		30	9.868	3
	5	10	8.893	4
		20	10.827	5
		30	11.207	6
	7	10	10.810	7
		20	11.537	8
		30	11.703	9
6	3	10	9.653	10
		20	10.628	11
		30	10.860	12
	5	10	10.727	13
		20	11.818	14
		30	11.934	15
	7	10	11.108	16
		20	12.298	17
		30	12.496	18

Farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılara ait Çizelge 3'te verilen çekme-makaslama testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımı 12.496 N ile 6 kN elektrod kuvveti, 7 kA kaynak akımı ve 30 çevrim kaynak süresinde birleştirilen numuneden elde edildiği görülmüştür. En düşük çekme-makaslama dayanımı ise 8.034 N ile 3 kN elektrod kuvveti, 3 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir. Çizelge 3 genel olarak değerlendirildiğinde, kaynak parametrelerinin (elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi) artmasıyla birlikte çekme-makaslama değerlerinin de buna bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir.

**Çizelge 4.** Taguchi L<sub>18</sub> deney tasarımına göre deney sonuçları ve S/N oranları (Test results according to Taguchi L<sub>18</sub> test design and S/N rates)

Deney No.	A	B	C	Çekme Makaslama Dayanımı (N)	
				Ölçülen	S/N
1	1	1	1	8.034	18.0986
2	1	1	2	9.025	19.1089
3	1	1	3	9.868	19.8846
4	1	2	1	8.893	18.9810
5	1	2	2	10.827	20.6902
6	1	2	3	11.207	20.9898
7	1	3	1	10.810	20.6765
8	1	3	2	11.537	21.2419
9	1	3	3	11.703	21.3659
10	2	1	1	9.653	19.6932
11	2	1	2	10.628	20.5290
12	2	1	3	10.860	20.7166
13	2	2	1	10.727	20.6096
14	2	2	2	11.818	21.4509
15	2	2	3	11.934	21.5357
16	2	3	1	11.108	20.9127
17	2	3	2	12.298	21.7967
18	2	3	3	12.496	21.9354

S/N oranı hem ortalama değerleri hem de değişkenliği baz almaktadır. Sinyal faktörü, sistemden elde edilen gerçek değeri ifade ederken gürültü faktörü ise deney tasarımında dikkate alınmayan fakat deney sonucuna etkisi bulunan faktörleri ifade etmektedir. Gürültüye sebep olan kaynaklar, sonuç olarak hedeflenen değerden sapmaya sebep olan bütün değişkenlerdir. Bu optimizasyon işleminde, Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda sinyal/gürültü oranı (S/N-Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre kullanılan eşitliklerden “en büyük en iyi” (Eş 3.1) kullanılarak S/N oranları hesaplanmış ve eşitlik 3.1’de verilmiştir [16].

### 3.2. Sonuçların Taguchi Metodu ile Optimizasyonu (Optimization Of Results With Taguchi Method)

Taguchi L<sub>18</sub> ortogonal düzeni çerçevesinde oluşturulan deney düzeneğine göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen çekme-makaslama dayanımı değerlerinin Taguchi metodu yardımıyla deneylerden elde edilen sonuçlar Sinyal/Gürültü (Signal/Noise) oranına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Çekme-makaslama dayanımı ve Sinyal/Gürültü oranları Çizelge 4’de verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.1)$$

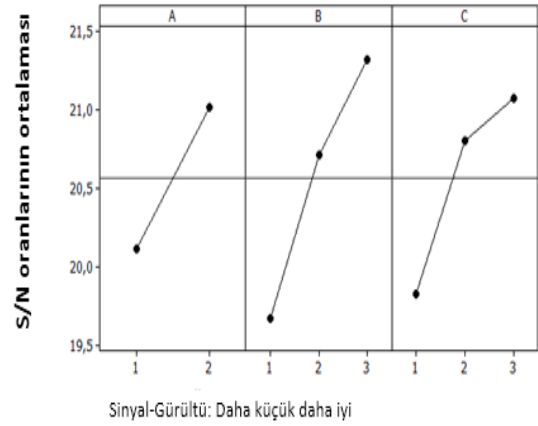
Eşitliklerde;

$y_i$ : Performans yanıtını

$i$ : gözlem değerini

$n$ : bir denemede test sayısını ifade etmektedir.

Çekme makaslamanın “en büyük en iyi” ye göre S/N oranı değişimini gösteren grafik, Sekil 4’te verilmiştir. Sekil 3’de gösterilen S/N oranlarının grafiksel gösterimine göre maksimum çekme makaslama için belirlenen optimum deney kombinasyonu A2B3C3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç artan parametre değerleriyle optimum çekme makaslama değerlerine ulaşıldığını göstermiştir.



**Şekil 4.** Çekme makaslama için S/N oranı grafiği (The graph of S/N ratio for tensile strength)

A. G. Thakur ve arkadaşları [17], nokta direnç kaynaklarıyla birleştirilen kaynaklı parçalarının çekme makaslama dayanımlarının optimum test sonuçlarına ulaşmak için hangi parametre değerlerinin kullanılması gerektiğini bulmak amacıyla Taguchi deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda da, kaynak akım değeri 12Ka, kaynak süresi 16 çevrim, elektrod çapı 6mm ve elektrod kuvveti 3.5kN değerlerinde optimum sonuçlara ulaşmışlardır. Elde edilen bu parametrelerle yapılan kaynaklarda maksimum çekme makaslama değerleri elde edilmiştir.

X. Yuan ve arkadaşları [18], nokta direnç kaynaklarıyla birleştirilen kaynak parçalarının çekme makaslama dayanımlarının optimum test sonuçlarına ulaşmak için hangi parametre değerlerinin kullanılması gerektiğini bulmak amacıyla Taguchi deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda da kaynak akım değeri 9kA, kaynak süresi 14 çevrim, ve elektrod kuvveti 2.6kN değerlerinde optimum sonuçlara ulaşmışlardır. Elde edilen bu parametrelerle yapılan birleştirmelerde maksimum çekme makaslama değerlerine ulaşmışlardır. Sonuçlar, kaynak parametrelerinin artmasıyla optimum çekme makaslama sonucuna ulaşıldığını göstermiştir.

### 3.3. Anova ile Parametrelerin Değerlendirilmesi (Evaluation Of Parameters By Anova)

Titanyum levhalar çekme-makaslama test cihazına yerleştirilmiştir. 2mm/dk çekme hızında çekme işlemi gerçekleştirilerek 18 adet deney yapılmış ve bu deneylerin her birinden farklı çekme-makaslama dayanımı değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deney sonuçlarına hangi parametrenin ne kadar etki ettiğini bulmak için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır [19-20]. Çekme-makaslama dayanımı varyans analizi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir

Her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerlerde F’nin en büyük değeri çekme makaslama etkileyen en önemli faktördür. Çizelge 5’ te görüleceği üzere, %45.82 ile en

**Çizelge 5.** Çekme makaslama değerlerine göre ANOVA sonuçları (ANOVA results according to tensile strength values)

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	PCR (%)
Elektrod kuvveti	1	5,139	5,1392	45,94	0	19.58
Kaynak akımı	2	11,986	5,9928	53,58	0	45.82
Kaynak süresi	2	7,204	3,6018	32,2	0	27.19
Hata	12	1,342	0,1119			7.41
Toplam	8	167.459				100

fazla etkileyen faktörün kaynak akımı, ikinci etkili faktörün %27.19 ile kaynak süresi ve en az etkili olan faktörün ise %19.58 ile elektrod kuvveti olduğu belirlenmiştir.

Shaik Shafee ve arkadaşlarının [21] yapmış oldukları çalışmada, ANOVA ile yapılan analizlerin sonucunda nokta direnç kaynaklarıyla birleştirilen kaynaklı parçaların çekme makaslama dayanımlarına en çok etkisi olan kaynak parametresini %72.79 ile kaynak akımı olarak bulmuşlardır. Bunu sırasıyla %22.26 ile kaynak süresi ve son olarak ta %4.95 ile elektrod kuvveti olarak izlemiştir.

A. K. PANDEY ve arkadaşlarının [22] yapmış oldukları çalışmada, ANOVA ile yapılan analizlerin sonucunda nokta direnç kaynaklarıyla birleştirilen kaynaklı parçaların çekme makaslama dayanımlarına en çok etkisi olan kaynak parametresinin %61 ile kaynak akımı olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %28.7 ile kaynak süresi ve son olarakta %4.3 ile elektrod kuvveti takip etmiştir.

### 3.4. Doğrulama Deneyleri Ve Sonuçları (Verification Experiments And Results)

Taguchi metoduna göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Önceden tespit edilen çekme-makaslama için “A2B3C3” parametreleri kullanılarak, üç adet kontrol deneyleri sonucunda elde edilen deney sonuçlarının ortalaması alınarak sonuçların güvenilirliği irdelenmiştir. Buna göre en iyi çekme makaslama değerlerinin elde edilmesinde, optimize edilmiş çekme-makaslama parametreleri Çizelge 6’ da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Çekme makaslama için optimal seviyeler (Optimal levels for tensile strength)

	Başlangıç dayanım parametreleri	Optimum dayanım parametreleri Tahmini	Deneysel
Seviye	A2B2C2	A2B3C3	A2B3C3
Çekme-makaslama	11.818	12.7918	12.713
S/N oranı (dB)	21.4508	22.2776	22.0849
İyileştirme oranı S/N	0.6341 dB (2,95%)		

Taguchi optimizasyonu sonucunda belirlenen A2B3C3 kaynak parametrelerini kullanılarak 3 adet doğrulama deneyi yapılmış ve optimizasyonun başarısı irdelenmiştir. Doğrulama deneyleri sonunda elde edilen çekme-makaslama dayanımı 12.713N olarak ölçülmüştür. Böylelikle, başlangıç deneylerde elde edilen çekme-makaslama dayanımı değerine göre (11.818N) optimizasyon sonunda %2.95 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Taguchi metodunun yapılan çalışmada başarılı bir şekilde uygulanabildiği görülmüştür.

S.V. Fanse ve arkadaşları [23], 250 x 28 x 1,2 mm boyutlarındaki çelik levhaları nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, Taguchi metodu ve yapay sinir ağları kullanarak optimizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Analizler sonucunda, optimum parametre olarak 11kA akım değeri, 0.78kN elektrod kuvveti ve 5 çevrim kaynak süresi olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu kombinasyon değerleri sonrasında yaklaşık % 10 iyileşme sağlanmıştır.

M. Raut ve V. Achwal [24], 1500 x 25 x 0.8 mm boyutlarındaki orta karbonlu çelik levhaların nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, Taguchi metodunu kullanarak optimizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, optimum parametre olarak 8.4kA akım değeri, 269.2N elektrod kuvveti ve 15 çevrim kaynak süresini tespit etmişlerdir. Elde edilen bu kombinasyon değerleri sonrasında yaklaşık % 25 iyileşme sağlanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen 1,5 mm kalınlığındaki Titanyum levhaların çekme-makaslama dayanımlarının Taguchi metoduyla optimizasyonu konulu bu çalışmada, yapılmış olan deneyler neticesinde aşağıda verilmiş olan sonuçlar elde edilmiştir.

Taguchi metodu kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda maksimum çekme-makaslama dayanımı değeri için optimum parametreler, elektrod kuvveti 6 kN, kaynak akımı 7 kA ve kaynak süresi 30 çevrim (A2B3C3) olarak belirlenmiştir.

Belirlenen kaynak parametreleri kullanılarak ulaşılan maksimum çekme-makaslama dayanımı değeri 12,713N olarak bulunmuştur.

Elde edilen optimum kaynak parametreleri kullanılarak yapılan doğrulama deney sonuçlarına göre çekme-makaslama dayanımında %2,95 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Deney sonuçlarına uygulanan varyans analizi'ne (ANOVA) göre, değişkenlerin çekme-makaslama dayanımı değerleri üzerindeki en etkin parametrenin %45,82 ile kaynak akımı olduğu tespit edilirken, ikinci en etkili parametrenin %27,19 ile kaynak süresi ve en az etkili parametrenin ise %19,58 ile elektrod kuvvetinin olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda kaynaklı bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarını arttırdığı ya da azalttığı için kaynak parametrelerinin önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle uygun parametre kombinasyonlarının nokta direnç kaynaklarının maksimum çekme-makaslama dayanımı için gerekli olduğu söylenebilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kaya Y., "Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklana birliğinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [2] Gültekin N., "*Kaynak tekniği*", Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1-27,(1985).
- [3] Eryürek B., "Elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin etüdü", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-46 (1976).
- [4] Agwan V.S., "Resistance welding reliable technology for productivity", *Tool and Alloy Steels*, 243-247, (1989).
- [5] Kahraman N., "Titanyum levhaların patlamalı kaynak yöntemi ile farklı metallere birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-23, (2003).
- [6] Dogan İ., "Titanyum malzemelerin (kalite 265.2) TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-4, (2002).
- [7] Şirvancı M., "*Kalite için deney tasarımı yaklaşımı, taguchi yaklaşımı*", Wisconsin Üniversitesi İşletme Fakültesi, ABD, (1997).
- [8] Canıyılmaz E., Kutay F., "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 18(3): 51-63, (2003).
- [9] Anawa E.M., and Olabi A.G., "Using Taguchi Method To Optimize Welding Pool of Dissimilar Laser-Welded Components", *Optics & Laser Technology*. 40(2): 379 – 388, (2008).
- [10] Casalino G., Curcio F. and Minutolo F. M. C., "Investigation on Ti6Al4V laser welding using statistical and Taguchi approaches", *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2-3): 422-428, (2005).
- [11] Lin H.L. and Chou C.P., "Optimisation of The GTA Welding Process Using The Taguchi Method and a Neural Network", *Science and Technology of Welding & Joining*, 11(1): 120 – 128, (2006).
- [12] Eşme, U., Bayramoğlu, M., Geren N., Serin H., "TIG kaynağında kaynak dayanımının taguchi metoduyla optimizasyonu", *Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Balıkesir.(2006).
- [13] Lin, H.L., Chou, T., Chou, C.P., "Optimization of Resistance Spot Welding Process Using Taguchi Method and a Neural Network", *Experimental Techniques*, 31(5): 30 – 36, (2007).
- [14] Nandagopal K., Kailasanathan C., "Analysis of mechanical properties and optimization of gas tungsten Arc welding (GTAW) parameters on dissimilar metal titanium (6Al 4V) and aluminium 7075 by Taguchi and ANOVA techniques", *Journal of Alloys and Compounds*, 682: 503-516, (2016).
- [15] Pandiarajan, S., et al., "Interfacial microstructure and optimization of friction welding by Taguchi and ANOVA method on SA 213 tube to SA 387 tube plate without backing block using an external tool", *Journal of Alloys and Compounds*, 654: 534-545, (2016).
- [16] Çakıroğlu R., Acır A., "Al2014 malzemesinin delinmesinde takım talaş ara yüzey sıcaklıkları ve kesme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(2): 73-86, (2013).
- [17] Thakur A.G., Rao L T.E., Mukhedkar M.S., Nandedkar V.M., "Application of taguchi method for resistance spot welding of galvanized steel", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5: 11, (2010).
- [18] Yuan X., Li C., Chen J., Li X, Liang X., Pan X., "Resistance spot welding of dissimilar DP600 and DC54D steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 239: 31–41, (2017).
- [19] R. Çakıroğlu., and A. Acır., "Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method", *Measurement*, 9(46): 3525-3531, (2013).
- [20] Yağmur S., et al., "AISI 1050 çeliğinin delinmesinde kesme kuvvetlerinin taguchi metodu ile optimizasyonu",

- Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2): 241-246, (2017).
- [21] Shafe S., Naikb B.B., Sammaiah K., “Resistance Spot Weld Quality Characteristics Improvement By Taguchi Method”, *Materials Today*, 2: 2595 – 2604, ( 2015 ).
- [22] Pandey A.K., Khan M.I., Moeed K.M., “Optimization of resistance spot welding parameters using taguchi method “ , *International Journal of Engineering Science and Technology*, 5(2): (2013).
- [23] Fanshe S.V., Deshmukh D.D., Niphade D.V., “Experimental investigation and optimization of spot welding process parameters for maximum tensile strength”, *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 978-93-86171-05-4, (2016).
- [24] M. Raut., V. Achwal., “Optimization of spot welding process parameters for maximum tensile strength”, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(4): 2278 – 0149, (2014)





POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Computational analysis of effects of location of the diverter plate and inlet velocity on the efficiency of two-phase flow separator

*Ayrıştırma plakasının konumunun ve giriş hızının iki-fazlı ayırıcı verimine olan etkilerinin sayısal analizi*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Sedat YAYLA<sup>1</sup>, Karwan KAMAL<sup>2</sup>, Seyfettin BAYRAKTAR<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6640-6511

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0584-5451

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-1554-353X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yayla S, Kamal K. and Bayraktar S., "Computational analysis of effects of location of the diverter plate and inlet velocity on the efficiency of two-phase flow separator", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 575-581, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.567055

# Ayrıştırma Plakasının Konumunun ve Giriş Hızının İki-Fazlı Ayrıştırıcı Verimine Olan Etkilerinin Sayısal Analizi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Sedat YAYLA<sup>1\*</sup>, Karwan KAMAL<sup>2</sup>, Seyfettin BAYRAKTAR<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Department of Mechanical Engineering, Van Yuzuncu Yil University, 65080 Van, Turkey,

<sup>3</sup>Department of Naval Architecture & Marine Engineering, Yıldız Technical University, 34349 Istanbul, Turkey

(Geliş/Received : 05.03.2018 ; Kabul/Accepted : 06.05.2019)

## ÖZ

İki fazlı yatay yerçekimsel ayırıştırıcılar petrol sektöründe genellikle petrol ve gazın birbirinden ayrıştırılması için kullanılırlar. İlgili literatürde ayırıştırıcının optimum çap ve uzunluğunun belirlenmesi amacıyla çeşitli çalışmalar mevcuttur. Her ne kadar ayırıştırma plakası, ayırıştırma hızını arttırmak için kullanılmakta ise de, ayırıştırma plakasının akışkan giriş borusunun neresine yerleştirileceği konusunda kesin bir yaklaşım bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ayırıştırıcının ana hacmi, kullanılan petrol ve gazın belirli bir karışım miktarı için tanımlanmıştır. Ayırıştırma plakasının konumu ve farklı hız değerlerinin ayırıştırma verimi üzerindeki etkileri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metodu kullanılarak ayırıştırma plakasının üç farklı konumu (100 mm, 150 mm ve 200 mm) ve dört farklı giriş hızı (0,25 m/s, 0,5 m/s, 0,75 m/s ve 1 m/s) için incelenmiştir.

İki fazlı, üç boyutlu ve tam türbülanslı akış analizleri sonucunda, en iyi ayırıştırma verim değerinin yaklaşık %99 ile ayırıştırıcı plakanın, borunun üst noktasına 200 mm uzaklıkta ve karışımın sisteme giriş hızının 0,25 m/s olduğu değerde iken sağlandığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Petrol gaz ayrıştırılması, iki fazlı akış, yatay ayırıştırıcı.

## Computational Analysis of Effects of Location of the Diverter Plate and Inlet Velocity on the Efficiency of Two-Phase Flow Separator

### ABSTRACT

Two-phase horizontal gravity separators are generally used in the petroleum industry for gas and liquid separation. There are several studies in the relevant literature that reports various methods to determine the optimum diameter and length of the separator. Although the diverter plate is used to increase the separation speed, there is not any exact approach for specifying the appropriate location of the diverter plate on the inlet pipe. In the present study, the main volume of the separator is defined for a particular amount of mixture of oil and gas. Effects of the location of the diverter plate and inlet velocity on the separation efficiency are investigated for three locations of the diverter plate (100 mm, 150 mm, 200 mm) and four different inlet velocities (0,25 m/s, 0,5 m/s, 0,75 m/s, 1 m/s) by means of computational fluid dynamics (CFD) method. Two-phase, three-dimensional (3D) and fully turbulent flow simulations reveal that the highest separation efficiency is obtained as 99% when the straight diverter plate is 200 mm far away from the top inlet and the inlet velocity is 0,25 m/s.

**Keywords:** Oil gas separation, two-phase flow, horizontal separator

### 1. INTRODUCTION

In the oil industry, the separator is a pressure vessel utilized to separate liquids extracted from gas and oil wells to liquid and gaseous constituents [1]. Separating the well flow into gas free-liquid and liquid-free gases is the aim of the best separator design and selection. In the ideal condition, liquid and gas attain a balance of state at the present conditions of temperature and pressure inside the vessel [2]. Heavy oil dissolved in water tends to

remain dispersed due to the high reduction factors [3]. Oil droplets accumulate at the top of the pipeline because the density of oil droplets is lower than the density of water [4-5]. The density difference between components is the principle separators process. These differences permit stratifying the constituents as moving gradually with liquid on the bottom and the gas on top. Solids like sand settle down in the base of the separator as well. The mixed fluid extracted from gas and oil separated into gas, oil, and water [6-9].

Horizontal, spherical and vertical are the most common designs for building separators. When the volume of total

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : sedyayla@yahoo.com

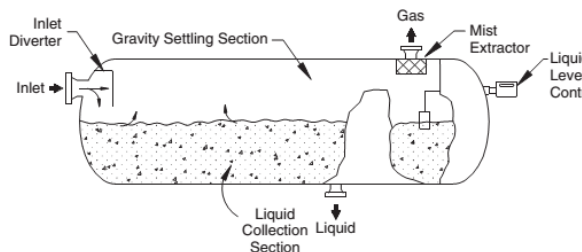
liquids is obtainable and amounts of dissolved gas in it, horizontal separators are installed. Mainly, the procedure could be phase removal of gas, water, oil and possibly sand. Separation efficiency by reducing the size and designing the most appropriate separator is significant in the oil industry. Pressure fluctuations induced by two-phase gas-solid flow have been experimentally investigated in a large-scale cyclone separator [10].

The present paper exhibits a series of simulations for a horizontal separator by employing Euler-model. By this method, the two-phase flow behavior of a horizontal separator can be demonstrated.

### 1.1. Horizontal Separators

For elevated gas oil ratio (GOR) wells, horizontal separators are constantly employed. A horizontal two-phase separator is displayed in Figure 1. When the liquids enter the separator and hit the inlet diverter, it results in abrupt alterations in momentum at the inlet, the early gross separation of vapor and fluids happens. Because of the gravity force, the fluid droplets drop out of the gas flow to the vessel floor.

In addition to the traditional homogeneous model, a new liquid model is presented to obtain pressure gradient, retention and shear rate estimates in liquid-liquid distributions [11]. Generally, four main functional zones can be identified in a horizontal two-phase separator [12- 13]. The CFD model can be usefully used for the designing of interiors of off-shore three-phase separators, such as skid proof curtains and sluice [14- 15]. The primary separation zone, which is desired for separating the bulk fluid from the gas flow, is the section between the inlet nozzle and first baffle. The gravity settling zone is downstream from the primary separation zone. This section is utilized for entraining globules to settle from the wet gas stream. Normally, gravity settling zone resides a vast segment of the vessel volume during which the gas passes at a comparatively low velocity. The droplet coalescing zone is coming after the gravity settling zone. This section might be vane packs, parallel plates, spiral flow demisters, and mesh pads. Based upon impingement and inertial separation principles, the droplet coalescing zone assists in removing extremely tiny droplets.



**Figure 1.** A typical scheme of a horizontal two-phase separator [4]

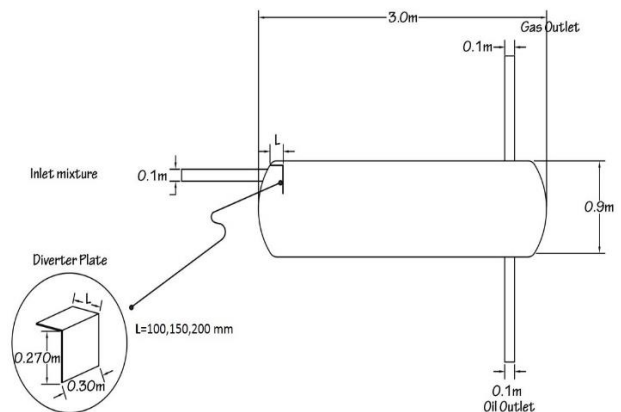
**Table 1.** Mesh independence study

Mesh Structure	Number of element	Separation efficiency	Difference (%)
Coarser	201248	95.1	4.9
Coarse	310233	96.4	3.6
Normal	423396	97.8	2.2
Fine	526778	98.6	1.4
Finer	684902	99.772	0.2

## 2. METHODOLOGY AND MATHEMATICAL MODEL

This study was performed by utilizing computational fluid dynamics (CFD) technique to reveal the influence of the change of geometric parameters like the distance between the inlet and plate diverter and position of the inlet top and side arrangements on the separation efficiency. Effects of inlet velocity were also investigated. These are the most important aspects of the design process of a separator as indicated in the literature [16-18]. In this section physical model including the dimensions of the separator and diverter plates for separator with top inlet and side inlet, mesh structure, boundary conditions applied to the simulations and corresponding mathematical equations are presented.

The present study demonstrates the results of a series of simulations of three dimensional (3D) model of a two-phase gas-oil horizontal separator under steady-state conditions. The separator under consideration has a length of 3 m and a height of 0,9 m while both inlet and outlet pipes are 1 m long. The inlet diverter plate has a length of 0.3 m, the width of 0.270 m. Three horizontal distances (100 mm, 150 mm, and 200 mm) were investigated to reveal its effect on the separator efficiency, (Fig.3).



**Figure 3.** Dimensions of the horizontal separator under consideration

A working domain consists of inlet and both outlet pipes and the horizontal separator has meshed for simulations. As presented in Table 1, a mesh independence study was conducted with several mesh elements. It is seen that increasing the number of mesh elements decreases the difference between the calculated separation efficiency

and the ideal efficiency (100%). The minimum difference was obtained with the finer mesh that contains 984902 elements, therefore, all the simulations were performed with the finer mesh as shown in Table 1.

As shown in Fig.4 relatively denser mesh elements were used towards the outer walls of the pipes and separator and also at the intersection of the lateral areas of the separator with the two ends of it. It was checked that the non-dimensional grid spacing ( $y^+$ ) for each velocity changes between 70 and 120.

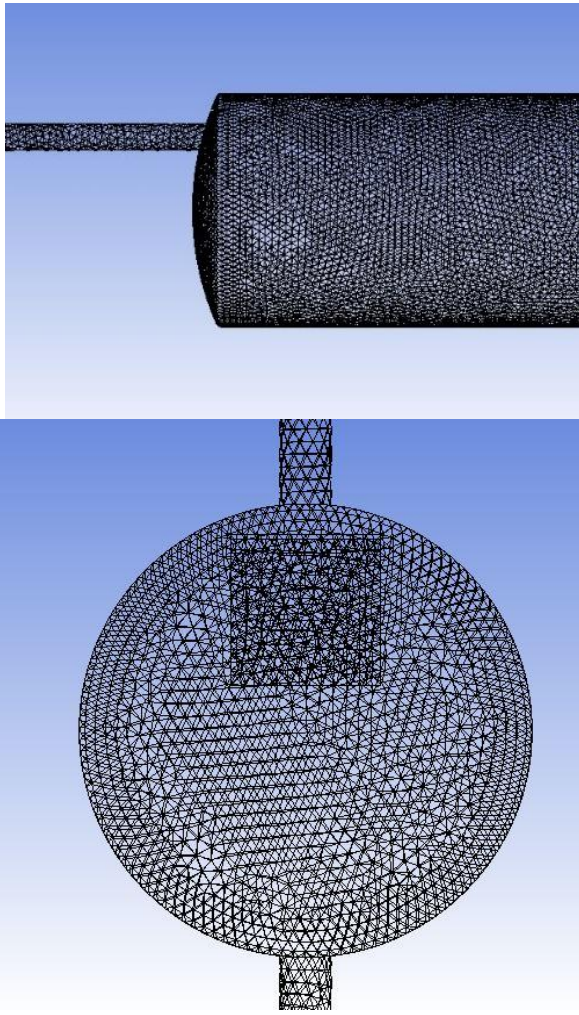


Figure 4. Mesh elements used on the separator

Figure. 5 shows the boundary conditions applied to the domain. The side inlet of the mixture to the pipe seen at the left side was specified as velocity inlet while the outlet of the pipes seen at top-right and bottom-right was set as outflow. At the inlet, both turbulence intensity (I) and hydraulic diameter were specified as 1% and 0,1 m, respectively. The turbulence intensity (I) is calculated as the function of the Reynolds (Re) number (Eq.1).

$$I = 0.16(Re_D)^{-0.25} \quad (1)$$

The pipe lateral walls, the diverted plates as well as the separator walls were defined as wall type.

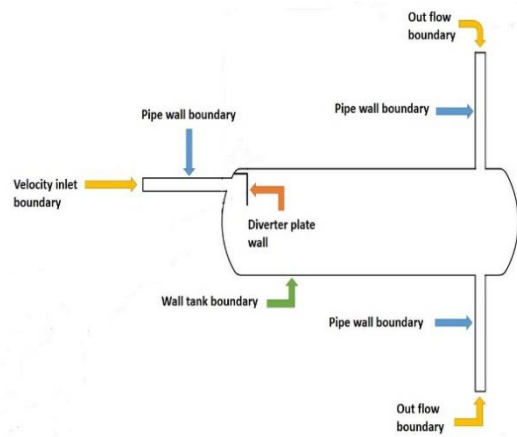


Figure 5. Boundary conditions applied to the horizontal separator

The gas was selected as the primary phase since the gas volume fraction was higher than in oil-gas mixture. Here, the oil was termed as a secondary phase. The density and viscosity of the oil and gas are assumed as to be 825 kg/m<sup>3</sup>, 60.8 kg/m<sup>3</sup> and 0.00237 kg/ms and 0.000012 kg/ms, respectively.

The corresponding mathematical equations for the steady and incompressible flow are presented below where Eq.2 and Eq.3 show continuity and momentum equations, respectively, [19].

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

where  $p$  is the static pressure,  $\bar{\tau}$  is the stress tensor,  $\rho \vec{g}$  and  $\vec{F}$  are the gravitational body force and external body force, respectively.

For two-phase flow simulations, the Euler-method was adopted. It is reported that standard k-ε turbulence model is robust, economic and accurate for a wide range of turbulent flows in industrial application [19], therefore, standard k-ε turbulence model was chosen as turbulence model. Eq. 4 and Eq.5 represents the turbulence kinetic energy (k) and its dissipation (ε), respectively, [20].

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + v_t \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 v_t \frac{\varepsilon}{k} \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

The magnitudes of the coefficients seen in the above equations are given as follows:

$$C_\mu = 0.09 \quad C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

The separation efficiency (η) were calculated as given in Eq.6. [21].

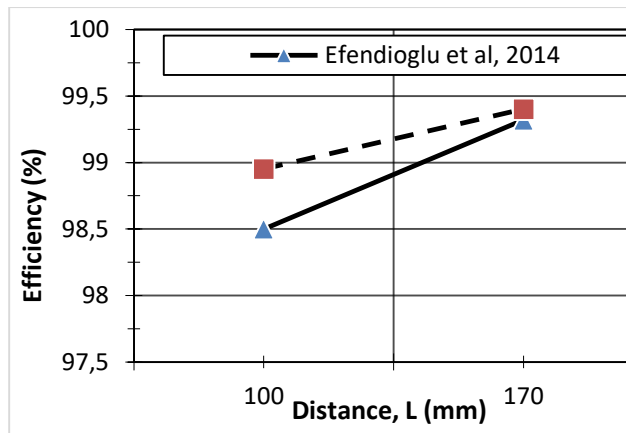
$$\eta = 100 * \frac{\dot{m}_{oil\ inlet} - \dot{m}_{oil\ content\ in\ gas\ outlet}}{\dot{m}_{oil\ inlet}} \quad (6)$$

For a continuity equation the (q) phase, this equation has the following form [19].

$$\left(\frac{1}{\rho_q}\right) * [\nabla \cdot (\alpha_q * \rho_q * v_q)] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (7)$$

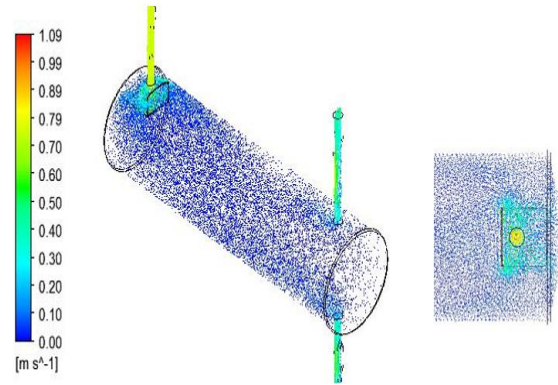
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Validation of the study was successfully achieved by comparing the results with the data of Efendioglu et al., 2014 [21]. The difference between the two studies was found to be 0.5% for the distance between the inlet and diverter plate. It is seen that the gap between the results closes to 0.1% for the other distances (Fig.6).



**Figure 6.** Comparison of the present study with the data of Efendioglu et al., 2014 [21]

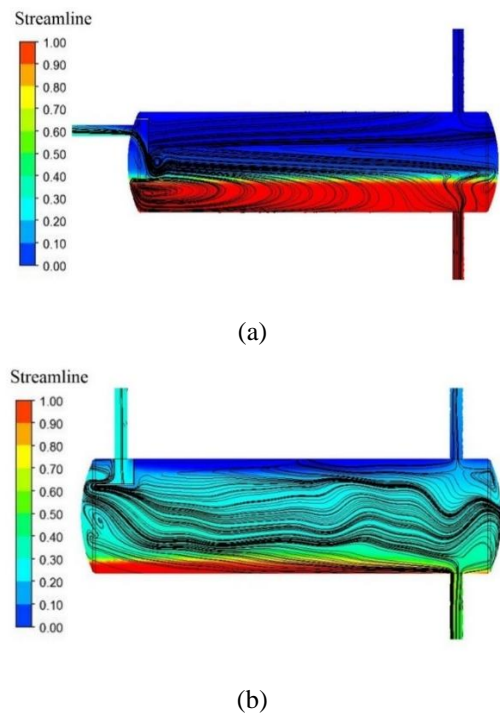
Horizontal separators have been used to separate the gas and oil by means of inlet diverter(s) that isolates the oil and gas quickly by altering the direction and velocity. After that, in gas and liquid interface the liquid droplets are impacted by gravitational force in the gravity settling part. For various inlet velocities, the liquid entrainment in the gas outlet was measured. Fig.7 demonstrates the velocity vector for mixture phase when the diverter plate at L=200 mm and the mix enters the separator with 0.75 m/sec. It is seen that the mixture issuing from the top inlet with a high velocity impinges on the diverter plate by the gravitational effects. After the impingement, the velocity decreases and flow change its direction and most of the fluid is diverted downward in the separator. Furthermore, the momentum of the droplet is exchanged to some extent. Thus, because of the impact of gravity the droplets are settled down before the gas flows toward the exit with a lower velocity. This low velocity is required to give enough retention time for the oil droplets and allow the settlement of the oil film (Fig.6). This outcome agrees with the literature [20, 22].



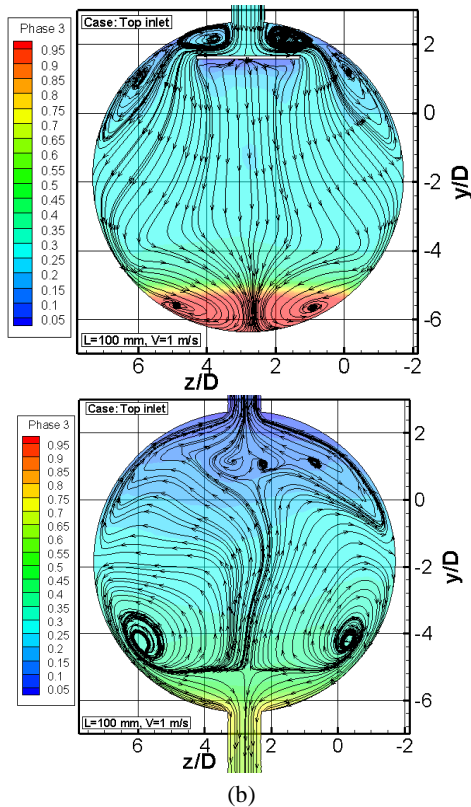
**Figure 7.** Velocity vector of horizontal separator top inlet when L = 200 mm and velocity 0.75 m/s

The flow field for the inlet velocity of 0,25 m/s at the distance of L=200 mm at the side inlet is demonstrated in Fig. 8. The occurrence of the streamline will impact the separation efficiency as oil droplets will exit with the gas from the gas outlet. The upsurge of vortex flow of mixture in separator leads to the declining efficiency of separation.

As shown in Fig.9 initially, as the mixture entered the separator the velocity was 1 m/s and distance between diverter plate from top inlet was 100 mm. The oil droplets move downward to the separator, gas attempting to move up to the top of it. Moreover, by the increase of the velocity of the mixture inlet, the streamlines will clearly show more swirl stream. The occurrence of the swirl stream will impact the separation efficiency as oil droplets will exit with the gas from the gas outlet. When upsurge the vortex flow in separator the efficiency of separation of the mixture is decreased.

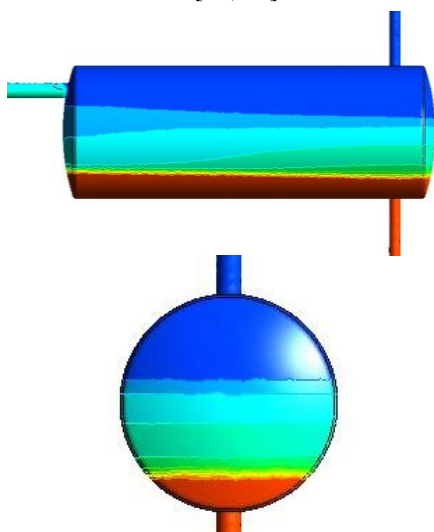


**Figure 8.** Streamlines values for L=200 mm and velocity 1 m/s (a) side inlet (b) top inlet

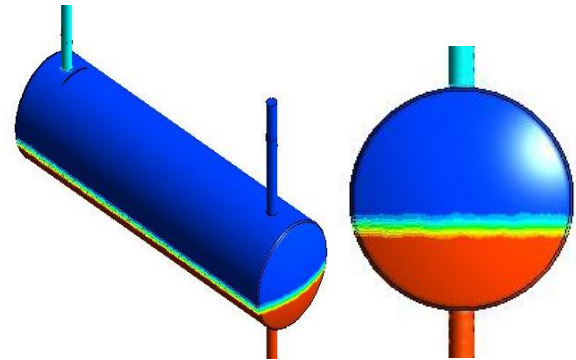


**Figure 9.** Streamlines colored by velocity values for  $L=100$  mm and velocity 1 m/s (a) Cut at the half of the inlet pipe, (b) Cut at the half of the outlet pipes

Volume fractions for oil and gas phases are given in Fig.10 and Fig.11 for various inlet velocities. It is seen that subsequent the collision of the mixture with the diverter plate, the layers of oil fraction change its color from red to blue that means when the velocity increases the less amount of oil separates from the mixture. The intersection between these layers indicates a fluid mixture between oil and gas phases. When velocity increases from 0,25 m/s to 1,00 m/s the region of mixture layers extends that indicates lower separation efficiency as stated in the literature [17, 21].

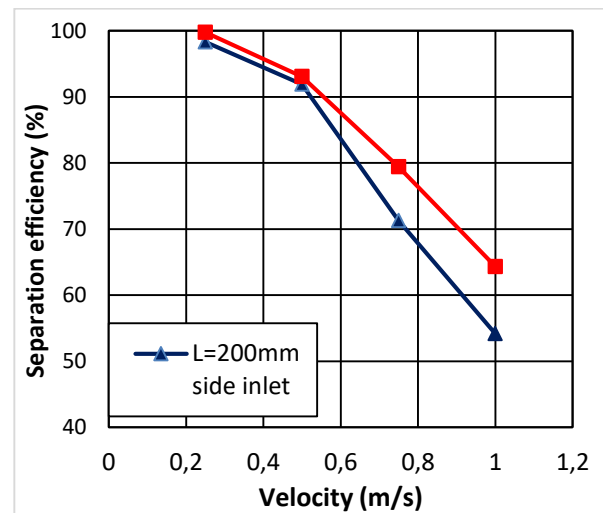


**Figure 10.** The volume fraction of phases for  $V=0,5$  m/s, at diverter plate distance  $L=150$  mm

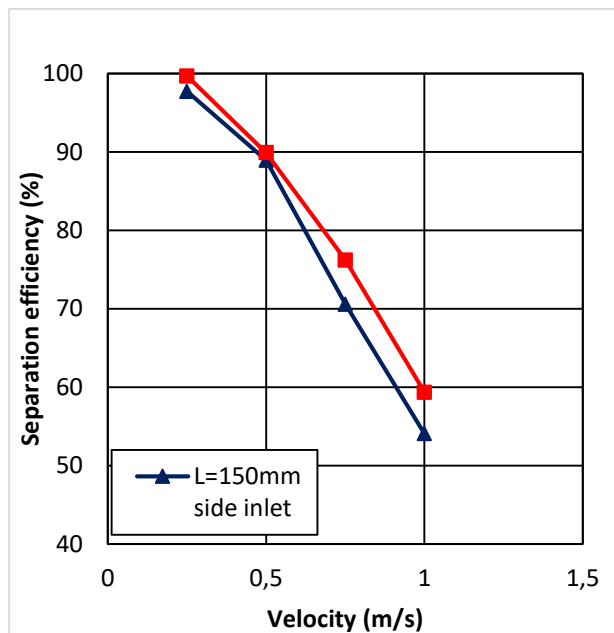


**Figure 11.** The volume fraction of phases for  $V=0,25$  m/s, at diverter plate distance  $L=150$  mm

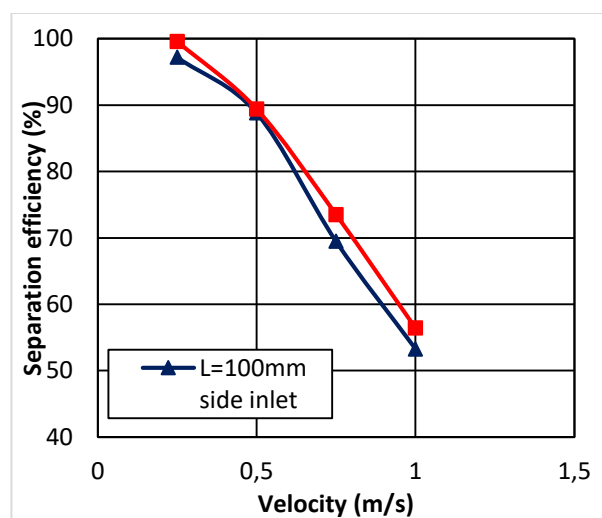
Change of efficiency as a function of the mixture inlet velocity is provided in Fig.12, Fig.13 and Fig.14 for various distances between the inlet and the diverter. It is seen that there is an inverse correlation between the efficiency and the inlet velocity. As the inlet velocity increases the overall separation efficiency of the separator decreases gradually. The highest separation efficiency is obtained for  $L=200$  mm as 99,772%. While the distance between the inlet and the diverter decreases the separation efficiency decreases to 99,688% for  $L=150$ mm and 99,608% for  $L=100$  mm. It must be kept in mind that these efficiencies are obtained for the lowest inlet velocity. As indicated before, when the inlet velocity increases the separation efficiencies decreases. Regardless of the distances, the side inlet provides higher efficiency than the separation efficiency obtained for the top inlet.



**Figure 12.** Change of separation efficiency with the side and top inlet velocities for  $L=200$  mm distances between the inlet and diverter plate



**Figure 12.** Change of separation efficiency with the side and top inlet velocities for  $L=150$  mm distances between the inlet and diverter plate



**Figure 13.** Change of separation efficiency with the side and top inlet velocities for  $L=100$  mm distances between the inlet and diverter plate

#### 4. CONCLUSIONS

The present paper reveals the effect of the mixture inlet velocity and the distance between the inlet and the diverter plate in an oil-gas separator used in the oil industry. For this purpose, various plate distances, inlet locations, and velocities were considered by means of CFD technique. The validation of the numerical results was successfully achieved by comparing with the available data obtained in the open literature. It is found that there is an inverse correlation between the inlet velocity and the separation efficiency and direct proportion between the distance and efficiency.

Positioning the inlet pipe to the side of the separator provides higher separation efficiency than locating the pipe to the top of the separator. The highest distance between the inlet and the diverter provides the highest efficiency.

#### REFERENCES

- [1] Pourahmadi Laleh A., Svrcek W. Y., and Monnery, W. D. 'Design criteria for oilfield separators improved by computational fluid dynamics', *Chemical Engineering & Technology*, 35: 2, 323-333, (2012).
- [2] Fakhru'l-Razi A., Pendashteh A., Abdullah L. C., Biak D. R. A., Madaeni S. S., and Abidin, Z. Z., 'Review of technologies for oil and gas produced water treatment', *Journal of Hazardous Materials*, 170: 2, 530-551, (2009).
- [3] Loh W.L., Premanadhan V.K. 'Experimental investigation of viscous oil-water flows in pipeline', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 147: 87-97, (2016).
- [4] Burlutskii E. 'CFD study of oil-in-water two-phase flow in horizontal and vertical pipes', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 162: 524-531, (2018).
- [5] Shi J., Gourma M., Yeung H. 'CFD simulation of horizontal oil-water flow with matched density and medium viscosity ratio in different flow regimes', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 151: 373-383, (2017).
- [6] Abdolhamid H. R., Al-Baghdadi M. A. S., and Hinshiri, A. K. E. 'Evaluation of bio-surfactants enhancement on bioremediation process efficiency for crude oil contaminated soil at oilfield', *Strategic Study. Ovidius Univ. Ann. Chem.*, 20: 25-30, (2009).
- [7] Song X., Yang Y., Zhang T., Xiong K., Wang Z. 'Studies on water carrying of diesel oil in upward inclined pipes with different inclination angle', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 157: 780-792, (2017).
- [8] Zhongyia W., Changlong Y., Jia H., Yunlianga Y. 'The analysis of internal flow field in oil-gas separator', *Procedia Engineering*, 15: 4337-4341, (2011).
- [9] Thi Lea T., Ich Ngoa S., Lima Y., Park C., Leeb B., Kim B., Lim D. 'Three-phase Eulerian computational fluid dynamics of air-water-oil separator under off-shore operation', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171: 731-747, (2018).
- [10] Jia M., Wang D., Yana C., Song J., Han Q., Chen F., Wei Y. 'Analysis of the pressure fluctuation in the flow field of a large-scale cyclone separator', *Powder Technology*, 343: 49-57, (2019).
- [11] Picchi D., Strazza D., Demori M., Ferrari V., Poesio V. 'An experimental investigation and two-fluid model validation for dilute viscous oil in water dispersed pipe flow', *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60: 28-34, (2015).
- [12] Stewart M., and Arnold K. 'Emulsions and oil treating equipment: selection, sizing, and troubleshooting', *Gulf Professional Publishing*, (2008).

- [13] Pouraria H., KwanSeo J., Kee Paik J. 'Numerical modeling of two-phase oil–water flow patterns in a subsea pipeline', *Ocean Engineering*, 115: 135-148, (2016).
- [14] Thi Lea T., Ich Ngoa S., Lima Y., Park C., Lee B., Kim B., Lim D. 'Effect of simultaneous three-angular motion on the performance of an air-water–oil separator under offshore operation', *Ocean Engineering*, 171: 469-484, (2019).
- [15] Pourahmadi Laleh A., Svrcek W.Y., Monnery W.D., 'Design criteria for oilfield separators improved by computational fluid dynamics', *Chemical Engineering Technology*, 35(2): 323-333, (2012).
- [16] Laleh P. A., Svrcek W. Y., and Monnery W. D., 'Computational fluid dynamics simulation of pilot-plant-scale two-phase separators', *Chemical Engineering & Technology*, 34(2): 296-306, (2011).
- [17] Ghaleni M. M., and MortazaZivdar, M., 'Hydrodynamic analysis of two-phase separator by computational fluid dynamic (CFD)', The 6th *International Conference on Advanced Computational and Experimenting*, Istanbul, Turkey, (1-4 July 2012).
- [18] Dehkordi P.B., Colombo L.P.M., Guilizzoni M., Giorgio Sotgia G. 'CFD simulation with experimental validation of oil-water core-annular flows through Venturi and Nozzle flow meters', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 149: 540-552, (2017).
- [19] Fluent, A. 12.0 'Theory Guide. *Ansys Inc*, 5.' (2009).
- [20] Wilkinson D., Waldie B., Nor M. M., and Lee H. Y., 'Baffle plate configurations to enhance separation in horizontal primary separators', *Chemical Engineering Journal*, 77(3): 221-226, (2000).
- [21] Efendioglu A., Mendez, J., and Turkoglu, H. 'The numerical analysis of the flow and separation efficiency of a two-phase horizontal oil-gas separator with an inlet diverter and perforated plates', *Advances in Fluid Mechanics*, 10: 133, (2014).
- [22] Abdulkadir M., Hernandez-Perez V., 'The effect of mixture velocity and droplet diameter on oil-water separator using computational fluid dynamics (CFD)', world academy of science. Engineering and technology', *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 4: 1 (2010).





POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# A cost-effective theoretical novel configuration of concentrated photovoltaic system with linear fresnel reflectors

*Uygun maliyetli lineer fresnel yansıtıcılı özgün bir yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemin teorik yapısı*

*Yazar(lar) (Author(s)): Keziban ÇALIK<sup>1</sup>, Coşkun FIRAT<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-1348-3358*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-2853-8940*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Calik K., Firat C., “A cost-effective theoretical novel configuration of concentrated photovoltaic system with linear fresnel reflectors ”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 583-589, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.523704

# A Cost-Effective Theoretical Novel Configuration of Concentrated Photovoltaic System with Linear Fresnel Reflectors

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Keziban ÇALIK, Coşkun FIRAT\***

Energy Institute, Istanbul Technical University, Maslak, 34469 Istanbul, Turkey

(Geliş/Received : 06.03.2018 ; Kabul/Accepted : 01.02.2019)

## ABSTRACT

A simple yet newly-configured theoretical concentrated photovoltaic system integrated with linear Fresnel reflectors is discussed in this study. The concentration of solar radiation onto a comparatively smaller photovoltaic panel by using linear Fresnel reflectors yields a very high rate photovoltaic power production and a cost effective system even at locations of a relatively low-rate solar radiation region. The proposed configuration for the concentrated photovoltaic power system with linear Fresnel reflectors is novel in the literature. To examine the system as a case study, this system is assumed to be located in Istanbul, Turkey, where the average daily global solar radiation is known as low. Under the given solar radiation conditions, although no any cooling system is considered for this system, it is concluded that 153.7 kWh of average monthly obtained electrical energy in such a small system would be enough for domestic and even for small size industrial usages. When it is compared to a photovoltaic system under direct sunlight, this system costs 38.3% less for the same amount of power produced. The result would be much more remarkable when the system is sized-up.

**Keywords:** Solar radiation, concentrated solar photovoltaics, linear Fresnel reflector.

## Uygun Maaliyetli Lineer Fresnel Yansıtıcılı Özgün Bir Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistemin Teorik Yapılanışı

### ÖZ

Bu çalışmada lineer Fresnel yansıtıcılarla entegre basit fakat özgün bir konfigürasyona sahip teorik konsantre bir fotovoltaik sistem ele alınmıştır. Doğrusal Fresnel yansıtıcılar kullanılarak güneş ışınımının nispeten daha küçük bir fotovoltaik panel üzerine yoğunlaşmasıyla güneş enerjisinin nispeten düşük olduğu lokasyonlarda dahi düşük maliyetli ve çok yüksek bir fotovoltaik güç üretimi sağlanabilir. Önerilen bu doğrusal Fresnel reflektörlü konsantre fotovoltaik güç sistemi konfigürasyonu literatürde yenidir. Sistemi bir örnek olay ile incelemek amacıyla bu sistemin günlük ortalama güneş ışınımının düşük olarak bilindiği İstanbul'da olduğu varsayılmaktadır. Verilen güneş radyasyonu koşulları altında, bu sistem için herhangi bir soğutma sistemi gözönüne alınmadığı halde, böylesi küçük bir sistemde aylık ortalama 153,7 kWh elektrik enerjisinin evsel ve hatta küçük boyutlu endüstriyel kullanımlar için yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Doğrudan güneş ışığı altındaki bir fotovoltaik sistem ile karşılaştırıldığında bu sistemin, üretilen aynı miktardaki güç için % 38,3 daha az maliyeti olduğu görülmektedir. Bu sistemden elde edilecek sonuçlar, sistem daha büyük boyutlarda düşünüldüğünde çok daha dikkat çekici olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş radyasyonu, yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler, doğrusal Fresnel yansıtıcılar

### 1. INTRODUCTION

Because of the shortage of the fossil fuels, the renewable energy sources are being more attractive day after day. The origin of the most of the renewable energy sources is the Sun. Solar energy can be used directly or indirectly, for heating, cooling, lighting, drying and generating electricity. One of the most common ways of obtaining electrical energy from the sun is the photovoltaic (PV) power generation. However, the PV power still cannot compete with traditionally produced power because of high production and installation prices. Besides, nowadays the availability of silicon material is being a

concern. Therefore, many solar companies are reducing their dependence on silicon [1-4].

On the other hand, the concentrated sunlight significantly reduces the usage of PV material. The use of PV under concentrated sunlight is called as concentration photovoltaics (CPV). The key idea behind CPV is to replace the area of active material, which currently is the most expensive, with optic elements that can be manufactured cheaper. At large concentrations, the cell size is reduced considerably (i.e. 500 – 1000 times as compared to one sun modules), allowing a cost distribution scheme different from traditional photovoltaics [5-7]. This technology is usually classified according to its concentration ratio, number of times that

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : coskun.firat@itu.edu.tr

the sunlight is concentrated, as low (<10 suns), medium (10-100 suns), high (100-2000 suns), and ultra-high (>2000 suns) [8].

Concentrator systems can be also classified as a function of the strategy used for concentrating sunrays. They can be refractive, using lenses, or reflective, using mirrors. Moreover, if sunrays are concentrated onto a point, those systems are called point-focus, and if sunrays are concentrated onto a line, they are called line-focus [9]. Basically, there are two types of solar collectors, non-concentrating or stationary, and concentrating. Concentrating solar collector usually has concave reflecting surfaces to intercept and focus the sun’s beam radiation to a smaller receiving area. The high temperature concentrating solar thermal systems, like parabolic trough and linear Fresnel, requires large open area and the system engineering is very complex. These systems are used for power generation using high pressure steam. The temperature is around 400 oC [10]. The Linear Fresnel Collector is a line focusing concentrating collector suitable for solar thermal power generation and production of process heat [11]. Linear Fresnel reflectors had a late development compared to the other technologies [12]. Linear Fresnel collector arrays present some relevant advantages in the domain of concentrating solar power because of their simplicity, robustness and low capital cost [13].

Photovoltaic cell production technology has been greatly improved and the PV efficiencies consequently increased. Si-based solar cells with back point contact [14] reached an efficiency record of 27.6%, and some manufacturers used this type of solar cells under more than 400 X-concentrations [15].

The use of compound III–V semiconductors brings the development of multi-junction solar cells: two or more p–n junctions are monolithically integrated into a single device. The utilization of these cells allows a better usage of the solar spectrum as each one of the junctions is optimized to capture the radiation of a different part of the spectrum. Based on the spectral response, the theoretical limit efficiency of silicon cells is 31%, whereas multi-junction cells could reach 86% [16]. Current records for laboratory-multi-junction cell are 46% from Soitec, 45.7% from NREL, 44.4% from Sharp, and 43.4% from Fraunhofer-ISE [17].

In this study, a concentrated photovoltaic system integrated with linear Fresnel reflectors (LFR) is considered. The idea of concentrating the solar radiation onto a PV panel by using a LFR system is new in the literature. Concentration of the solar radiation onto a comparatively smaller PV panel by using LFR yields a high rate photovoltaic power production and a cost effective system even at the locations of a relatively low-rate solar radiation regions. As a case study, this system is assumed to be located in Istanbul, Turkey in where the average daily global solar radiation is known to be low.

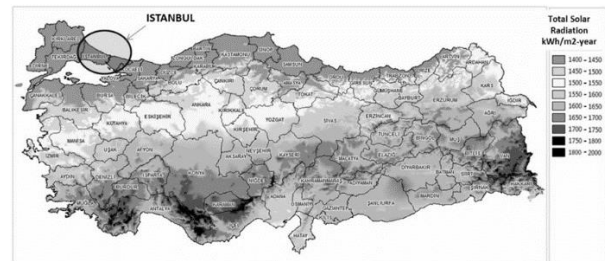
## 2. ELECTRICITY CONSUMPTION AND SOLAR ENERGY POTENTIAL IN ISTANBUL, TURKEY

In the cities in Turkey, average monthly electricity consumption per capita varies in between 47-638 kWh and the average electrical energy consumption is 199 kWh/capita in Istanbul as of 2014 [18]. There are 5,577,636 residential subscribers in Istanbul. On average, 29.71% of the total consumption in Istanbul is realized as residential usage. Thus, the average monthly residential use of electricity is 163.34 kWh per residence in Istanbul city in 2016. Monthly residential consumption is given in Table 1 [19].

**Table 1.** Monthly residential electricity consumption in Istanbul in 2016 [19].

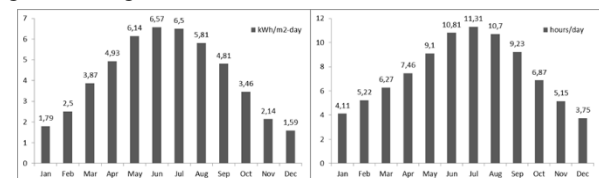
Month	Total (MWh)	Res. (%)	Residential use (MWh)	kWh per residence
Jan	3404730.30	33.24	1131732.35	202.91
Feb	3227780.56	30.89	997061.41	178.76
Mar	3138517.00	29.25	918016.22	164.59
Apr	2876791.15	29.99	862749.67	154.68
May	2798860.62	29.29	819786.28	146.98
Jun	2871255.74	28.70	824050.40	147.74
Jul	2861989.69	29.69	849724.74	152.34
Aug	3343937.46	28.54	954359.75	171.10
Sep	2646496.50	28.36	750546.41	134.56
Oct	2958911.71	27.41	811037.70	145.41
Nov	3120202.64	30.47	950725.74	170.45
Dec	3470141.66	30.63	1062904.39	190.57
Average	3059967.92	29.71	911057.92	163.34

Turkey has 7.5 hours/day of annual insolation duration and 4.18 kWh/m<sup>2</sup>-day of annual solar radiation. Turkey’s total global solar radiation is given in Fig.1 [20].



**Figure 1.** Total solar radiation on Turkey [20]

Also, the monthly average daily global solar insolation on a horizontal surface and insolation hours of Turkey is given in Fig.2.



**Figure 2.** The monthly, average daily global solar insolation and average daily insolation hours of Turkey [20].

On the other hand, it is known that the existing meteorological data is lower than the actual solar energy data of Turkey. General Directorate of Renewable Energy (EIE) and Turkish State Meteorological Service (DMI) have been taking new measurements since 1992 to determine the more accurate solar energy data. The

collected data shows that the actual solar energy radiation values are 20-25% higher than the existing data [21].

Istanbul city of Turkey is located between latitude 41.0082°N and the longitude 28.9784°E by having comparatively low solar radiation and insolation hours given in Fig.3.

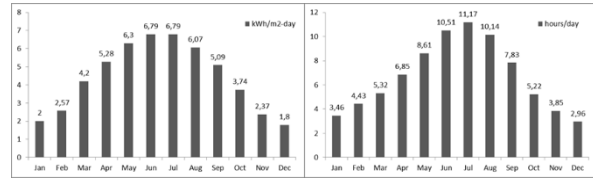


Figure 3. The monthly, average daily global solar insolation and average daily insolation hours in Istanbul [20]

### 3. A PV SYSTEM INTEGRATED WITH LINEAR FRESNEL REFLECTORS

A linear Fresnel reflector system consists of mostly flat mirrors. These mirrors form a parabola-like shape to reflect the incoming solar radiation onto a receiver which is placed at the focal point of the mirror system. A typical LFR system is shown in the Fig.4. In the system, the mirror tracks the sun to reflect the Sunlight onto an elevated boiler tube system (thermal receiver) to produce steam without the costs and pollution of fossil-fired boilers.

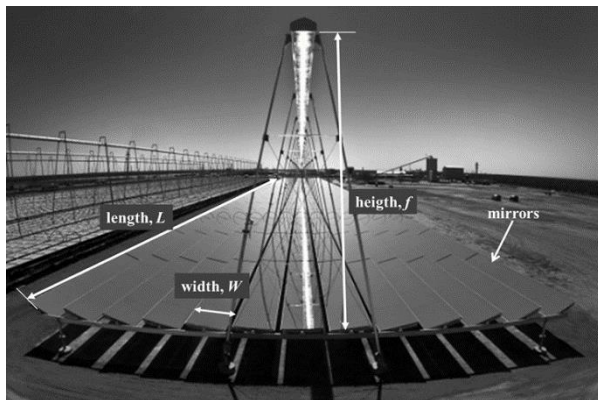


Figure 4. Areva Power's concentrated solar power [22]

In this study, thermal receiver of the LFR system is replaced by a PV panel. In the LFR system considered, there are 10 mirrors in total, as 5 mirrors on each side. In a LFR system, tracking is not an easy job, it does not supply a perfect reflection [23]. In this study, all the calculations are done by considering the solar radiation on the representative day of the month and at solar noon. However, to correct this assumption, average daily solar radiation value is taken into account. Hence, the solar radiation is assumed having the same value at every sun shining hours in a day. The technical specifications of the LFR system are given in Table 2.

Table 2. Technical properties of the LFR system

Property	Value
#of Mirrors, <i>N</i>	10
Mirror Length, <i>L</i>	3 m
Mirror Width, <i>W</i>	0.3 m
Receiver Height, <i>f</i>	3.31 m
Reflectivity of mirrors in full spectrum, $\rho$	98%

A very high efficient PV panel with 24.2% efficiency is considered as the receiver of the system [24-26]. However, for the sake of being conservative in the calculations, the efficiency of the panel is taken as 19.6%. Under standard test conditions (STC) of AM1.5, 1000 W/m<sup>2</sup> at 25°C of ambient temperature, the specifications of the PV panel are given in Table 3.

Table 3. Technical properties of the PV panel.

Property	Value
Length	3 m
Width	0.3 m
Efficiency, $\eta_{nom}$	19.6%
Open circuit voltage, $V_{oc}$	68.2 V
Short circuit current, $I_{sc}$	6.39 A
Power @ max. power point, $P_M^{STC}$	345 W
Power temperature coefficient, $\beta$	-0.29 %/°C

Solar power on a collector-mirror is given as [27];

$$P_{col} = I_b \cdot W \cdot L \cdot \sum_{i=0}^N \cos(\theta_i) \quad (1)$$

Where  $I_b$  is the direct normal irradiance (DNI) (W/m<sup>2</sup>),  $L$  is the length of the mirror (m),  $W$  is the width of the mirror (m),  $N$  is the number of mirrors in the system and  $\theta_i$  is the tilt angle of the  $i^{th}$  mirror.  $i=0$  refers the first mirror (if there is any, otherwise refers the central point of the mirror system) in the centre of the system incident and reflected rays are as sketched in Fig.5.

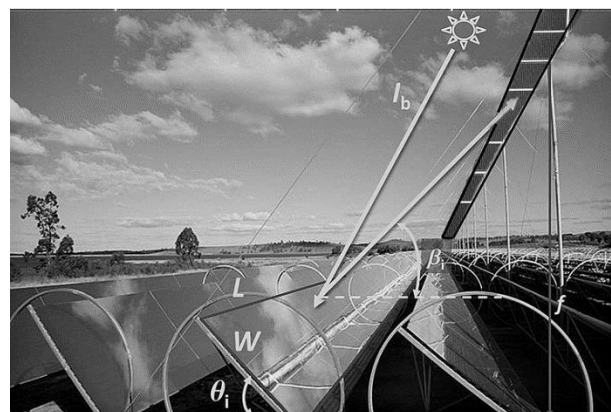


Figure 5. Incident and reflected rays on/from mirrors [22].

For the calculations, all of the geometrical parameters involved are given as in the Fig. 6 [28].

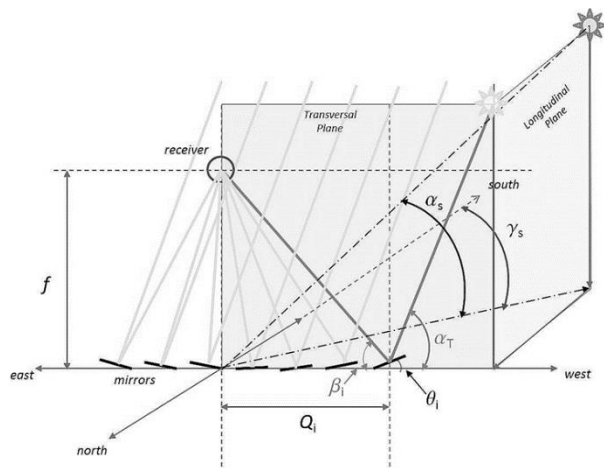


Figure 6. Geometrical structure of an LFR system.

Angles related to tilt angle of a mirror at right and left hand sides are shown in figures 7a and 7b respectively.

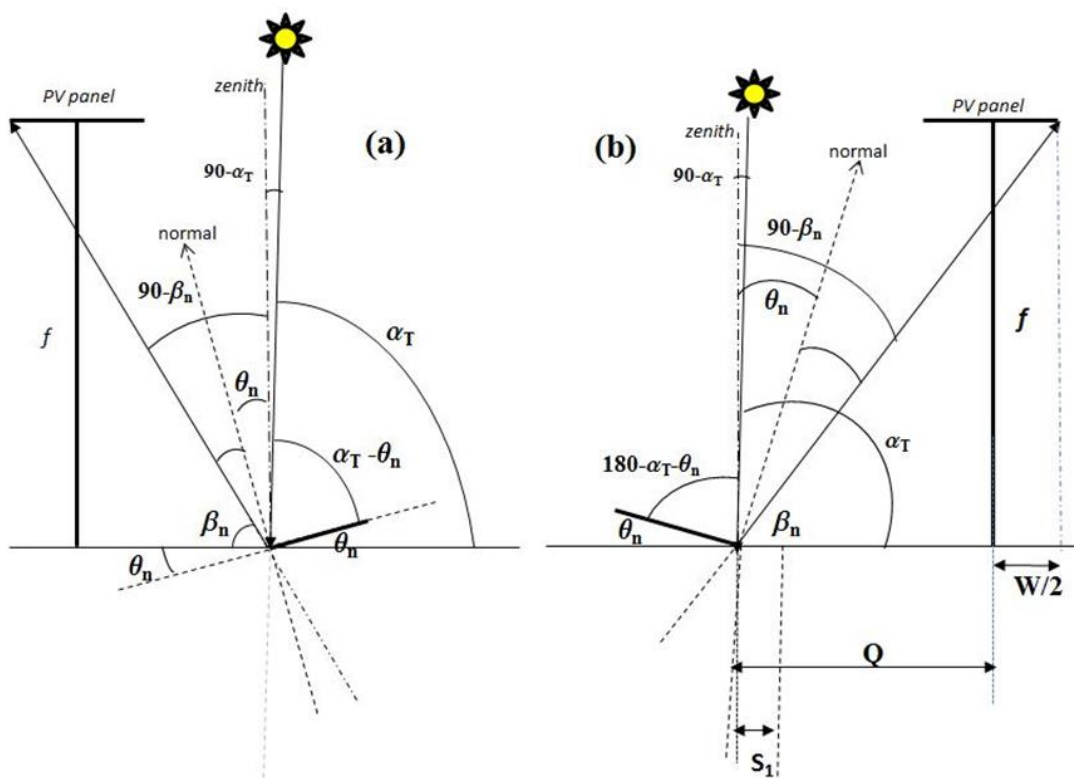


Figure 7. Angles related to tilt angle of the mirrors at (a) right and (b) left hand side of the LFR system.

The tilt angle of the  $i^{th}$  mirror at right hand side is defined as [27]:

$$\theta_i = \frac{\alpha_T - \beta_i}{2} \tag{2}$$

where the transversal solar altitude angle  $\alpha_T$  and the angle  $\beta_i$  are defined as;

$$\alpha_T = \arctan(\tan(\alpha_s) / \sin \gamma_s) \tag{3}$$

$$\beta_i = \arctan(f / Q_i) \tag{4}$$

The angles  $\alpha_s$  and  $\gamma_s$  refer the solar altitude and solar azimuth angles respectively, and  $Q_i$  is the distance of the  $i^{th}$  mirror from the center of the LFR system.

The distance of the mirror is calculated with the following formulas [29];

$$S_i = \frac{\left( Q_{i-1} + W \cos \theta_{i-1} + \frac{W}{2} \right) W \sin \theta_{i-1}}{f - W \sin \theta_{i-1}} \tag{5}$$

$$Q_i = Q_{i-1} + W \cos \theta_{i-1} + S_i \tag{6}$$

where,  $S_i$  is the gap between adjacent mirrors.

The tilt angle of the  $i^{th}$  mirror at the left hand side is obtained as;

$$\theta_i = 90 - \frac{\alpha_T + \beta_i}{2} \tag{7}$$

The calculation starts with the following initial values of  $S_1 = 0$ ,  $\theta_0 = 0$ ,

$Q_0 = Q_1 = W/2 + f \tan \xi_0$ .  $\xi_0 = 16'$  is the angular radius of the Sun disk.

In the calculation of solar energy collected by the mirror system and then reflected onto a PV panel,

the solar angles on the representative day of each month in the given location at solar noon is assumed as the same in other days of the month and solar global radiation and insolation hour as monthly average daily values. Besides, it is assumed that, DNI is  $\gamma = 90\%$  of the global solar radiation during the insolation hours. Also, since the PV receiver facing to the ground, the contribution from diffuse radiation can easily be neglected. Therefore, in the

The effective collector area which is smaller than the real area of collectors  $S_{col}^r = N.W.L$  is defined in terms of tilt angle  $\theta_i$  as;

$$S_{col}^e = W.L. \sum_{i=0}^N \cos(\theta_i) \tag{9}$$

Monthly average daily solar data on Istanbul is obtained as in Table 4.

**Table 4.** Monthly average daily solar data on Istanbul.

Month	representative day of the month	Av. Wind speed (m/s)	Global radiation (W/m <sup>2</sup> -d)	Sunshine duration (hours)	Av. instant global radiation (W/m <sup>2</sup> )	Av. DNI (W/m <sup>2</sup> )	Solar azimuth angle (degree)	Solar altitude Angle (degree)
January	17	4.81	2000	3.46	578.03	520.23	179.91	28.36
February	16	4.81	2570	4.43	580.14	522.12	179.92	36.82
March	16	4.36	4200	5.32	789.47	710.53	179.71	47.42
April	15	4.03	5280	6.85	770.80	693.72	179.90	58.90
May	15	3.97	6300	8.61	731.71	658.54	179.65	67.95
June	11	4.28	6790	10.51	646.05	581.45	179.34	72.10
July	17	4.78	6790	11.17	607.88	547.09	179.74	70.11
August	16	4.78	6070	10.14	598.62	538.76	179.76	62.60
September	15	4.92	5090	7.83	650.06	585.06	179.84	51.87
October	15	4.36	3740	5.22	716.48	644.83	179.70	40.35
November	14	4.25	2370	3.85	615.58	554.03	179.83	30.69
December	10	4.83	1800	2.96	608.11	547.30	179.73	26.08

calculation, only the direct radiation can be taken into account.

When sunlight is concentrated onto PV panel, then the instant PV temperature,  $T_{pv}$  rises as it can be calculated by the following equation [30];  $C(1 - \eta_{nom})E_{ar}\mu_i = h(T_{pv} - T_a) + 2\sigma(T_{pv}^4 - T_a^4)$  (8)

where  $C = S_{col}/S_{pv}$  is geometric concentration ratio ( $S_{col}$  and  $S_{pv}$  are the collector and PV area respectively),  $\eta_{nom}$  is the nominal efficiency of PV panel,  $E_{ar}$  is the average reflected power density by each of the mirror,  $E_{pv} = C.E_{ar} = (P_{col}/S_{col}^e)\gamma$  is power density on PV panel in W/m<sup>2</sup>,  $\mu_i$  is the portion of total solar spectrum (45 % visible light, 9% UV and 46% IR),  $h$  is the convective heat transfer coefficient of the process ( $\approx 2.8 + 3v$  W/m<sup>2</sup>K for air,  $v$  is the average wind speed),  $T_{pv}$  is the temperature of PV panel at  $E_{pv}$ ,  $T_a$  is ambient temperature in K (assumed 298.15 K) and  $\sigma$  is Stefan-Boltzmann constant which is  $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.

The power output of the PV panel at maximum point for a given power density  $E_{pv}$  and temperature  $T_{pv}$  is [30] calculated through following equation as,

$$P_{out} = P_M^{STC} \frac{E_{pv}}{1000} [1 + \beta(T_{pv} - 25)] \tag{10}$$

The elevated PV temperature clearly reduces the power output thus the efficiency of PV which is obtained by following expression;

$$\eta_{pv} = \frac{P_{out}}{E_{pv} \cdot A_{pv}} \tag{11}$$

The monthly total produced electrical energy by the LFR-PV system can be calculated as;

$$E_{\Sigma} = h_s D_n P_{LFR} \tag{12}$$

where  $h_s$  is the sunshine duration hours per day and  $D_n$  is the numbers of the day and  $P_{LFR}$  is the instant power output of LFR-PV concentrating system in regarding month.

$E_{pv}$  is the instant power density on PV panel,  $T_{pv}$  is the PV temperature at the power density of  $E_{pv}$ ,  $P_{DNI}$  is the instant power output of the PV panel under

DNI ,  $\eta_{pv}$  is the LFR-PV system efficiency and  $E_{\Sigma}$  is the monthly total produced electrical energy by the LFR-PV system. The values of each property are calculated as above and given in Table 5.

conditions, although no any cooling system is considered for the system, the concluding 153.7 kWh of average monthly obtained electrical energy in such a small system would be enough for domestic and even for small-size commercial usages. Without a cooling system, PV

**Table 5.** Performance of LFR-PV system.

Month	$E_{pv}$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_{pv}$ (°C)	$P_{DNI}$ (W)	$P_{LFR}$ (W)	$\eta_{pv}$ (%)	$E_{\Sigma}$ (Wh/month)
January	5313.99	137.6	104.1	760.5	15.9	81572.3
February	5314.03	137.6	104.5	760.5	15.9	94334.9
March	5313.93	140.8	142.2	750.1	15.7	123700.0
April	5314.06	143.2	138.9	742.2	15.5	152512.0
May	5314.01	143.7	131.8	740.7	15.5	197692.0
June	5313.96	141.4	116.4	748.2	15.6	235895.0
July	5314.04	137.8	109.5	759.8	15.9	263106.0
August	5314.02	137.8	107.9	759.8	15.9	238845.0
September	5314.02	136.9	117.1	763.0	16.0	179231.0
October	5313.87	140.8	129.1	750.1	15.7	121373.0
November	5313.92	141.6	110.9	747.4	15.6	86329.3
December	5313.72	137.5	109.6	760.9	15.9	69822.9
<b>Average</b>	<b>5313.96</b>	<b>139.7</b>	<b>118.5</b>	<b>753.6</b>	<b>15.8</b>	<b>153700.0</b>

Under concentrated solar radiation, the average LFR-PV power output is 753.6 W. This would be 118.5 W under the DNI. Therefore, to produce the same amount of energy under DNI, 5.7 m<sup>2</sup> of PV panel should be used.

Compared to other technologies, the investment costs per square meter of collector field using LFR technology tend to be lower because of the simpler solar field construction. The Fresnel design uses less expensive reflector materials and absorber components. It has the lower optical performance and thermal output, but this is offset by lower investment and operating & maintenance costs. Linear Fresnel Reflectors (LFR) CSP technology is the most economical (flat mirrors) and the most adaptable (flexible production parameters) of all solar technologies [31]. Cost data for the LFR-PV system components is presented in Table 6. For the cost calculations the current rate is taken as 1€=1.136US\$ (22/04/2017).

temperature in proposed concentrating system reaches up to 140 oC which is much higher than optimal working temperature of a PV panel. As it is very well known that the efficiency of PV panels drops drastically parallel to the elevated PV temperatures. Hence, considering a LFR-PV system with a cooling system would not only increase the PV power generation, but also make the overall system efficiency increased due to the additional thermal energy system via cooling system. When compared with a photovoltaic system under direct sunlight, the power generated by proposed LFR-PV system would be about 7 times higher which is averagely 753.6 W in the case study and would cost 38.3% less with the same amount of power generated by a PV system under the DNI. The result would be much more remarkable when the system is sized-up. Therefore, since this type of system is more affordable than a conventional photovoltaic system, it can be considered as an alternative power supply in convenient areas.

**Table 6.** Cost data [32, 33].

Component	Unit Price	Area (m <sup>2</sup> )	Average P <sub>out</sub> (W)	Total Price (USD)
PV (high efficient, mono-Si)	622 USD/m <sup>2</sup>	5.70	753.6	3560
LFR (complete system)	160 €/ m <sup>2</sup>	9.01	-	1638
PV for LFR system	622 USD/m <sup>2</sup>	0.90	753.6	560
LFR+PV	-	-	-	2198

**4. CONCLUSION**

In this study, a PV system with linear Fresnel reflectors is introduced as a novel configuration of CPV and its performance is obtained under solar conditions of Istanbul city of Turkey. Under the given solar radiation

**REFERENCES**

[1] Deambi S., “Solar PV power – a global perspective”, The Energy and Resources Institute (TERI), ISBN-13: 978-8179933893 (2010).

- [2] Binetti S., Acciarri M., Le Donne A., Morgano M., and Jestin Y., Key Success Factors and Future Perspective of Silicon-Based Solar Cells, *Int. J of Photoenergy*, V: 2013, 249502 (6 pages) (2013).
- [3] Kumar M.S., Charanadhar N., Srikanth V.V.S.S., Rao K.B.S., and Raj B., Materials in harnessing solar power, *Bull. Mater. Sci.* 41(62): 1-19, (2018).
- [4] IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi (2018).
- [5] Sayigh A. (Ed. in chief), “*Comprehensive Renewable Energy: 1.36 - Concentration Photovoltaics*”, Elsevier Ltd, Atlanta, GA (2012).
- [6] Hasana A., Sarwarb J., Shah A.H., Concentrated photovoltaic: A review of thermal aspects, challenges and opportunities, *Ren. and Sust. Energy Rev.*, 94: 835-852, (2018).
- [7] Ceylan I., Gürel A.E., Ergün A., Tabak A., Performance analysis of a concentrated photovoltaic and thermal system, *Solar Energy*, 129: 217–223, (2016).
- [8] Perez-Higueras P., Fernandez E.F., “*High Concentrator Photovoltaics: Fundamentals, Engineering and Power Plants*”, Springer, (2015).
- [9] Editor: Soteris A. Kalogirou, “*McEvoy's Handbook of Photovoltaics (Third Edition) Fundamentals and Applications*”, Academic Press, (2018).
- [10] Gouthamraj K., Jamuna Rani K., Satyanarayana G., Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator, *Int. J of Eng. and Innovative Tech.*, 2(11): 66-69, (2013).
- [11] Heimsath A., Cuevas F., Hofer A, Nitz P., Platzer W. J., Linear Fresnel Collector Receiver: Heat Loss and Temperatures, *Energy Procedia*, 49: 386-397 ,(2014).
- [12] Abbas R., Muñoz-Antón J., Valdés M., Martínez-Val J.M., High concentration linear Fresnel reflectors, *Energy Conv. and Man.*, 72: 60-68, (2013).
- [13] Montes M.J., Rubbia C, Abbas R., Martínez-Valc J.M., A comparative analysis of configurations of linear Fresnel collectors for concentrating solar power, *Energy*, 73: 192-203, (2014).
- [14] Swanson RM, Beckwith S, Crane R, et al., Point-contact silicon solar cells, *IEEE Transactions on Electron Devices* 31, 661, (1984).
- [15] Salas V., National Survey Report of PV Power Applications in Spain 2008, IEA Co-operative Programme on Photovoltaic Power Systems, Universidad Carlos III de Madrid (2009).
- [16] Emery K, Meusel M, Beckert R, et al., Procedures for evaluating multi-junction concentrators, *Proceedings of the 28th IEEE PV Specialists Conference*, 1126–1130. Anchorage, AK: IEE EDS (2000).
- [17] Green M, Emery D, Hishikawa Y, Warta W. and Dunlop E.A., Solar cell efficiency tables (version 48), *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 24(7): 905–913, (2016).
- [18] Energy by cities, [www.eie.gov.tr/il\\_enerji.aspx](http://www.eie.gov.tr/il_enerji.aspx), (accessed 26/04/2017).
- [19] Monthly Sector Reports, Turkish Energy Market Regulation Organization, Jan-Dec 2016, Ankara, Turkey.
- [20] Solar Energy Potential Atlas in Turkey. [www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx](http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx), (accessed 26/04/2017).
- [21] Republic of Turkey Prime Ministry Investment Support and Promotion Agency Report, Solar Energy in Turkey, [www.assolombarda.it/fs/2009716154128\\_78.pdf](http://www.assolombarda.it/fs/2009716154128_78.pdf), (accessed 02/10/2018).
- [22] Areva Power's concentrated solar power, <http://helioscsp.com/reliance-powers-concentrated-solar-power-csp-plant-to-be-commissioned-on-october/>, (accessed 02/10/2018).
- [23] Mathur S.S., Kandpal T.C. and Negi B.S., Optical Design and Concentration Characteristics of Linear Fresnel Reflector Solar Concentrators-II. Mirror Elements of Equal Width, *Energy Convers. Mgmt.*, 31(3): 221-232, (1991).
- [24] Sunpower X-Series Solar Panels, <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x21-series-335-345-residential-solar-panels.pdf> (accessed 02/10/2018).
- [25] Mulligan W. P., Rose D. H., Cudzinovic M. J., De Ceuster D. M., McIntosh K. R., Smith D. D., and Swanson R. M., Manufacture of Solar Cells with 21% Efficiency, <http://tayloredge.com>, (accessed 26/04/2017).
- [26] Green M, Emery D, Hishikawa Y, and Warta W., Solar cell efficiency tables (version 37), *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 19:84–92, (2011).
- [27] Günther M., “*Advanced CSP Teaching Materials: Chapter 6 Linear Fresnel Technology*”, EnerMENA, DLR, <http://www.energy-science.org/bibliotheque/cours/1361468614Chapter%2006%20Fresnel.pdf>, (accessed 02/10/2018).
- [28] Calik K. and Firat C., Optical Performance Investigation of a CLFR for the purpose of utilizing solar energy in Turkey, *Int. J. of Energy App. and Tech.*, 3(2): 21-26, (2016).
- [29] Mathur S.S., Kandpal T.C. and Negi B.S., Optical Design and Concentration Characteristics of Linear Fresnel Reflector Solar Concentrators-I. Mirror Elements of Varying Width, *Energy Convers. Mgmt.*, 31(3): 205-219, (1991).
- [30] Firat C., Beyene A., Comparison of direct and indirect PV power output using filters, lens, and fiber transport, *Energy*, 41(1): 271-77, (2012).
- [31] Linear Fresnel Reflector, [www.estelasolar.org](http://www.estelasolar.org), (accessed 26/04/2017).
- [32] What is the price cost for a Sunpower solar panel system? [www.freecleansolar.com](http://www.freecleansolar.com), (accessed 26/04/2017).
- [33] Benmarraze S., Linear Fresnel Reflectors Concentrated Solar Power: cost reduction and performance improvement trends, Solar EUROMED, IRENA Workshop, March 23rd (2015).





POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Evaluation of the physical properties of hazelnut shell dust-added brake pad samples treated with cryogenic process

*Yazar(lar) (Author(s)):* Gülşah AKINCIOĞLU<sup>1</sup> , Sıtkı AKINCIOĞLU<sup>2</sup> , Hasan ÖKTEM<sup>3</sup> , İlyas UYGUR<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-4768-4935

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-4073-4837

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0003-2526-8364

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0002-8744-5082

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Akıncioğlu G., Akıncioğlu S., Öktem H., Uygur İ., “Evaluation of the physical properties of hazelnut shell dust-added brake pad samples treated with cryogenic process”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 591-596, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.432033

# Evaluation of The Physical Properties of Hazelnut Shell Dust-Added Brake Pad Samples Treated With Cryogenic Process

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Gülşah AKINCIOĞLU<sup>1</sup>, Sıtkı AKINCIOĞLU<sup>2</sup>, Hasan ÖKTEM<sup>3</sup>, İlyas UYGUR<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Gümüşova Vocational School, Department of Machine and Metal Technologies, Duzce University, Duzce, Turkey

<sup>2</sup> Gümüşova Vocational School, Department of Machine and Metal Technologies, Duzce University, Duzce, Turkey

<sup>3</sup> Hereke Vocational School, Department of Machine and Metal Technologies, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

<sup>4</sup> Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Duzce University, Duzce, Turkey

(Received : 08.03.2018 ; Accepted : 14.05.2018)

## ABSTRACT

After understanding that asbestos fibers are harmful to human health; researchers have investigated for alternative and eco-friendly materials. Agricultural products can be an example of these alternative and environmentally friendly materials because they are easily supplied. Thus, in this study, asbestos-free automotive brake pads produced from %7 hazelnut dusts with other seventeen additives. Hazelnut shell is preferred because it is widespread in our country. Cryogenic process applied at -80°C to the brake pads. Before and after cryogenic treatment, the produced brake pads properties such as water absorption, hardness test, porosity and microstructural examinations were investigated. The hardness values of brake pads increases after cryogenic and cyclic-cryogenic process. The highest values obtained for the B-CYC sample.

**Keywords:** Brake pads, hazelnut shell dust, cryogenic treatment, hardness.

## 1. INTRODUCTION

Brake pads are one of important parts of braking system for all types of vehicles that are equipped with disc brake. Brake pads are steel backing plates with friction material bound to the surface facing the brake disc [1]. Friction materials used in automotive brake linings are commonly composed of more than 10 components [2, 3]. Recent decades put emphasis on new requirements connected with newly developed engineering materials focused on their eco-friendliness. This eco-friendly tendency has found its way to the friction composites industry as well [4]. Because of the brake pads commonly used as friction composites in the automotive industry, eco-friendliness has increased the importance. Researchers have begun to experiment with natural additives such as hazelnut, walnut, boron etc. Amaren et al. used periwinkles shells for the brake pads. Their researches indicate that periwinkle shell particle can be used effectively as a replacement for asbestos in brake pad production [5]. Idris et al. worked non-asbestos brake pad with banana peels. They use banana peels to replaced asbestos and resin as a binder. They found that the brake pads can be produced with additive banana peels particles [6]. Bahari et al. investigated the effects of the rice husk dust in the brake pads [7]. They dried and milled the rice husk to powder and then they produced brake pads examples. They compare the hardness of samples with that of the commercial brake pads. The presence of rice husk as an organic filler has only affected the good hardness properties in the brake pad formulation. Ikbambese et al. [8] in their study produced asbestos-free automotive brake pads from palm kernel fibers and they evaluated

the effects of the palm kernels as the binder. The results show that palm kernel fiber can be suitable replacement to asbestos for brake pad production. Sisal fiber is a kind of plant fiber with cellulose structure. Xin et al. [9] used it for the first time as a reinforce resin and compare with the commercial brake pads. They found that sisal fiber has the potential to be an ideal substitute fiber of asbestos for brake composites. Ma et al. used Bamboo fibers in their paper as the reinforced resin and they found that bamboo fiber has the positive effects on the friction performance of the brake pads [10]. Matejka et al. research the effects of the jute fibers and powdered hazelnut shells as natural fillers in non-asbestos organic non-metallic friction composites. They prepared two groups of samples: the first group contains jute fibers and graphite; the second one contains jute fiber and hazelnut shells. The samples with hazelnut and jute fibers showed the acceptable stability of friction coefficient [11]. Dadkar et al., Mohanty et al. evaluated that fly ash-filled, and aramid fiber reinforced hybrid polymer matrix composites (PMC) for friction braking applications. They have successfully incorporated fly ash into phenolic matrix and fabricated the composites with a small amount of aramid fibers to enhance the perform strength. In addition, the researchers said that stable friction coefficient has been obtained in the composite by using highest flyash dust [12, 13]. Fu et al. [14] developed in their study eco-friendly brake friction composites containing flax fibers. They found that the role of flax fibers in the composites is to stabilize the friction coefficient and to improve the wear rate at high temperature.

In this study, hazelnut shell dusts were studied which is widely produced in Turkey. Brake pads were produced

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : gulsahakincioglu@gmail.com

with hazelnut shell and other dusts. The produced brake pads were compared with the original commercial brake pads. The brake pads were subject to cryogenic treatment at  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 24 h and 6 h cryogenic treatment, 6 h room temperature holding and again 6 h cryogenic treatment for 4 times called cyclic-cryogenic treatment. The effects of these treatments on the hardness, water soaking, the weight change and microstructural examinations of the brake pads were investigated.

## 2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

### 2.1. Materials/equipment

In addition to hazelnut shell powder, 17 different powder materials were used in the production of the brake pads. The hazelnut shell dust is shown in Figure 1. The brake pads were manufactured using the hot-pressing method. A Shore D type device was used for hardness measurement. Water and oil absorption ratios were measured with precision scales. The surface images of the brake pads were examined with an optical microscope.



Figure 1. Hazelnut shell dust

### 2.2. Method

In this study, 17 common dusts and hazelnut dust were used to produce the organic brake pad samples. Hazelnut shells were milled to form the dust for the production of the brake pads. The sieved size of the hazelnut dust was  $250\text{-}400\text{ }\mu\text{m}$ . This dust was homogeneously mixed with the other ingredients (Table 1) using a mechanical mixer for a period of 20 min. The friction material and the mixer are shown in Figures 2.

Table 1. Common brake pad compositions

No.	Friction Materials	Compositi on (wt. %)	Grain Size ( $\mu\text{m}$ )
1	Steel fiber	15-20	125
2	Rock wool	3-6	6-10
3	Kevlar pulp	0.5-2	12
4	Graphite	5-7	45
5	Phenolic resin	6-8	63
6	Vermiculite	6-8	500
7	Brass	4-6	50-100
8	Calcium hydroxide	7-9	40
9	Zirconium Silicate	3-5	10
10	Metal sulfide	0.5-1	45
11	Iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	1-3	0.2
12	Rubber scrap	4-6	50
13	Baryte	6-8	55
14	Rubber (NBR)	2-4	50
15	Petroleum coke	3-5	125
16	Chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ )	4-7	50
17	Mica+silica	4-5	50-100
18	Hazelnut shell dust	7	250-400



Figure 2. Mixer used for friction dust and friction dust

The production of the brake pads consisted of a series of unit operations including mixing, cold- and hot-pressing, cooling, post-curing and finishing. The brake pad mixtures prepared in the appropriate proportions were hot-pressed in metal molds at a temperature of  $180 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  and pressure of  $9.806\text{ N/mm}^2$  for 6 min. After the pressing process, the brake pads were unmolded and held in an electric furnace with circulating air at temperatures of  $300\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 10 h. After post-curing, the brake pads were finished using a polisher-grinder with various sizes of grinding paper to obtain the final products. The

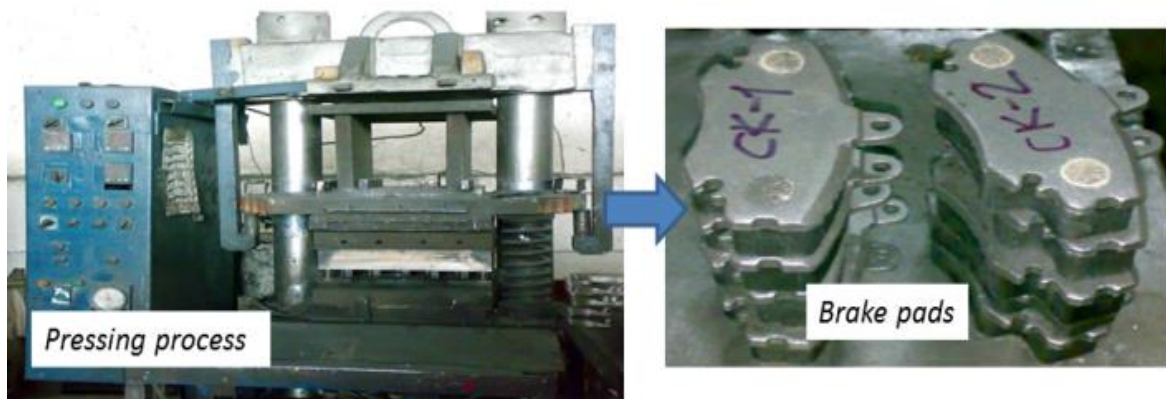


Figure 3. Pressing process and produced brake pads

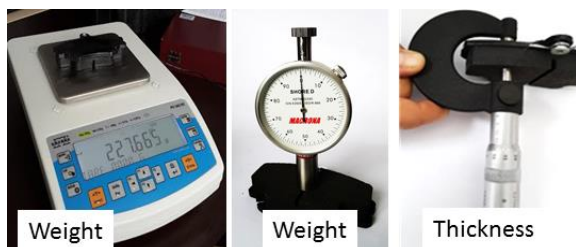
volume of the mixture before hot-pressing (weight = 120 g; thickness = 48 mm) was three times less after the procedure (thickness = 16 mm). The production of the brake pads is shown in Figure 3. The brake pads were separated into two main groups: brake pads with hazelnut

shell dust and commercial brake pads. The codes assigned to the brake pads are given in Table 2.

**Table 2.** Codes for the brake pad treatments

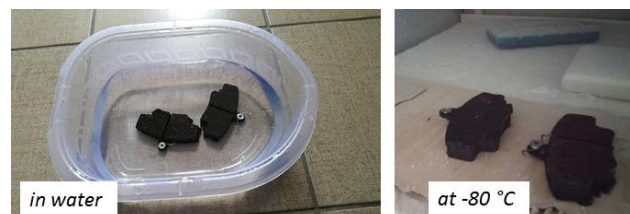
Description	Code	Treatment
Brake pads with hazelnut shell dust	B	Brake pads with hazelnut dust
	B-W	Brake pad with hazelnut dust, soaked in water 24 h
	B-C	Brake pad with hazelnut dust, cryogenic treatment 24 h
	B-C-W	Brake pad with hazelnut dust, cryogenic treatment 24 h, soaked in water 24 h
	B-CYC	Brake pad with hazelnut dust, cyclic-cryogenic treatment 6 h × 4
	B-CYC-W	Brake pad with hazelnut dust, cyclic-cryogenic treatment 6 h × 4, soaked in water 24 h
Commercial brake pads	C	Commercial brake pads
	C-W	Commercial brake pad, soaked in water 24 h
	C-C	Commercial brake pad, cryogenic treatment 24 h
	C-C-W	Commercial brake pad, cryogenic treatment 24 h, soaked in water 24 h
	C-CYC	Commercial brake pad, cyclic-cryogenic treatment 6 h × 4
	C-CYC-W	Commercial brake pad, cyclic-cryogenic treatment 6 h × 4, soaked in water 24 h

The weight, hardness and thickness of all samples were measured before and after the processes, as shown in Figure 4.



**Figure 4.** Measurement of the brake pads

Samples B-W and C-W were immersed in water, as shown in Figure 5. The B and C brake pads were both subjected to cryogenic treatments at -80 °C for 24 h and to cyclic-cryogenic treatment for 6 h × 4, as shown in Figure 5.



**Figure 5.** Brake pad samples B-W and C-W in water and Brake pads at -80 °C

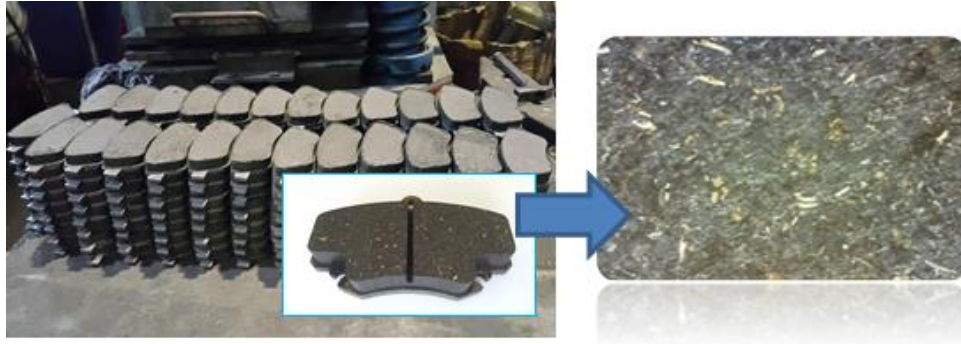
The cyclic-cryogenic process was applied to the B-CYC and C-CYC brake pad samples. They were held at -80 °C for 6 h and then kept at room temperatures for 18 h. This operation was repeated over four days. After the cryogenic treatments, the brake pads were immersed in water for 24 h.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Microstructural evaluation of brake pads

The brake pads developed in this study were composed of fillers, binders, reinforcement material, friction modifiers and abrasives. The matrix of the brake pads included rock wool, vermiculite, rubber scrap, baryte, calcium hydroxide, mica, phenolic resin and rubber. It can be seen in Figure 6 that the friction dust was distributed homogeneously within the matrix of the brake pads. The gray regions are the matrix (fillers and binders), the bright, needle-like portions are

reinforcement (steel fiber) and the remaining material consists of friction modifiers and abrasives.



**Figure 6.** Distribution of friction dust in the brake pads

Microstructure images of the brake pad samples produced with hazelnut shell and the commercial pads after soaking in water are shown in Figures 7 and 8. In both figures, similar microstructural features can be seen.

No porosity or obvious defects were observed in any of the samples. However, more coarse hazelnut dust can be seen these pictures.



**Figure 7.** Microstructure of hazelnut dust brake pads: (a) B-W, (b) B-C-W, (c) B-CYC-W



**Figure 8.** Microstructure of commercial brake pads: (a) C-W, (b) C-C-W, (c) C-CYC-W

### 3.2. Hardness measurement and dimensional changes

The hardness values and weight changes of the brake pads are shown in Table 3. The table suggests that both sample values are almost identical. In all cases, the hardness values were slightly decreased after immersion in water at room temperature for 24 h. However, cryogenic treatment resulted in an increase in the hardness values for both samples. Moreover, a further slight increase in hardness values can be seen with the cyclic-cryogenic treatment. A similar trend was also observed in the weight changes of the samples. The weight gain for B-W was 7 mg. After the single 24 h cryogenic treatment, the weight gain decreased to 3 mg

and to 1mg after the cyclic-cryogenic treatment. The trend was nearly the same for the commercial reference pads as well. It is clear that both single cryogenic and cyclic-cryogenic treatment slightly improved the hardness values and enabled less water absorption. In the study of Akincioglu et al.[15], brake pads produced with 3.5% added hazelnut dust were immersed in water and oil for 24 h. They reported that the samples with hazelnut dust had absorbed more water than the commercial brake pads.

**Table 3.** Hardness values and weight change in tested brake pads

Material Code	Hardness (Shore D)	Weight Gain (mg)
B	88	240
B-W	87	7
B-C	90	0
B-C-W	88	3
B-CYC	91	0
B-CYC-W	90	1
C	88	238
C-W	87	4
C-C	89	0
C-C-W	88	4
C-CYC	90	0
C-CYC-W	90	1

The dimensions of the brake pads with hazelnut dust and the commercial pads were determined using a digital caliper before and after the water absorption test. The dimensional changes of the brake pads are listed in Table 4. The biggest change in width in all of the brake pads was observed in the hazelnut-reinforced samples. The higher porosity rate of the wood-based hazelnut dust may have been the reason they absorbed more water compared to the commercial pads.

**Table 4.** Dimensional changes of the brake pads

Description	Design	Length (mm)	Width (mm)
Pads with hazelnut shell	B	92.72	17.35
	B-W	+0.17	+0.21
	B-C	+0.01	+0.01
	B-C-W	+0.11	+0.1
	B-CYC	0	0
	B-CYC-W	+0.07	+0.09
Commercial pads	C	93.23	17.10
	C-W	+0.13	+0.16
	C-C	+0.01	+0.02
	C-C-W	+0.12	+0.08
	C-CYC	+0.01	+0.12
	C-CYC-W	+0.06	+0.1

These results indicated that single shallow cryogenic and cyclic-cryogenic treatments improved some physical and mechanical properties of the brake pads. Thus, it would be interesting to conduct further research into how these treatments affect the wear and sliding friction response and the interface strength behavior of the metal surface and the brake pad powders. In addition, due to their viscoelastic characteristics, organic fillers like hazelnut and walnut shell dusts could be used to reduce braking noise and vibration.

#### 4. CONCLUSIONS

This study investigated the effects of cryogenic treatment on some physical, mechanical and microstructural responses of brake pads reinforced with hazelnut shell dust as compared to commercial brake pads. The following conclusions can be drawn from the findings:

- Hazelnut shell dust can be used successfully as an organic filler in the production of brake pads.
- The macro and microstructures of the pads did not change significantly after the single and cyclic-cryogenic treatments.
- After the water absorption test, the hardness values of the brake pads were slightly decreased.
- The hardness values of the brake pads increased after the cryogenic and cyclic-cryogenic processes and the highest values were obtained with the B-CYC sample (brake pad with hazelnut dust and cyclic-cryogenic treatment 6 h × 4).
- It can be inferred that the most significant increase in weight amongst all the brake pads occurred in the B-W sample (brake pad with hazelnut dust, immersed in water 24 h). Moreover, the C-W pad (commercial brake pad, immersed in water 24 h) absorbed approximately 4 mg of water.
- There were slight variations in the dimensional properties of the brake pads after the immersion in water. The porosity level and inherent nature of hazelnut dust may have caused slightly more water absorption compared to the commercial brake pads. In addition, it is clear from the results that the cryogenic treatments resulted in less water absorption and better dimensional stability for both types of brake pads.
- These results indicate that brake pads produced with hazelnut shell dust could be used commercially after friction-wear tests have been conducted.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Duzce University Scientific Research Project Unit (DÜBAP-2015.06.05.313).

#### REFERENCES

- [1] Aigbodion V., Akadike U., Hassan S., Asuke F. and Agunsoye J., "Development of asbestos-free brake pad using bagasse", *Tribology in Industry*, 32(1): 12-17, (2010).
- [2] Timur M. and Kılıç H., "Marble Waste Using Produced of Automotive Brake Pad of Friction Coefficient Different Pad Brake Pads With Comprasion", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 19(1): 10-14, (2013).

- [3] Qi S., Fu Z., Yun R., Jiang S., Zheng X., Lu Y., Matejka V., Kukutschova J., Peknikova V. and Prikasky M., "Effects of walnut shells on friction and wear performance of eco-friendly brake friction composites", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(5): 511-520, (2014).
- [4] Yun R., Filip P., and Lu Y., "Performance and evaluation of eco-friendly brake friction materials", *Tribology International*, 43(11): 2011-2019, (2010).
- [5] Amaren S., Yawas D. and Aku S., "Effect of periwinkles shell particle size on the wear behavior of asbestos free brake pad", *Results in Physics*, 3: 109-114, (2013).
- [6] Idris U., Aigbodion V., Abubakar I. and Nwoye C., "Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels", *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27(2): 185-192, (2015).
- [7] Bahari S.A., Isa K.H., Kassim M.A., Mohamed Z. and Othman E. A., "Investigation on hardness and impact resistance of automotive brake pad composed with rice husk dust", in *2nd AIP Conference Proceedings*, 1455(1): 155-161, (2012).
- [8] Ikpambese K., Gundu D. and Tuleun L., "Evaluation of palm kernel fibers (PKFs) for production of asbestos-free automotive brake pads", *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(1): 110-118, (2016).
- [9] Xin X., Xu C.G. and Qing L. F., "Friction properties of sisal fibre reinforced resin brake composites", *Wear*, 262(5-6): 736-741, (2007).
- [10] Y. Ma, S. Shen, J. Tong, W. Ye, Y. Yang, and J. Zhou, "Effects of bamboo fibers on friction performance of friction materials", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(6): 845-859, (2013).
- [11] Matějka V., Fu Z., Kukutschová J., Qi S., Jiang S., Zhang X., Yun R., Vaculík M., Heliová M. and Lu Y., "Jute fibers and powdered hazelnut shells as natural fillers in non-asbestos organic non-metallic friction composites", *Materials & Design*, 51: 847-853, (2013).
- [12] Dadkar N., Tomar B.S. and Satapathy B.K., "Evaluation of flyash-filled and aramid fibre reinforced hybrid polymer matrix composites (PMC) for friction braking applications", *Materials & Design*, 30(10): 4369-4376, (2009).
- [13] Mohanty S. and Chugh Y., "Development of fly ash-based automotive brake lining," *Tribology International*, 40(7): 1217-1224, (2007).
- [14] Fu Z., Suo B., Yun R., Lu Y., Wang H., Qi S., Jiang S., Lu Y. and Matejka V., "Development of eco-friendly brake friction composites containing flax fibers", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(10): 681-689, (2012).
- [15] Akıncioğlu G., Uygur I., Öktem H., Kır D. and Karakaş, H., "Production and investigation of natural additive brake pads of mechanical properties", presented at the *2<sup>nd</sup> International Iron and Steel Symposium (IISS'15)*. Turkey, 472-482, (2015).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Yapısal sağlık izlemede kullanılan piezoelektrik sensörlerin değişen sıcaklıklarda davranışının incelenmesi

*Investigation of the behavior of piezoelectric sensors used in structural health monitoring at different temperatures*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mesut TEKKALMAZ<sup>1</sup>, Gökhan HAYDARLAR<sup>2</sup>, M. Alper SOFUOĞLU<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-3781-0384

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-7430-8145

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0003-4681-6390

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Tekkalmaz M., Haydarlar G. ve Sofuoğlu M. A., “Yapısal sağlık izlemede kullanılan piezoelektrik sensörlerin değişen sıcaklıklarda davranışının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 597-606, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.513956



# Yapısal Sağlık İzlemede Kullanılan Piezoelektrik Sensörlerin Değişen Sıcaklıklarda Davranışının İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mesut TEKKALMAZ, Gökhan HAYDARLAR\*, M. Alper SOFUOĞLU**

Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 13.03. 2018 ; Kabul/Accepted : 08.05.2018)

## ÖZ

Yapısal sağlık izleme (SHM), yapıdaki hasarın yeri ve boyutunu, yapının ömrünü tespit etmek için kullanılan izleme yöntemidir. Bu çalışmada, serbest bir piezoelektrik sensörün davranışı değişen çevre koşullarına maruz kalmış yapılar göz önüne alınarak elektromekanik empedans metodu (EMI) kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir ve ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada; oda sıcaklığında piezoelektrik sensörün empedans ölçümleri tamamlandıktan sonra, -10 °C ve -45 °C arasındaki empedans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık düştükçe frekans ve genlik artmıştır. Simülasyon çalışmalarında ise, deneysel çalışmada kullanılan piezoelektrik sensörün ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla harmonik analiz sonuçları elde edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarda olduğu gibi, sıcaklık düştükçe frekans ve genlik artmıştır. Deneysel çalışmalardan ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Piezoelektrik sensör, elektromekanik empedans, sıcaklık etkisi.

## Investigation of the Behavior of Piezoelectric Sensors Used in Structural Health Monitoring at Different Temperatures

### ABSTRACT

Structural health monitoring (SHM); is the tracking method used to determine the location and size of the damage to the structure and the life of the structure. In this study, the behavior of a free piezoelectric sensor was experimentally tested using the electromechanical impedance method (EMI), taking into account the structures exposed to varying environmental conditions, and simulation studies were performed using the ANSYS finite element program. In the experimental study; impedance measurements were performed between -10 °C and -45 °C after impedance measurements of the piezoelectric sensor were completed at room temperature. The frequency and amplitude have increased with decreasing temperature. In the simulation studies, harmonic analysis results were obtained by using the ANSYS finite element program of the piezoelectric sensor used in the experimental study. The frequency and amplitude increased as the temperature decreased, as in the results obtained from the experimental studies. The results obtained from experimental and simulation studies were found to be close to each other.

**Keywords:** Piezoelectric sensor, electromechanical impedance, temperature effect.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yakın zamana kadar ve büyük ölçüde bugün bile binalar, köprü ve endüstriyel yapılardaki değişimin dışsal belirtilerini tanımlayan en yaygın araç eğitimli personel tarafından görsel olarak incelenmesidir. Hasar yerinin kabaca değerlendirilmesi yapıldıktan sonra, hasar yeri ve şiddetinin daha hassas bir şekilde değerlendirilmesi için akustik, ultrasonik, radyografi, girdap akımları, termal, manyetik alan veya elektro-manyetik empedans gibi lokalize sağlık izleme teknikleri kullanılır. Gerektiği durumlarda test numuneleri yapıdan çıkartılıp laboratuvarında incelenir. Bu yaklaşımın temel gerekliliklerinden biri, incelenecek bölgenin

erişilebilirliğidir. Birçok durumda yapının kritik parçalarına erişilebilirlik olmayabilir. Bu nedenle sağlık izleme prosedürü çok uğraştırıcı ve pahalıdır. Ayrıca, gözle muayene güvenilirliği büyük ölçüde denetçinin tecrübesine bağlıdır [1].

Son kırk yılda yapının sağlığının daha güvenilir ve hızlı değerlendirilmesini sağlayan görsel incelemenin yerini almaya çalışan birtakım otomatik yöntemlerle bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Akıllı yapılar fikri görsel denetim yöntemlerine bir alternatif olarak düşünülmüştür. Akıllı malzemeler (piezoelektrik malzemeler, şekil hafızalı alaşımlar, fiber optik malzemeler gibi) kendi içsel özellikleri nedeniyle çevre konusundaki her türlü değişikliğe karşı yüksek hassasiyet gösterirler [1].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ghaydarlar@ogu.edu.tr

Yapısal sağlık izleme (SHM); hasarın oluşmasından sonra hasarın tespitini, konumunu, büyüklüğünü ve yapının kalan ömrünü belirlemek için belirli stratejilerin uygulandığı bir süreçtir. SHM ile yapısal sistemin veya bileşenlerinin değişen yüklenme ve/veya çevresel şartlarda tepkisi sürekli olarak ölçülür. SHM genellikle yapının veya bileşenlerinin; beklenmedik durumlar sırasında ve sonrasında durumunu, hasardan dolayı çalışma sırasındaki durumunu ve anormallikleri izlemek ve değerlendirmek için kullanılır [2]. Hasar tespiti SHM'nin temel hedefidir.

SHM, sensörler yardımıyla sistemin dinamik tepkisinin düzenli aralıklarla gözlemlenmesini ve istatistiksel analizler yardımıyla yapının mevcut durumunun belirlenmesini içerir. Uzun vadede bu sürecin çıktılarının yapının önceden belirlenen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediği hakkında bilgi sağlaması için düzenli olarak güncellenir. Depremler ya da darbe yüklemesi gibi önceden belirlenemeyen olaylardan sonra, SHM, hızlı durum taraması için kullanılır ve gerçek zamanlı olarak yapının bütünlüğü ile ilgili güvenilir bilgileri sağlamayı amaçlar [3].

Yapısal sağlık izleme ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Hooker [4], -150 °C ile 250 °C arasında PZT-4, PZT-5A, PZT-5H piezoelektrik seramiklerinin piezoelektrik yük sabitlerinin ( ve ) sıcaklıkla değişimini ve 25 °C ile 600 °C arasında bağıl termal genişlemeyi deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada değerlendirilen malzemenin tümünün havacılık uygulamalarında kullanıma uygun özelliklere sahip olduğunu, ayrıca belirli bir operasyon koşulları seti için optimum materyalleri belirlemek için dikkatle düşünülmesi gerektiğini belirtmiştir. Özellikle çeşitli malzemelerin özelliklerinin oda sıcaklığı davranışlarından önemli ölçüde saptığı, düşük sıcaklık (-50 °C'nin altında) veya yüksek sıcaklık (150°C'nin üstünde) uygulamaları için malzeme seçerken irdeleme yapılmasının daha önemli olduğu sonucuna varmıştır [4]. Sherrit ve arkadaşları deneysel çalışmaları sonucunda, PZT-4D seramiklerinin 0 °C ile 100 °C arasında değişen sıcaklıklarda elastik, dielektrik ve piezoelektrik yük katsayılarını belirlemişlerdir. Elde edilen bu verilerden eğri uydurma yöntemiyle bu parametrelerin sıcaklığa bağlı fonksiyonunu türetmişlerdir [5]. Baptista ve arkadaşları, yapısal sağlık izlemede elektromekanik empedans sinyalleri üzerinde sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Alüminyum numuneler kullanılarak 25 °C ile 102 °C aralığında empedans sinyalleri elde ettikten sonra frekans ve genlikteki değişimi deneysel olarak analiz etmişlerdir. Deneysel çalışmalarının sonucunda genlikteki değişimin piezoelektrik sensörün kapasitansının sıcaklıkla değişiminden kaynaklandığını, rezonans piklerindeki frekans değişiminin sıcaklık değişiminden kaynaklandığını ve bu frekans değişiminin tüm frekans bandı boyunca sabit olmadığını, artan frekans ile değişimin arttığını belirlemişlerdir. Sıcaklık etkisini kompanse etmek için frekans aralığı seçiminin önemli olduğunu, sağlığı izlenen yapıda yanlış tespitlerden kaçınmak için yeterli dar frekans bandı

seçilmesi zorunluluğunu vurgulamışlardır [6]. Wandowski ve arkadaşları, karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerlerin hasarlı ve hasarsız durumları için sıcaklık değişiminin elektromekanik empedansın real kısmı (rezistans) üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık değişiminin rezistans sinyallerinde frekans değişimine neden olduğunu tüm inceledikleri numunelerde gözlemlemişlerdir. Hasarlı yapının değişen sıcaklıklarda tespiti için çapraz korelasyon değişimi (CCD) değerlerini sıcaklık kompanzasyonu yaparak ve yapmayarak hesaplamışlardır. Sıcaklık kompanzasyonunun uygulanması EMI yönteminde hasarın tespit edilebilme yeteneğini arttırdığına ulaşımlardır [7]. Xu ve arkadaşları, yüzeye yapıştırılan piezoelektrik sensör ve yapı üzerinde sıcaklığın etkisini düşünerek admittansı tahmin etmek için spektral eleman metodu önermişlerdir. Artan sıcaklıkla admittans piklerinin sola kaydığını ve genliğin azaldığını gözlemlemişlerdir. Sola kaymasının sebebinin yapının mekanik özelliklerinin sıcaklıkla değişiminden, genlikteki azalmanın sebebinin piezoelektrik sensörün mekanik ve elektromekanik özelliklerinin sıcaklıkla değişiminden kaynaklandığını göstermişlerdir [8]. Haider ve arkadaşları, dairesel piezoelektrik sensörün değişen sıcaklıklarda (50°C - 250°C) malzeme özelliklerini deneysel olarak belirlemiş ve sensörün empedans ve admittansını oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklara ısıtıp oda sıcaklığına geldikten sonra tekrar ölçmüşlerdir. Bu ölçümler sonucunda, değişen sıcaklıklarda empedans ve admittansın sıcaklığa bağlı fonksiyonunu türetmişlerdir. Sensörün malzeme özelliklerindeki bozulmanın sıcaklığa bağlı analitik model ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasıyla belirlenebileceği sonucuna ulaşımlardır [9].

Empedans karakteristiklerinin piezoelektrik sensörde hata, kusur vb. olmadığı sürece aynı kalması beklenir. Ancak değişen ortam sıcaklıklarına maruz kalan yapılarda sıcaklık etkisinden dolayı bu karakteristikler değişir. Herhangi bir zamanda yapının sağlığı değerlendirilmek istendiğinde, ilgili sıcaklıktaki karakteristik kullanılarak yanlış teşhisler önlenmelidir. Eğer sıcaklık etkisinden dolayı meydana gelen empedans karakteristiklerindeki değişim göz önüne alınmazsa hata, kusur vb. varmış gibi yanlış yorumlara sebep olur [1].

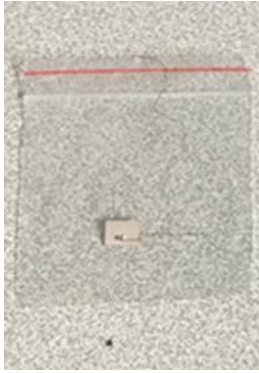
Serbest sensörün değişen sıcaklıklardaki davranışının belirlenmesi önemlidir. Piezoelektrik sensörlerin değişen sıcaklıklardaki davranışlarını inceleyen çalışmaların çoğunda yüksek sıcaklıklara odaklanılmıştır. Piezoelektrik sensörlerin havacılık alanındaki uygulamaları düşünüldüğünde düşük sıcaklıklardaki davranışlarının da incelenmesi gerektiği açıktır. Bu çalışmada düşük sıcaklıklara odaklanılarak, piezoelektrik sensörün davranışı deneysel olarak test edilmiştir. Sıcaklığın piezoelektrik sensörün malzeme özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Literatürde piezoelektrik sensörlerin sıcaklık etkisiyle değişen malzeme özelliklerinin belirlenerek yapılmış bir simülasyon çalışmasına rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında, değişen sıcaklıklar için malzeme özellikleri tekrar

hesaplanarak ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde deneysel ve nümerik yöntem anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, deneysel ve nümerik sonuçlar özetlenmiştir. Son bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Bu çalışmada serbest sensörün değişen sıcaklıklardaki davranışı EMI yöntemi kullanılarak incelenmiştir. 10x10x0,5 mm boyutlarındaki PIC255 malzeme özellikli piezoelektrik sensör PI Ceramic firmasından temin edilmiştir. Şekil 1'de kullanılan serbest sensör gösterilmiştir.



Şekil 1. Serbest sensör (Free sensor)

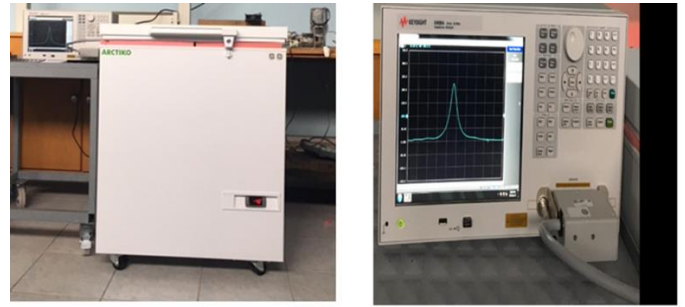
Sensöre probalar, Şekil 2'de gösterildiği gibi, bağlanarak empedans ölçümleri oda sıcaklığında Keysight E4990A model empedans analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerin aynı standartta olması için, oda sıcaklığındaki empedans ölçümleri de soğutucu içerisinde (soğutucu kapalı iken) yapılmıştır. Değişen sıcaklıklar için empedans ölçümleri tekrar edileceği için probalar bağlantı noktalarından çıkartılmayarak ölçümün daha hassas olması amaçlanmıştır. Frekans aralığı 100 kHz-900 kHz, ölçüm hızı empedans analizörün en hassas değeri olan 5 ve adım sayısı (başlangıç ve bitiş frekansları arasındaki veri sayısı) 1000 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Piezoelektrik sensöre probaların bağlanış şekli (Connection of the probes to the piezoelectric sensor)

Oda sıcaklığındaki ölçümler tamamlandıktan sonra sensörün değişen sıcaklıklardaki empedans ölçümleri,

ARTICO LFE140 laboratuvar tipi soğutucu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümler  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $-45^{\circ}\text{C}$  arasında  $5^{\circ}\text{C}$  aralıklarla sıcaklık düşürülerek gerçekleştirilmiştir. Sensörün istenen sıcaklığa tam olarak ulaştığına emin olmak için, temaslı hassas termometre ile numunenin sıcaklığı farklı noktalardan ölçüm alınarak cihazın sıcaklığı farklı sıcaklıklarla karşılaştırılmıştır. Sensör soğutucu içindeyken soğutucunun açık kalan kısımlarından olan ısı transferini en aza indirmek için bu yüzeyler süngerlerle kapatılmıştır. Şekil 3'te serbest sensörün  $-40^{\circ}\text{C}$ 'deki empedans ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 3. Serbest sensörün  $-40^{\circ}\text{C}$ 'deki deneysel ölçümleri (Experimental measurements of the free sensor at  $-40^{\circ}\text{C}$ )

### 2.2. Nümerik Yöntem (Numerical Method)

Serbest piezoelektrik sensörün değişen sıcaklıklardaki davranışı ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz edilmiştir. Piezoelektrik sensör deneysel çalışmalarda kullanılan sensörün boyutlarıyla birebir olarak programa girilmiştir. Piezoelektrik sensör için 8 düğüm noktası ve her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesine sahip SOLID5 elemanı kullanılmıştır. Uygulanan voltaj değeri olarak 0 ve 0,5 V girilmiştir. Frekans aralığı deneysel çalışmada seçilen frekans aralığı ve adım sayısı deneysel çalışmada tercih edilen adım sayısı olarak çözüm şartları tanımlanmıştır.

Piezoelektrik sensörün oda sıcaklığındaki malzeme özellikleri, deneysel çalışma için temin edilen sensörlerin üretici firması olan PI Ceramic firmasının internet sayfasında yayınladığı veriler [10] kullanılarak ANSYS programına tanıtılmıştır. Üretici firmadan temin edilen veriler ANSYS programına doğrudan girilememektedir. ANSYS programına girilebilecek şekilde gerekli dönüşümler Imoka tarafından önerilen şekilde [11] yapılmıştır. Bu dönüşümler kullanılarak PIC255 piezoelektrik sensörün üretici verileri ( $25^{\circ}\text{C}$ ) ANSYS programına girilmiştir.

#### 2.2.1 Rijitlik/Uyum matrisi (Rigidity / Compliance matrix)

Elastik uygunluk (s) piezoelektrik malzemeye 11 ve 33 doğrultularında uygulanan birim gerilme sonucunda oluşan gerinin olarak tanımlanır. Ayrıca, Elastisite modülünün tersi olarak da tanımlanabilir [12].

$$[s^E] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{11} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{13} & s_{13} & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} \end{bmatrix}$$

$[s^E]$  matrisi; Elastisite modülü, kesme modülü ve poisson oranı ile yakından ilişkilidir (Eş.1-6).

$$E_X = \frac{1}{s_{11}^E} = E_Y \quad (1)$$

$$E_Z = \frac{1}{s_{33}^E} \quad (2)$$

$$G_{XY} = \frac{1}{s_{66}^E} \quad (3)$$

$$G_{YZ} = \frac{1}{s_{44}^E} = G_{XZ} \quad (4)$$

$$s_{12}^E = NU_{XY} (-s_{11}^E) \quad (5)$$

$$s_{13}^E = NU_{YZ} (-s_{33}^E) \quad (6)$$

$s_{66}^E$  ve  $s_{44}^E$  değerine üretici verilerinden ulaşılamamaktadır. Bu değerler Eş. 7-8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$s_{66}^E = 2(s_{11}^E - s_{12}^E) \quad (7)$$

$$s_{44}^E = 2(s_{33}^E - s_{13}^E) \quad (8)$$

Literatürde PIC255 piezoelektrik sensörlerin  $s^E$  değerlerinin sıcaklıkla değişimi ile ilgili bir fonksiyon veya grafik bulunamamıştır. Bu yüzden Elastisite modülü ve kesme modülünün sıcaklık ile değişimini içeren eşitlikler kullanılarak  $s^E$  değerleri belirlenmiştir. Poisson oranının sıcaklık ile değişimi ihmal edilmiş ve üretici verilerinde yöne bağlı olarak farklı bir değer verilmediği için yönden bağımsız olduğu kabul edilmiştir ( $NU_{XY} = NU_{XZ} = NU_{YZ} = \nu = 0,34$ ). Kesme modülü ve Elastisite modülü arasındaki ilişki Eş.9-10'da tanımlanmıştır.

$$G_{XY} = \frac{E_X}{2(1+\nu)} \quad (9)$$

$$G_{YZ} = G_{XZ} = \frac{E_Z}{2(1+\nu)} \quad (10)$$

Elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi Eş. 11'de verilmiştir [13].

$$E_p(T) = E_p - \frac{(T_0 - T) E_p}{160 \cdot 4} \quad (11)$$

Burada;  $E_p$  referans sıcaklığındaki Young modülü,  $E_p(T)$  ölçülen sıcaklıktaki Young modülü,  $T$  ortam sıcaklığı,  $T_0$  referans sıcaklığı,  $p$  piezoelektriği temsil etmektedir. Referans sıcaklık 25 °C alınmıştır. Referans sıcaklıktaki Elastisite modülleri, PIC255 piezoelektrik sensör için üretici tarafından verilen  $s_{11}^E$  ve  $s_{33}^E$  değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Eş. 11 kullanılarak PIC255 piezoelektrik sensörün 5 °C aralıklarla 0 °C ile -45 °C arasındaki değişen sıcaklıklardaki Elastisite modülleri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** PZT sensörün değişen sıcaklıklardaki elastisite modülü (Young's modulus of PZT sensor at varying temperatures)

Sıcaklık (°C)	$E_X = E_Y$ (GPa)	$E_Z$ (GPa)
25	62,10	48,30
0	60,16	46,79
-5	59,67	46,41
-10	59,18	46,03
-15	58,70	45,65
-20	58,21	45,28
-25	57,73	44,90
-30	57,24	44,52
-35	56,76	44,14
-40	56,27	43,77
-45	55,79	43,39

Elastisite modülleri belirlendikten sonra Eş. 9-10 kullanılarak değişen sıcaklıklar için kesme modülleri hesaplanmıştır. Eş. 1 - 8 kullanılarak  $[s^E]$  matrisindeki tüm parametreler değişen sıcaklıklar için belirlenmiştir. Bu veriler daha sonra hesaplanacak olan iletkenlik matrisi ve gerilme/elektrik alanla ilgili piezoelektrik matrislerin  $[e]$  belirlenmesinde kullanılacaktır.

### 2.2.2 Piezoelektrik yük sabitleri (Piezoelectric charge coefficients)

Piezoelektrik malzemeler  $d_{31}$ ,  $d_{33}$  ve  $d_{15}$  olmak üzere üç tane piezoelektrik yük sabitiyle tanımlanır. Üretici firmanın katalog değerlerinden  $d_{31}$ ,  $d_{33}$  ve  $d_{15}$  parametreleri alınarak  $[d]$  matrisi oluşturulmuştur.

$$[d] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ANSYS programında, mekanik gerilmeyi elektrik alanla ilişkilendiren matris  $[e]$  matrisidir. Eşitlik 12 kullanılarak üretici verileri ANSYS programı için uygun hale getirilmiştir.

$$[e] = [s^E]^{-1} [d] \quad (12)$$

Değişen sıcaklıklar için hesaplanan  $[s^E]$  matrisleri kullanılarak  $[e]$  matrisleri yeniden oluşturulmuştur.

$[d]$  matrisi tüm sıcaklıklar için aynı şekilde tanımlanmış olup aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

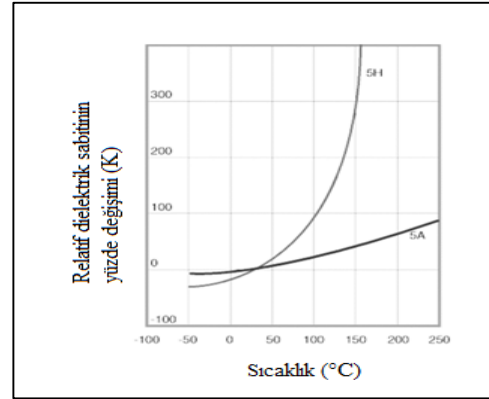
$$[d] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -180 \\ 0 & 0 & -180 \\ 0 & 0 & 400 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 550 & 0 \\ 550 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

25 °C için oluşturulan  $[e]$  matrisi aşağıda verilmiştir.

$$[e] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -7,53378 \\ 0 & 0 & -7,53378 \\ 0 & 0 & 14,19998 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9,912232 & 0 \\ 9,912232 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### 2.2.3 Dielektrik sabitler (Dielectric constants)

Relatif dielektrik sabiti; piezoelektrik elemanın depolayabileceği yük miktarının vakumda depolanan yük miktarına ( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m) oranı olarak tanımlanır [14]. Piezoelektrik malzemeler için üretici verileri  $\epsilon_{11}/\epsilon_0$  ve  $\epsilon_{33}/\epsilon_0$  şeklindedir. Bu değerlerin sıcaklıkla değişimini içeren grafikten relatif dielektrik sabitlerinin sıcaklığa bağlı fonksiyonu PZT-5A için türetilmiştir. Şekil 4'de relatif dielektrik sabitlerinin sıcaklığa göre yüzde değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Relatif dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişimi [15] (The change of relative dielectric constants with temperature)

Relatif dielektrik sabitlerinin sıcaklığa bağlı olarak türetilen fonksiyonları PZT 5A için Eş. 13-14'te verilmiştir. Türetilen iki eşitliğin de belirleme katsayısı değeri ( $r^2$ ) 0,99'dur. Bu eşitliklerde  $T$  sıcaklığı temsil etmektedir. Bu eşitlikler kullanılarak değişen sıcaklıklar için  $\epsilon_{11}/\epsilon_0$  ve  $\epsilon_{33}/\epsilon_0$  değerleri hesaplanmıştır.

$$\epsilon_{11}/\epsilon_0 = 0,0103T^2 + 3,4885T + 1585,4 \quad (13)$$

$$\epsilon_{33}/\epsilon_0 = 0,011T^2 + 3,6999T + 1681,5 \quad (14)$$

Üretici firmanın katalog değerlerinden  $\epsilon_{11}/\epsilon_0$  ve  $\epsilon_{33}/\epsilon_0$  parametreleri alınarak doğrudan ANSYS programına girilememektedir. Üretici verileri  $[\epsilon^T]$  matrisi ile tanımlanır.

$$[\epsilon^T] = \begin{bmatrix} \epsilon_{11}/\epsilon_0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{11}/\epsilon_0 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33}/\epsilon_0 \end{bmatrix}$$

Üretici verilerini ANSYS programına uygun hale getirmek için Eş. 15 kullanılmıştır.

$$[\epsilon^S] = [\epsilon^T] - [d]^t [s^E]^{-1} [d] \quad (15)$$

25 °C için oluşturulan  $[\epsilon^S]$  matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$[\epsilon^S] = \begin{bmatrix} 1033,986 & 0 & 0 \\ 0 & 1033,986 & 0 \\ 0 & 0 & 801,7345 \end{bmatrix}$$

Diğer sıcaklıklar için  $[s^E]^{-1}$  ve  $[\epsilon^T]$  matrisleri tekrar hesaplandıktan sonra Eş. 15 kullanılarak değişen sıcaklıklar için  $[\epsilon^S]$  matrisleri oluşturulmuştur.

### 2.2.4. Yoğunluk (Density)

Değişen sıcaklıklardaki yoğunluk değişimini hesaplamak için Ajitsaria tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır [13] (Eş. 16).

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1 + \alpha \Delta T)^3} \quad (16)$$

Eş. 16 kullanılarak değişen sıcaklıklar için yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Burada  $\rho$  ilgili sıcaklıktaki yoğunluğu,  $\rho_0$  referans sıcaklıktaki yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) temsil etmektedir.  $\alpha$  (ısı genleşme katsayısı)'nın piezoelektrik sensör için üretici firma verilerinde  $4 \times 10^{-6}$  (1/K) ile  $8 \times 10^{-6}$  (1/K) arasında değişen bir değere sahip olduğu belirtilmiştir. Eş. 16'da  $\alpha$  değeri ortalama ısı genleşme katsayısı olarak tanımlandığı için  $\alpha$  değeri  $6 \times 10^{-6}$  (1/K) olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan yoğunluk değerleri değişen sıcaklıklar için hiçbir dönüşüm yapılmadan ANSYS programına girilmiştir.

### 2.2.5. Hasar metrikleri (Damage metrics)

Hasar metrik değerleri, hasar indeksini gösteren skaler bir değerdir. Bu değerler iki empedans spektrumunun işlenmesi sonucu ortaya çıkan farkı ifade ederler. Hasar metrikleri, hasar tarafından ortaya çıkan spektrum özelliklerini yakalar ve normal koşullardaki değişimleri yok sayar. Bu hedefe ulaşmak mümkünse bile kolay değildir. Bugüne kadar, empedans spektrumlarını karşılaştırmak ve hasar varlığını değerlendirmek için birçok hasar metriği kullanılmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılan metrikler; ortalama kareler sapmasının karekökü (RMSD), ortalama mutlak yüzde sapma (MAPD), kovaryans (CC) ve korelasyon katsayısı sapmasıdır (CCDM). Bu metriklerin matematiksel ifadeleri Eş. 17-20 arasında verilmiştir [16].

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_N [Re(Z_i) - Re(Z_i^0)]^2}{\sum_N [Re(Z_i^0)]^2}} \quad (17)$$

$$MAPD = \frac{1}{N} \sum_N \left| \frac{Re(Z_i) - Re(Z_i^0)}{Re(Z_i^0)} \right| \quad (18)$$

$$CCDM = 1 - \frac{\sum_N [Re(Z_i) - \overline{Re(Z)}][Re(Z_i^0) - \overline{Re(Z^0)}]}{\sqrt{\sum_N [Re(Z_i) - \overline{Re(Z)}]^2 \sum_N [Re(Z_i^0) - \overline{Re(Z^0)}]^2}} \quad (19)$$

$$CC = 1 - CCDM \quad (20)$$

N örneklem nokta sayısını, üst olarak 0 yapının bozulmamış halini (referans halini), Z değerleri empedans değerlerini,  $\bar{Z}$  ve  $\overline{Z^0}$  empedans değerlerinin ortalamalarını göstermektedir. Eş. 17-20 yardımıyla skaler değerler elde edilir. Bu değerler karşılaştırılan spektrum değerleri arasındaki ilişkileri temsil eder. Eş. 17-20'de girdi empedans spektrumlarının bir ön işleme ihtiyacı yoktur. Deneysel ölçüm sonucu elde edilen veri doğrudan hasar metriklerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Öte yandan rezonans tepe değerlerinde

frekans kaymalarının istatistiksel hasar indeksleri üzerine etkisi belirgin olmayabilir. Bu durumda doğru frekans bandının seçilmesi büyük önem taşır. Genellikle rezonans tepelerinin yoğun olduğu frekans bandlarının istatistiksel hasar indekslerinin hesaplanmasında kullanılması tavsiye edilir. Bir diğer olgu da başlangıç spektrumundaki kaymalardır ve bu durum istatistiksel formüllerle yakalanamaz. Bu kayma durumu genellikle piezoelektrik sensörlerin kurulumundaki ve çevresel koşullardaki değişikliklerden kaynaklanır. Bu durum hasarla ilgili olmasa bile başlangıç spektrumu için hasar indeksini değiştirir [16].

Birçok uygulamada manyetik alanın etkisi ihmal edilirken, sıcaklığın etkisi ihmal edilmemektedir. Sıcaklık değişiklikleri sensörün elektriksel empedansında bazı karşılıklı değişimlere yol açar. Sıcaklık değişimleri RMSD indeksinde bazı değişikliklere yol açabilir. RMSD indeksi sağlıklı bir yapı için bile yüksek olabilir, bu durum hatalı teşhise yol açar. CCDM indeksi elektriksel empedans değerlerinin genliğinde değişimlere karşı duyarsız, empedans şeklinin değişimlerine karşı duyarlıdır. Böylece, sıcaklık değişimi nedeniyle elektriksel empedans değerlerinin genliğinde değişim olduğu düşünülüyorsa CCDM indeksi sıcaklık etkisiyle kontrol edilen yapıda hatalı teşhisten kaçınmak için iyi bir seçenektir. Buna karşın, yapının doğal frekansları sıcaklığa bağlıdır. Doğal frekanstaki bu değişimler elektriksel empedanslarda frekans kaymalarına sebep olur [16].

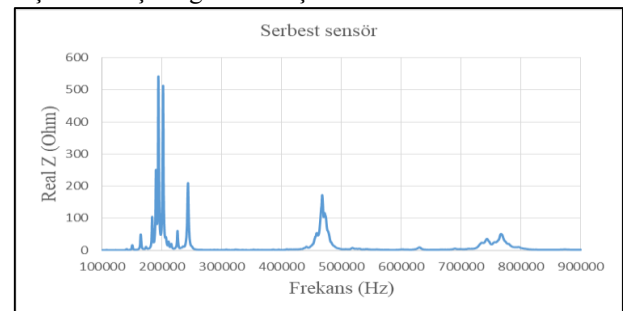
## 3. DENEYSEL VE NÜMERİK SONUÇLAR

### (EXPERIMENTAL and NUMERICAL RESULTS)

Bu çalışmada serbest piezoelektrik sensör üzerinde sıcaklığın etkisi, deneysel çalışmalar ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Empedansın real kısmı (Real Z), serbest sensörün titreşim spektrumunu yansıtmaktadır [16]. Bu yüzden deneysel ve nümerik çalışmalarda empedansın real kısmına (Real Z) odaklanılmıştır.

### 3.1. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

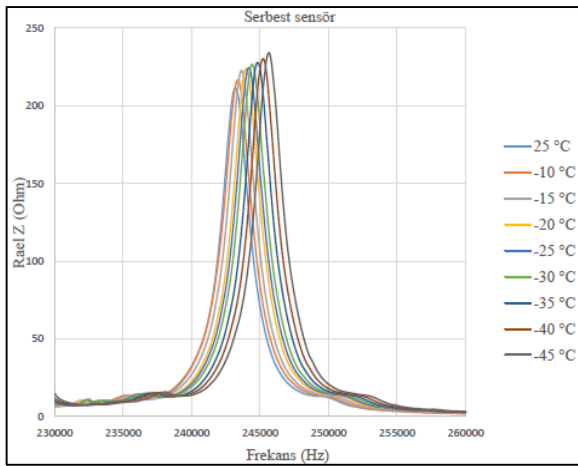
Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ölçüm referans kabul edilerek diğer sıcaklıklar için yapılan ölçümler bu referans ölçüme göre karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te piezoelektrik sensörün oda sıcaklığındaki empedans ölçüm sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5. Serbest sensörün 25 °C'deki empedans ölçüm sonuçları (Impedance measurement results of the free sensor at 25 °C)

Şekil 5'te 190 kHz-200 kHz arasında iki tane büyük mod görülmektedir. Bu modların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden üçüncü en büyük modun görüldüğü 230 kHz-260 kHz frekans aralığına odaklanılmıştır. Deneyler 230 kHz-260 kHz frekans aralığında, 1000 adımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da deneysel ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

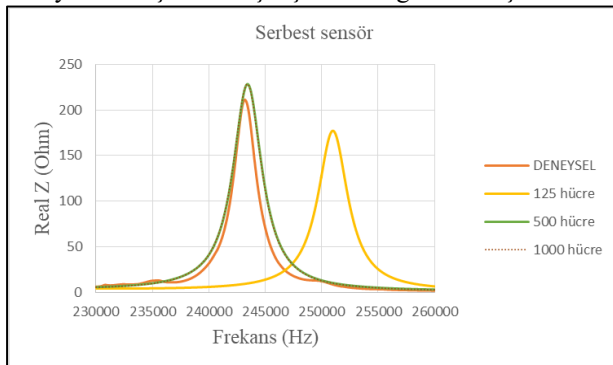
Şekil 6'da görüldüğü gibi, sıcaklık azaldıkça frekansın sağa doğru kaydığı ve genliklerin de arttığı gözlemlenmiştir. Literatürdeki bezer çalışmalarda sıcaklık arttıkça frekans ve genlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. [6,8,9]. Yapılan bu çalışmada, sıcaklığın azalması ile aynı eğilim gözlemlenmiştir. Bu değişim oda sıcaklığındaki referans ölçümle karşılaştırılmış ve hasar metrikleri kullanılarak değişim yorumlanmıştır.



Şekil 6. Serbest sensörün değişen sıcaklıklardaki deneysel ölçüm sonuçları (Experimental results of the free sensor at varying temperatures)

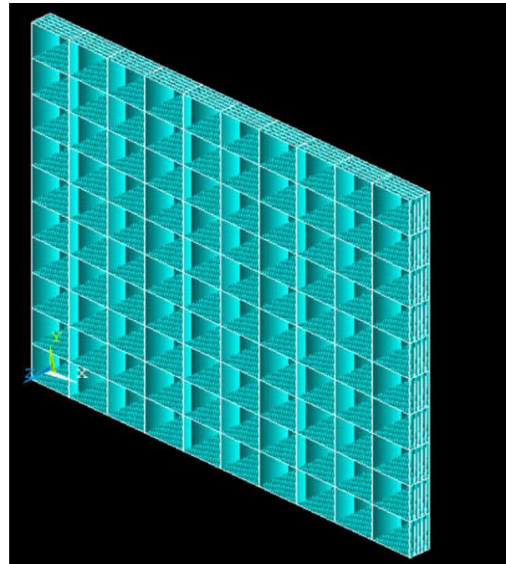
### 3.2. Nümerik Sonuçlar (Numerical Results)

25 °C'de gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları ile farklı hücre yapılarıyla oluşturulan modeller karşılaştırılarak en uygun hücre yapısı belirlenmiştir. Uygun hücre yapısı tespit edildikten sonra değişen sıcaklıklar için hesaplanan yeni malzeme özellikleri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de farklı hücre yapıları için simülasyon sonuçlarının, deneysel sonuçlarla karşılaştırılması gösterilmiştir.

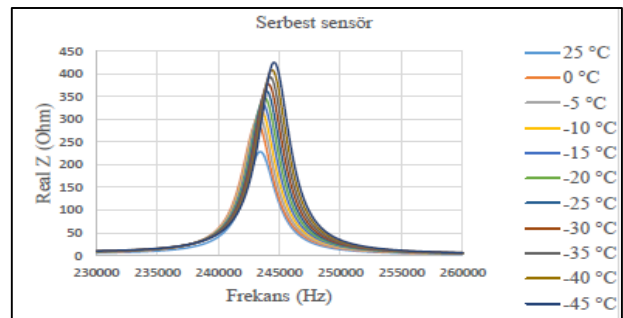


Şekil 7. Serbest sensör için hücre sayısı seçimi (Cell numberselection for the free sensor)

Deneysel sonuçlara en yakın simülasyon sonuçlarının 500 hücre (10x10x5) ve 1000 hücre (10x10x10) yapısıyla elde edilen çözümlerin olduğu Şekil 7'de görülmektedir. 10x10x5 hücre yapısı ve 10x10x10 hücre yapısı ile yapılan çözümlerin aynı değeri verdiği görülmüştür. 25 °C ve diğer sıcaklıklar için yapılan simülasyon çalışmalarında, çözüm süresi daha kısa olduğu için 10x10x5 hücre yapısı tercih edilmiştir. Seçilen ağ yapısı ile elde edilen sonuçların hücre sayısından bağımsız olduğu gösterilmiştir. Şekil 8'de seçilen ağ yapısı gösterilmiştir. Diğer sıcaklıklar için yapılan simülasyon çalışmalarında aynı ağ yapısı kullanılmıştır. 10x10x5 hücre yapısı kullanılarak değişen sıcaklıklar için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzer şekilde sıcaklık azaldıkça, frekans sağa doğru kaymakta ve genlik değeri de artmaktadır (Şekil 9).



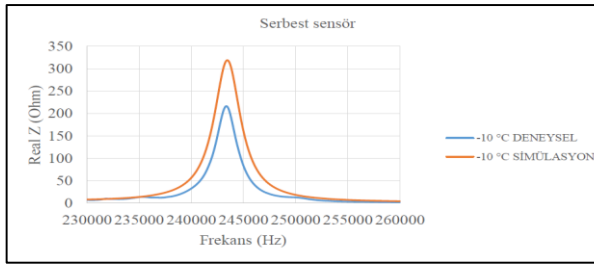
Şekil 8. Serbest sensörün ağ yapısı (Mesh structure of the free sensor)



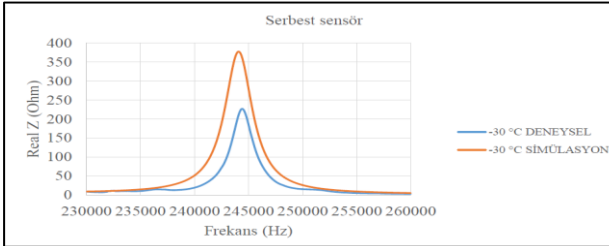
Şekil 9. Serbest sensörün değişen sıcaklıklar için simülasyon sonuçları (Simulation results of the free sensor for varying temperatures)

Şekil 10,11,12'de sırasıyla -10 °C, -30 °C ve -45 °C 'de deneysel ve simülasyon çalışmalarının karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 10-12 incelendiğinde, simülasyon çalışmaları sonucundaki real empedans değerlerinin deneysel sonuçlardan yüksek olduğu görülmektedir.

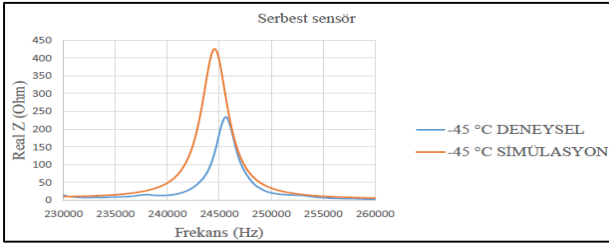
Bunun nedeni, simülasyon çalışmalarında değişen sıcaklıklar için hesaplanan malzeme özelliklerinin tamamının üretici firmanın katalog bilgilerinde yer almamasındadır. Buna karşın deneysel ve simülasyon çalışmalarından elde edilen frekans değerlerinin çok yakın olduğu görülmektedir. Yapısal sağlık izlemede frekans değişimi genlik değişiminden daha önemlidir. Bu durum göz önüne alındığında, deneysel çalışmalardan ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, sıcaklık etkisinin incelendiği araştırmalarda simülasyon çalışmaları ile deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 10. Serbest sensörün deneysel ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (-10 °C) (Comparison of experimental and simulation results of the free sensor at -10 °C)



Şekil 11. Serbest sensörün deneysel ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (-30 °C) (Comparison of experimental and simulation results of the free sensor at -30 °C)



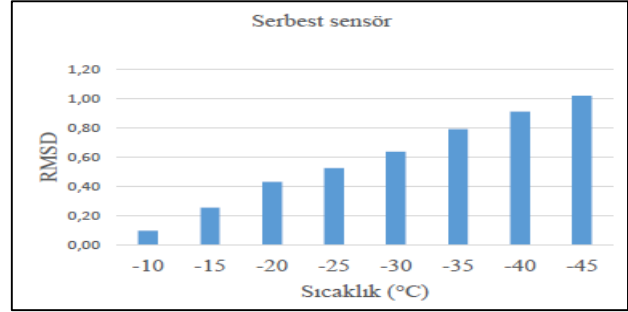
Şekil 12. Serbest sensörün deneysel ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (-45 °C) (Comparison of experimental and simulation results of the free sensor at -45 °C)

### 3.3. Deneysel Sonuçlar için Hasar Metrikleri (Damage Metrics of Experimental Results)

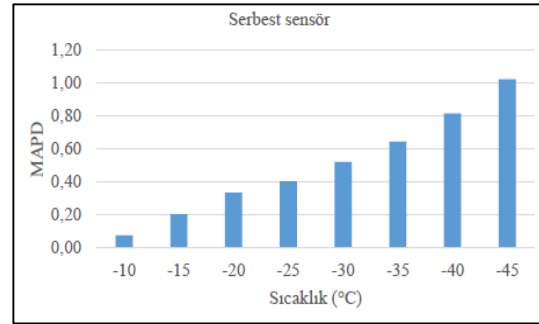
Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre RMSD değerleri Şekil 13'de verilmiştir. RMSD değerleri incelendiğinde sıcaklık düşüştüyle birlikte değerlerin yükseldiği görülmektedir. -10 °C'de RMSD değeri 0,1

seviyelerinde iken, -45 °C'de bu hasar metriği 1 değerlerine yükselmektedir.

Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre MAPD değerleri Şekil 14'de verilmiştir. MAPD değerleri incelendiğinde sıcaklık düşüştüyle birlikte değerlerin yükseldiği görülmektedir. -10 °C'de MAPD değeri 0,1 seviyelerinde iken, -45 °C'de bu hasar metriği 1 değerlerine yükselmektedir.

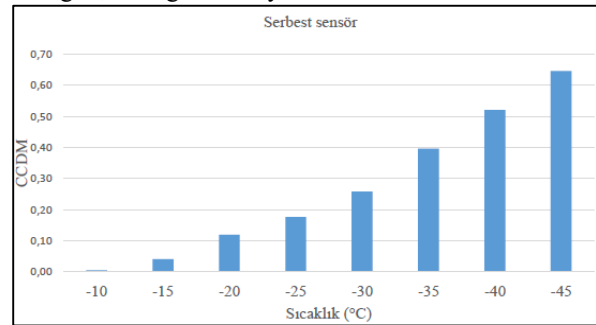


Şekil 13. Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre RMSD hasar metriği değerleri (RMSD damage metric values of the free sensors with respect to to different temperature values)



Şekil 14. Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre MAPD hasar metriği değerleri (MAPD damage metric values of the free sensor according to different temperature values)

Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre CCDM değerleri Şekil 15'de verilmiştir. CCDM değerleri incelendiğinde sıcaklık düşüştüyle birlikte değerlerin yükseldiği görülmektedir. -10 °C'de CCDM değeri 0,01 seviyelerinde iken, -45 °C'de bu hasar metriği 0,65 değerlerine yükselmektedir.



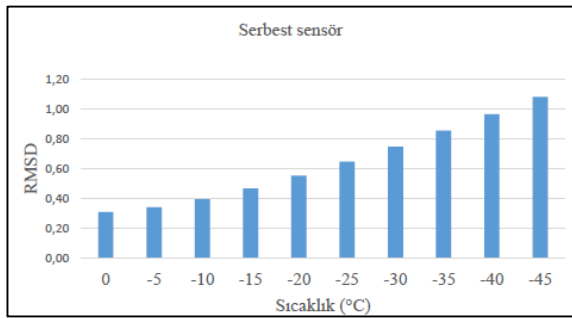
Şekil 15. Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre CCDM hasar metriği değerleri (CCDM damage metric values of the free sensor with respect to to different temperature values)



Serbest sensör için hasar metrikleri açısından sonuçlar incelenirse, hasar metriklerinin sıcaklık düşüşüyle artış gösterdiği ve metriklerin bu açıdan birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

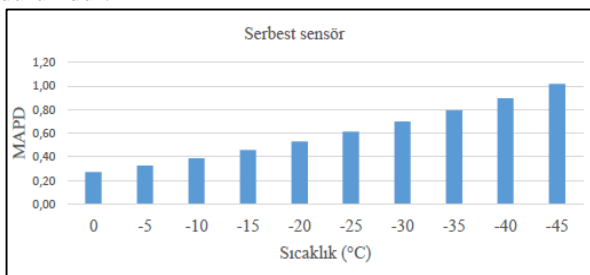
### 3.4. Nümerik Sonuçlar için Hasar Metrikleri (Damage Metrics of the Numerical Results)

Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre RMSD değerleri Şekil 16'da verilmiştir. Şekilde RMSD değerleri incelenirse sıcaklık düşüşüyle birlikte değerlerin yükseldiği görülmektedir. 0 °C'de RMSD değeri 0,3 seviyelerinde iken, -45 °C'de bu hasar metriği 1,1 değerlerine yükselmektedir.



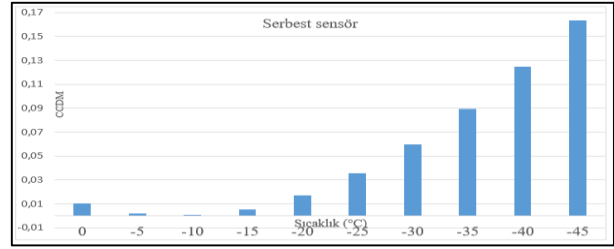
**Şekil 16.** Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre simülasyon sonuçlarının RMSD hasar metriği değerleri (RMSD damage metric values of the simulation results of the free sensor with respect to the different temperature values)

Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre MAPD değerleri Şekil 17'de verilmiştir. Şekilde MAPD değerleri incelenirse sıcaklık düşüşüyle birlikte değerlerin yükseldiği görülmektedir. 0 °C'de MAPD değeri 0,25 seviyelerinde iken, -45 °C'de bu hasar metriği 1 değerlerine yükselmektedir. Sıcaklık düşüşüne bağlı olarak hasar metriğinin artması beklenen bir durumdur.



**Şekil 17.** Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre simülasyon sonuçlarının MAPD hasar metriği değerleri (MAPD damage metric values of the simulation results of the free sensor with respect to the different temperature values)

Serbest sensör için farklı sıcaklık değerlerine göre CCDM değerleri Şekil 18'de verilmiştir. CCDM değerleri incelenirse sıcaklık düşüşüyle birlikte değerlerin genelde yükseldiği görülmektedir. CCDM değerleri 0-0,16 bandı arasında değişmektedir.



**Şekil 18.** Serbest sensörde farklı sıcaklık değerlerine göre simülasyon sonuçlarının CCDM hasar metriği değerleri (CCDM damage metric values of the simulation results of the free sensor with respect to the different temperature values)

Üç hasar metriğine göre sonuçlar karşılaştırıldığında hasar metriklerinin birbirleriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Tüm sonuçlar irdelendiğinde sıcaklık azalışı ile beraber real empedans grafikleri sağa doğru kaymıştır. Sıcaklık değişimi arttıkça frekans kayma miktarı artmıştır. Sıcaklık düşüşü ile beraber hasar metrikleri artmıştır. Bu kapsamda sonuçların literatürdeki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür [6-9].

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER (RESULT and SUGGESTIONS)

Bu çalışma kapsamında sıcaklık etkisini dikkate alan deneysel çalışma yapılmış ve ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları için piezoelektrik malzeme özelliklerinin değişen sıcaklıklardaki değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak değişen sıcaklıklar için serbest sensörün davranışı incelenmiştir. 0 °C ile -45 °C arasında empedansın real kısmındaki değişimler, oda sıcaklığındaki sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır. Sıcaklık azaldıkça frekansın sağa doğru kaydığı (arttığı) ve genliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık düşüşü ile birlikte hasar metriklerinin arttığı görülmektedir. Deneysel çalışmalardan ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Deneysel çalışma imkanı olmadığı durumlarda simülasyon çalışmalarının da yeterli olabileceği düşünülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda sıcaklık aralığı daha geniş seçilerek çalışmalar yapılabilir. Ayrıca değişen sıcaklıklarda piezoelektrik sensör eklenmiş kusurlu numunelerin davranışı incelenerek iki etki birlikte değerlendirilebilir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 201715A119 nolu proje olarak desteklenmiştir. Bu çalışma, "Yapısal Sağlık İzlemede Kullanılan Piezoelektrik Sensörlerin Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Shankar R., “An integrated approach for structural health monitoring”, PhD thesis, Indian Institute of Technology Delhi, (2009).
- [2] Aktan A. E., Helmicki A. J. and Hunt V. J., “Issues in health monitoring for intelligent infrastructure”, *Smart Materials and Structures*, 7(5): 674-692, (1998).
- [3] Doebbling S. W., Farrar C. R. and Prime, M. B., “A summary review of vibration-based damage identification methods”, *The Shock and Vibration Digest*, 30(2): 91-105, (1998).
- [4] Hooker, M. W., “Properties of PZT-based Piezoelectric Ceramics between -150 and 250 °C”, Technical Report, (1998).
- [5] Sherrit S., Yang G., Wiederick H. D. and Mukherjee B. K., “Temperature dependence of the dielectric, elastic and piezoelectric material constants of lead zirconate titanate ceramics”, *In Proceedings of the international conference on smart materials, structures and systems*, 121-126, (1999).
- [6] Baptista F. G., Budoya D. E., De Almeida V. A. and Ulson J. A., “An experimental study on the effect of temperature on piezoelectric sensors for impedance-based structural health monitoring”, *Sensors (Basel)*, 14(1): 1208-1227, (2014).
- [7] Wandowski T., Malinowski P. H. and Ostachowicz W. M., 2016, “Delamination detection in CFRP panels using EMI method with temperature compensation”, *Composite Structures*, 151: 99-107, (2016).
- [8] Xu G., Xu B., Xu C. and Luo Y., “Temperature effects in the analysis of electromechanical impedance by using spectral element method”, *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 12(1): 119-132, (2016).
- [9] Haider M. F., Giurgiutiu V., Lin B. and Yu L., “Irreversibility effects in piezoelectric wafer active sensors after exposure to high temperature”, *Smart Materials and Structures*, 26(9): 095019, (2017).
- [10] <https://www.piceramic.com/en/products/piezoceramic-materials/#c15162>
- [11] <http://ansys.net/ansys/tips/Week13 TNT Conversion of Piezoelectric Material Data. pdf>
- [12] Türker Ö., “PZT/Polimer Esaslı Aktif Titreşim Kontrolüne Uygun Akıllı Giriş Tasarımı ve İmalatı”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [13] Ajitsaria J.K., “Modelling and analysis of PZT Micropower Generator”, *PhD Thesis*, Auburn University, (2008).
- [14] <http://www.americampiezo.com>
- [15] <http://www.piezo.com/catalog8.pdf>
- [16] Giurgiutiu V., “Structural health monitoring with piezoelectric wafer active sensors”, Second Edition, Elsevier, U.S.A., (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Hava fazlalık katsayısı ve oktan sayısı değişiminin HCCL yanma karakteristiklerine ve motor performansına etkileri

## *The effects of air fuel ratio and octane number on HCCL combustion and engine performance characteristics*

Yazar(lar) (Author(s)): Alper CALAM<sup>1</sup>, Yakup İÇİNGÜR<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-4125-2127

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-8055-7295

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Calam A. ve İçingür Y. “Hava fazlalık katsayısı ve oktan sayısı değişiminin HCCL yanma karakteristiklerine ve motor performansına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 607-618, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.444377

# Hava Fazlalık Katsayısı ve Oktan Sayısı Değişiminin HCCI Yanma Karakteristiklerine ve Motor Performansına Etkileri

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Alper CALAM<sup>1\*</sup>, Yakup İÇİNGÜR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, TUSAŞ Kazan Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojisi Programı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 14.03.2018 ; Kabul/Accepted : 05.06.2018)

## ÖZ

Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motorlar yüksek termik verimleri ve düşük egzoz emisyonları nedeniyle mevcut içten yanmalı motorlara alternatif bir yanma modelidir. Bu çalışmada, port tipi enjeksiyonlu, tek silindri bir HCCI motorda hava fazlalık katsayısının ve oktan sayısının HCCI yanması üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler tam yük şartlarında, 60 °C emme havası giriş sıcaklığında ve 800 min<sup>-1</sup> motor hızında yapılmıştır. Ayrıca deneyler farklı hava fazlalık katsayılarında yapılmıştır. Oktan sayısının artırılması ile maksimum silindir içi basıncın oluşum noktası daha geç krank açılarında gerçekleşmiştir. Oktan sayısının artırılması yanma süresinin uzamasına neden olmuştur. Hava/ yakıt oranının artması basınç artış oranını azaltmıştır. Hava/yakıt oranının azaltılması silindir içerisine sürülen enerji miktarını artırmıştır. Böylece en yüksek silindir içi basınçlar bu şartlar altında elde edilmiştir. En yüksek indike termik verim RON60 yakıtı kullanımında, hava yakıt oranının 2,14 olduğu şartlarda % 40,6 olarak tespit edilmiştir. Hava yakıt oranının azaltılması yanmanın erken gerçekleşmesini sağlamıştır. Bu nedenle net iş azalmıştır. Böylece indike termik verim de azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava yakıt oranı, HCCI, yanma, RON20, RON60, egzoz emisyonları.

# The Effects of Air Fuel Ratio and Octane Number on HCCI Combustion and Engine Performance Characteristics

## ABSTRACT

Homogeneous compression ignition (HCCI) engines are an alternative combustion model to existing internal combustion engines due to their high thermal efficiency and low exhaust emissions. In this study, the effects of air fuel ratio and octane number on combustion and engine performance characteristics were investigated with port type injection single cylinder HCCI engine. Experiments were carried out at full load conditions, intake temperature of 60 °C and 800 rpm engine speed. Also, experiments were carried out with different air excess coefficients. The maximum in-cylinder pressure occurred at a later crank angle by increasing the number of octane. Increasing the octane number has caused the increase of the combustion duration. The increase of air fuel ratio decreases the pressure rise rate. Decreases of air fuel ratio has increased the amount of injected energy to the cylinder. So that, the highest in-cylinder pressures are obtained under these conditions. The highest indicated thermal efficiency 40.6 %, provided that the air fuel ratio was 2.14 with using RON60 fuel. Decreases of air fuel ratio caused the combustion advance. For this reason net work decreased. Thereby, indicated thermal efficiency decreased.

**Keywords:** Air fuel ratio, HCCI, combustion, RON20, RON60, exhaust emissions

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Petrol kökenli yakıtlara bağımlılığın fazla olması sebebiyle yakıt ekonomisi, içten yanmalı motorlar için önem arz etmektedir. Ayrıca çevresel etkiler göz önüne alındığında egzoz emisyon seviyelerine getirilen sınırlandırmalar nedeniyle, içten yanmalı motor endüstrisi olarak buji ile ateşlemeli (SI) ve sıkıştırma ile ateşlemeli (CI) motorlara daha iyi alternatifler aranmaktadır. Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motorlar son yıllarda kapsamlı araştırmalar yapılan alternatif motorlardan biridir [1, 2]. Adından da

anlaşıldığı gibi homojen bir karışım ve sıkıştırma ile ateşleme olmak üzere bu motor tipinin iki temel özelliği bulunmaktadır. HCCI motorlar bazı avantajlar vaat etmektedir. Bunlar kısaca SI motorundan daha verimli, CI motorundan ise daha temiz bir yanma olarak ifade edilebilir. SI motoru ile kıyaslandığında daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir ve daha fakir karışımlarla yanma sağlanabilmektedir [3, 4 Aynı zamanda CI motorlar ile kıyaslandığında HCCI motorlarda CI motorlarda olduğu gibi bölgesel zengin veya fakir hava/yakıt karışımı sözkonusu değildir, silindirin tüm bölgelerinde homojen bir karışımdan bahsedilebilmektedir. Bölgesel zengin karışım bulunmadığı için is emisyonları daha düşük ve düşük

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : acalam@gazi.edu.tr

sıcaklık yanması sayesinde  $NO_x$  emisyonları da CI motorlara göre oldukça düşük seviyelerdedir [5].

Bu avantajlarının yanı sıra HCCI motorların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. SI ve CI motorlardan farklı olarak HCCI motorlarda yanma başlangıcını kontrol eden bir mekanizma bulunmamaktadır. HCCI motorlarda yanma, kendi kendine başlamaktadır [6]. Yao Zheng ve ark. HCCI motorlarda kendi kendine başlayan yanmanın yakıt özelliklerine, silindir duvar sıcaklığına, emme havası giriş sıcaklığı ve basıncına, supap zamanlamasına, sıkıştırma oranına, egzoz gazı geridönüşüm (EGR) miktarına, motor hızına ve hava/yakıt oranına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir [7]. Emme havası giriş sıcaklığı ve basıncının artırılması hızlı kimyasal kinetikler sebebiyle yanmanın daha erken krank açıları başlanmasına sebep olmaktadır [8]. Vuruntu ve ateşlenememe problemlerini gidermek için değişken supap zamanlaması ve EGR kullanılmaktadır [9, 10]. Sıkıştırma oranının artırılması termik verimi artırırken aynı zamanda yanma başlangıcının da kontrol edilebilmesini sağlamaktadır [11, 12]. Hava/yakıt oranının değiştirilmesi ile yanma başlangıcı kontrol edilebilmektedir ancak egzoz emisyonları hava fazlalık katsayısı (HFk) değişiminden oldukça hassas etkilenmektedir [13].

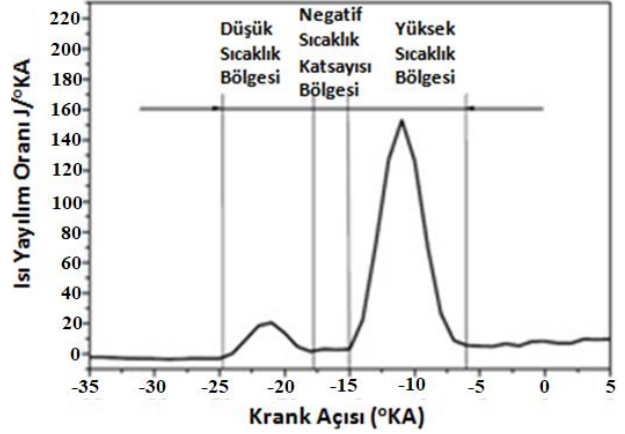
HCCI motorların yanma başlangıcının kontrolünden farklı olarak çözülmesi gereken başka problemleri de bulunmaktadır. Birincisi HCCI motorlarda kendiliğinden tutuşma, yanma odasında eşzamanlı olarak başlamaktadır. Kendiliğinden başlayan bu ani yanma, hızlı bir ısı yayılımına neden olur ve vuruntu meydana gelir. Düşük motor yüklerinde ise tekleme sorunu görülmektedir. İkincisi ise HCCI motorlarda fakir karışimli yanma neticesinde yanma sonu silindir içi gaz sıcaklıkları oldukça düşük seviyelerde seyretmektedir. Bu durum karbonmonooksit (CO) emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Çünkü CO emisyonları yanma sonu sıcaklıklarından büyük ölçüde etkilenmektedir [14-19]. Bu problemlerin giderilebilmesi için yanmanın kontrollü bir şekilde yavaşlatılması ve ısı yayılım hızının azaltılması gerekmektedir. Bunun için HCCI motorlarda EGR, değişken supap zamanlaması ve yüksek oktanlı yakıtlar kullanılabilirler [20].

Oktan sayısı HCCI yanmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Oktan sayısındaki artış HCCI yanmasındaki düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık oksidasyon bölgelerini gecikmeye almaktadır ve negatif sıcaklık bölgesinin ise uzamasına neden olmaktadır [21, 22]. Şekil 1'de HCCI yanmasının tipik ısı yayılım oranı eğrisi görülmektedir [14].

Çalışma koşulları da HCCI yanması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Karışımın zenginleşmesi ile maksimum ısı yayılımı daha erken krank açıları meydana gelmekte ve daha yüksek olmaktadır. Karışımın fakirleştirilmesi ve oktan sayısının düşürülmesi ise yanma veriminin artmasını sağlamaktadır [21].

HCCI motorların en temel sorunlarından bir diğeri çalışma aralığının oldukça dar olmasıdır. Araştırmacılar

HCCI motorların çalışma aralığını genişletebilmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadırlar. Eğer mümkün olan en geniş çalışma aralığı sağlanabilirse, yüksek termik verime ve düşük egzoz emisyonlarına sahip HCCI motorların gelecekte kullanılabilme imkanı doğacaktır [23-25].



Şekil 1. HCCI yanmasının tipik ısı yayılım oranı eğrisi (Typical heat release rate curve for HCCI combustion)

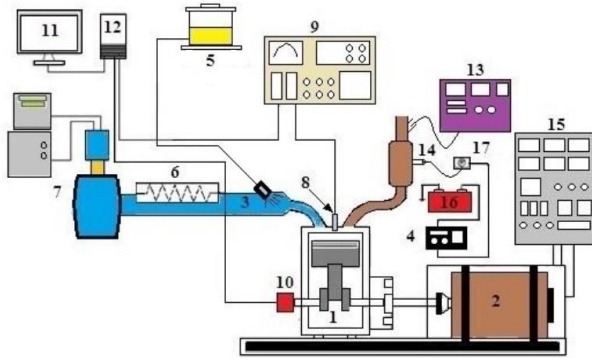
Bu çalışmada 60 °C emme havası giriş sıcaklığında, 800  $min^{-1}$  motor hızında, sıkıştırma oranının 12:1 olduğu çalışma şartlarında, port tipi yakıt enjeksiyon sistemine sahip buji ile ateşlemeli bir motordan dönüşümü gerçekleştirilmiş HCCI motorda, RON20 ve RON60 yakıtı kullanımında, hava fazlalık katsayısının HCCI yanmaya etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, buji ile ateşlemeli motordan HCCI motora dönüşümü gerçekleştirilmiş Ricardo Hydra deney motorunda gerçekleştirilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 1'de, deney düzeneğinin şematik görünümü ise Şekil 2'de görülmektedir.

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri (The technical properties of the test engine)

Markası	Ricardo Hydra
Silindir sayısı	1
Çap (mm) X Kurs (mm)	80,26 X 88,90
Sıkıştırma Oranı	9:1 - 12:1
Maks. güç (kW)	15
Maks. motor hızı ( $min^{-1}$ )	5400
Supap sistemi	Düşey iki supap
Yakıt sistemi	Port tipi enjeksiyon
Emme supabı açılma zamanlaması	ÜÖN'dan 12 ° KA önce
Emme supabı kapanma zamanlaması	AÖN'dan 56 ° KA sonra
Egzoz supabı açılma zamanlaması	AÖN'dan 56 ° KA önce
Egzoz supabı kapanma zamanlaması	ÜÖN'dan 12° sonra
Supap kalkma miktarı (mm)	Emme 5,5mm, egzoz 3,5mm



1. Deney motoru 2. DC dinamometre 3. Port tipi yakıt enjeksiyon sistemi 4. ECU 5. Hassas terazi 6. Emme havası ısıtma tertibatı 7. Laminer hava akış ölçüm sistemi 8. Silindir basınç sensörü 9. Yanma analiz cihazı 10. Enkoder 11. Bilgisayar 12. Veri toplama kartı 13. Egzoz gazı analiz cihazı 14. UEGO sensör 15. Dinamometre kontrol paneli 16. Akü 17. Lambda göstergesi  
**Şekil 2.** Deney düzeneğinin şematik görünümü (The schematic view of the experimental setup)

Deneyler esnasında yakıt, enjeksiyon sistemi kullanılarak emme manifolduna püskürtülmüştür. Yakıt miktarı, kontrol paneli üzerinde yer alan yakıt kontrol sistemi kullanılarak ayarlanmıştır. Hava/yakıt oranının sabit tutulabilmesi ve yakıt tüketiminin belirlenebilmesi için yakıt kontrol paneli üzerinde yer alan potansiyometrede 100 eşit parçaya ayrılmış bölüntüler kullanılmıştır. Bu bölüntüler aracılığıyla enjektörün püskürtme karakteristiği tespit edilmiş ve yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Aynı zamanda püskürtülen yakıt miktarının değiştirilmesiyle farklı HFK değerlerinde HCCI yanma sağlanmıştır.

Kontrol panelindeki yakıt püskürtme miktarının ayarlandığı skala 1,0 pozisyonuna alınmış ve motor sabit bir devirde çalıştırılmıştır. Yakıt deposu 0.01g hassasiyetinde terazi üzerine yerleştirilmiştir ve motorun 60 saniyede tükettiği yakıt verisi kaydedilmiştir. Aynı motor hızında yakıt skalasının pozisyonu değiştirilerek birim zamanda püskürtülen yakıt miktarı belirlenmiş ve enjektörün birim zamanda püskürttüğü yakıt karakteristik eğrisi elde edilmiştir.

Eğrinin doğru denklemi çıkarıldığında Eş. 1'deki ifade elde edilmiş ve yakıt tüketimi her motor hızında ve tüm hava/yakıt oranı şartlarında belirlenmiştir.

$$y = (5 \times 10^{-5} \times x^2 + 0.0029 \times x + 0.0183) \times \frac{n}{60 \cdot 2} \quad (1)$$

Bu ifadede  $x$  yakıt skalasında okunan değeri,  $n$  motor hızını,  $y$  ise yakıt tüketimini g/s cinsinden ifade etmektedir.

Deney motoru 6500 min<sup>-1</sup>'de 30 kW güç absorbe edebilen McClure marka elektrikli tip dinamometreye bağlanmıştır. Emme havası giriş sıcaklığı ısıtma sistemi emme manifoldunun motor bloğuna bağlandığı noktanın hemen önünde bulunmaktadı. Emme havası giriş sıcaklığı, ısıtma sisteminin hemen arkasında yer alan K tipi termokupl kullanılarak ölçülmüş ve sıcaklık kapalı

devre denetleyicisi ile sabit tutulmuştur. Silindir içi basıncın ölçümü için Kistler 6121 piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Çizelge 2'de basınç sensörünün teknik özellikleri görülmektedir.

**Çizelge 2.** Basınç sensörünün teknik özellikleri (The technical properties of the pressure sensor)

Marka / model	Kistler 6121 piezoelektrik
Çalışma aralığı (bar)	0 - 250
Ölçüm hassasiyeti (pC/bar)	14,7
Çalışma sıcaklığı (°C)	-50 - 350
Ölçüm toleransı (+/- %)	0.5

Silindir içi ham basınç sinyalleri Cussons P4110 yanma analiz cihazı ile toplanmış ve yükseltilmiştir. Alınan analog silindir içi basınç sinyalleri National Instruments marka USB 6259 model veri toplama kartında dijital sinyallere dönüştürülmüştür. Silindir içi pistonun konumunu belirlemek için krank mili üzerine bir enkoder bağlanmıştır. Enkoder her 0,36° krank açısında (KA) sinyal üretmektedir. Dolayısı ile bir çevrim için 2000 adet veri kaydedilmektedir. Dönüştürülen silindir içi basınç sinyalleri ve pistonun pozisyonu bilgisayara kaydedilmiştir. Her bir deney şartı için ardışık 50 çevrim boyunca elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.

Motor ilk çalıştırma esnasında buji ile ateşlemeli motor modunda çalıştırılmıştır. Çalışma sıcaklığına ulaşıldığında ateşleme sistemi kapatılarak HCCI yanma sağlanmıştır. HCCI modunda çalışma sağlandıktan sonra kararlı bir çalışma için yağlama yağı ve soğutma suyu sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Deneyler 800 min<sup>-1</sup> motor hızında 60 °C emme havası giriş sıcaklığında, sıkıştırma oranının 12:1 olduğu çalışma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde araştırma oktan sayısı 20 (RON20) ve araştırma oktan sayısı 60 (RON60) olan deney yakıtları kullanılmıştır. RON20 %20 izooktan ile %80 n-heptan, RON60 ise %60 izooktan ile %40 n-heptan yakıtlarının hacimsel karışımından meydana gelmektedir. Deney yakıtlarının kimyasal özellikleri Çizelge 3'de görülmektedir.

**Çizelge 3.** İzooktan ve n-heptan yakıtlarının özellikleri (The properties of the iso-octane and n-heptane fuels)

	n-Heptan	İzooktan
RON	0	100
Kimyasal formül	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Molar kütlesi (g/mol)	100,21	114,23
Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> at 15,4°C)	695	692
Kaynama noktası (K)	371	372.2-372.6
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44566	44310

Silindir içi basınç, ardışık 50 çevrim boyunca elde edilen verilerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çevrim başına 2000 veri kaydedilirken 50 çevrimde toplam 100000 verinin ortalaması alınmıştır. Bunun için MATLAB programlama kodu kullanılarak bir algoritma

hazırlanmıştır. MATLAB algoritması kullanılarak silindir içi basınç, ısı yayılım oranı, indike ortalama efektif basınç (İMEP), yanma başlangıcı, yanma süresi, ve termik verim hesaplanmıştır. Isı yayılım oranının belirlenebilmesi için termodinamiğin birinci yasasından faydalanılmıştır. Bu nedenle bir çevrim boyunca kütle ve gaz kaçakları ihmal edilmiştir. Silindirden silindir duvarına gerçekleşen ısı transferi, ısı yayılım oranını belirlemek için hesaplanmıştır. Krank açısına bağlı olarak ısı yayılım oranı Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{isi}}{d\theta} \quad (2)$$

Burada  $dQ$  net ısı çıkışıdır,  $P$  ve  $V$  silindir basıncı ve silindir hacmidir.  $d\theta$  krank açısının değişimi ve  $k$  özgül ısıların oranıdır.  $\frac{dQ_{isi}}{d\theta}$  ise silindirden silindir duvarına ısı transferini ifade eder.

Newton'un soğutma yasasına göre içten yanmalı motorlarda silindir yüzeylerine olan ısı transferi Eş. 3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{dQ_{isi}}{d\theta} = \frac{1}{6 \times n} \times h_g \times A \times (T_g - T_w) \quad (3)$$

Burada  $n$  motor hızını,  $h_g$  anlık ısı taşınım katsayısını,  $A$  krank açısına bağlı ısı transferi yüzey alanını,  $T_g$  krank açısına bağlı anlık silindir içi ortalama gaz sıcaklığını ve  $T_w$  silindir duvar sıcaklığını ifade etmektedir.

Termik verim Eş. 4 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_T = \frac{W_{net}}{\dot{m}_{izooktan} \times Q_{LHV izooktan} + \dot{m}_{n-heptan} \times Q_{LHV n-heptan}} \quad (4)$$

Burada,  $W_{net}$  net işi,  $\dot{m}_{izooktan}$  ve  $\dot{m}_{n-heptan}$  izooktan ve n-heptanın çevrim başına yakıt tüketimini,  $Q_{LHV izooktan}$  ve  $Q_{LHV n-heptan}$  ise izooktan ve n-heptan yakıtlarının kalorifik değerlerini ifade etmektedir.

Net iş Eş.5 ile hesaplanmıştır.

$$W_{net} = \int PdV \quad (5)$$

İMEP değerleri, silindir sayısına, silindir hacmine ve motor hızına bağlı olmadığından, motor veriminin belirlenmesinde temel bir parametre olarak kullanılabilir. İMEP için kurs hacmine bölünmesi ile elde edilmektedir. İMEP Eş. 6'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Burada  $V_{kurs}$  kurs hacmini ifade etmektedir.

$$\dot{IMEP} = \frac{W_{net}}{V_{kurs}} \quad (6)$$

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

HCCI yanmasının etkileyen en önemli parametrelerden biri hava/yakıt oranıdır. Yanma odasının tüm bölümlerinde aynı anda başlayan ani yanma, bölgesel olarak oluşmuş fakir karışım bölgelerinin de tutuşmasına sebep olarak ateşlenememe problemini giderir. Fakat aşırı fakir karışımlarda ateşlenememe problemi kaçınılmaz olarak yine de görülür. Zengin karışımlarda ise, silindir içerisine sürülen yakıt enerjisinin fazla olması ve bütün ısının ani bir şekilde çok küçük krank mili açılarında yani hemen hemen sabit hacimde açığa çıkması basınç artış oranını yükseltmektedir. Bunun sonucu olarak da HCCI motorlarda aşırı vuruntu meydana gelmektedir. Bu durum HCCI motorunun aşırı zengin karışımlarda çalışmasını sınırlandırmaktadır. Ayrıca aşırı zengin karışımlarda yakıt moleküllerinin yeteri kadar oksijen molekülü bulamaması sebebiyle de yakıtın kendi kendine tutuşması gerçekleşmeyebilir.

Şekil 3 (a) ve Şekil 3 (b)'de 12:1 sıkıştırma oranında, 800 min<sup>-1</sup> motor hızında, 60 °C emme havası giriş sıcaklığında, RON20 ve RON60 yakıtları kullanımında silindir içi basınç ve ısı yayılım oranının farklı HFK değerlerinde krank açısına bağlı değişimi görülmektedir.

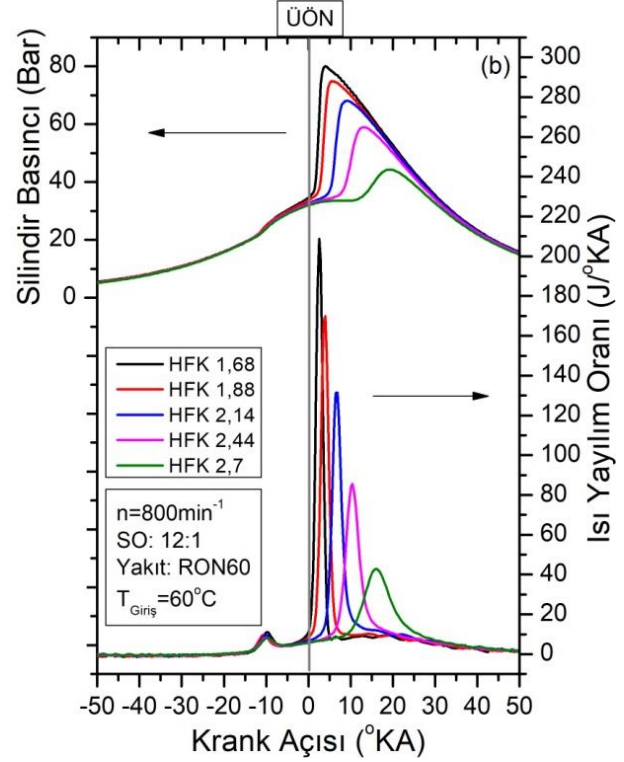
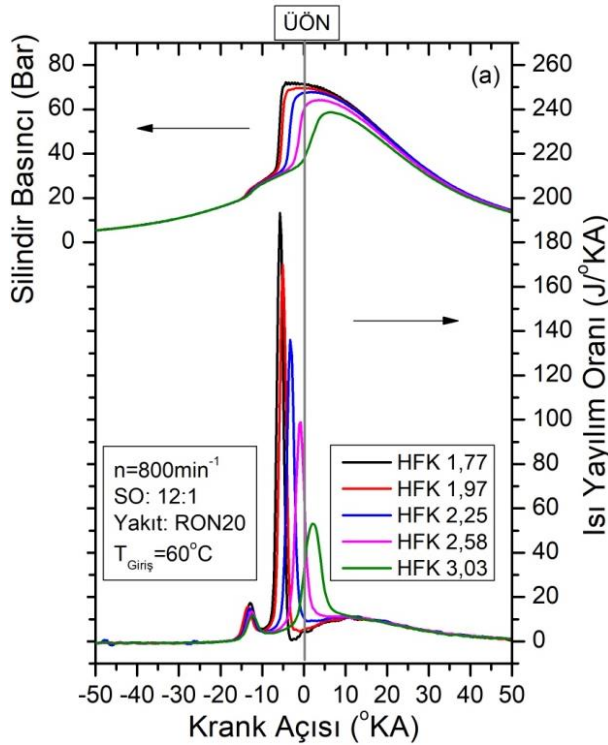
Şekil 3 (a)'da silindir içi basınç eğrileri incelendiğinde hava fazlalık katsayısının 1.77 olduğu zengin karışımda maksimum silindir içi basınç -4.32 °KA'da 72.3 Bar olarak elde edilirken, hava fazlalık katsayısının 3.03 olduğu fakir karışımda maksimum silindir içi basınç 6.12 °KA'da 58.63 Bar olarak elde edilmiştir. Karışımın zenginleşmesi ile silindir içi basıncın arttığı ve maksimum silindir içi basıncın daha erken bir krank açısında meydana geldiği görülmüştür. HFK'nın azaltılması ile silindir içerisine sürülen yakıt miktarı artmakta ve dolayısıyla açığa çıkan ısı enerjisi miktarı da artmaktadır. Bu nedenle zengin karışım şartlarında daha yüksek silindir içi basınçları elde edilmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda silindir içerisinden daha fazla yakıtın bulunması, yakıt moleküllerinin oksijen molekülleri ile daha fazla temas etmesini sağlamakta ve hava/yakıt karışımının kendi kendine ateşlenebilmesi için gerekli olan uygun şartların daha kolay oluşmasını sağlamakta ve dolayısı ile yanma daha erken bir krank açısında meydana gelmektedir.

Şekil 3 (a)'da ısı yayılım oranını ifade eden eğriler incelendiğinde HCCI yanmasının genel bir karakteristiği olan iki aşamalı yanma gerçekleşmiştir. HFK'nın 1,77 olduğu zengin karışımda düşük sıcaklık yanmasının maksimum ısı yayılım oranı -12.96 °KA'da 17.40 J/°KA olarak gerçekleşirken, HFK'nın 3.03 olduğu fakir karışımda düşük sıcaklık yanmasının maksimum ısı yayılım oranı -12.24 °KA'da 11.85 J/°KA olarak gerçekleşmiştir. Yüksek sıcaklık yanma aşaması incelendiğinde HFK'nın 1.77 olduğu zengin karışım için maksimum ısı yayılım oranı -5.76 °KA'da 193.31 J/°KA olarak elde edilirken, HFK'nın 3.03 olduğu fakir karışım için maksimum ısı yayılım oranı 1.8 °KA'da 52.44 J/°KA

olarak elde edilmiştir. Düşük sıcaklık yanması esnasında kimyasal reaksiyon hızı düşüktür ve yakıt tam olarak tutuşmamaktadır. Düşük sıcaklık yanması esnasında bir yandan silindir içerisindeki yakıt hızla buharlaşmakta ve diğer yandan sıkıştırma işlemi devam ettiği için silindir içi sıcaklık artmaya devam etmektedir. Bu durumun sonucunda ÜÖN'ya yakın bir noktada eşzamanlı olarak silindir içerisinde bütün bölgelerde ani bir yanma gerçekleşmekte ve bu durum küçük bir krank açısında çok yüksek oranda ısının açığa çıkmasına sebep olmaktadır.

Karışımın zenginleşmesi sonucunda silindir içerisine sürülen yakıt enerjisi arttığı için maksimum ısı yayılım oranı fakir karışımlara göre daha yüksek olmaktadır. Ayrıca zengin karışımlarda yanma sonu gaz sıcaklıkları fakir karışımlara göre daha yüksek olmaktadır. Silindir içerisinde kalan daha yüksek sıcaklıktaki art egzoz gazları bir sonraki çevrimde silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımının sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve bu durum yakıtın oksidasyonunu kolaylaştırarak HCCI yanmasının birinci ve ikinci aşamasının daha erken bir krank açısında gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Şekil 3 (b) incelendiğinde Şekil 3 (a) ile aynı deney şartlarında deney yakıtı olarak RON60 yakıtı kullanılmıştır. Şekil 3 (b)'de silindir içi basınç eğrileri incelendiğinde HFK'nın 1.68 olduğu zengin karışımda maksimum silindir içi basınç 3.96 °KA'da 79.97 Bar olarak elde edilirken, HFK'nın 2.7 olduğu fakir karışımda maksimum silindir içi basınç 19.08 °KA'da 44.31 Bar olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Silindir içi basınç ve ısı yayılım oranlarının farklı HFK değerlerinde krank açısına bağlı değişimi (The effect of air fuel ratio on in-cylinder pressure and heat release rate)

Şekil 3 (b)'de ısı yayılım oranını ifade eden eğriler incelendiğinde HFK'nın 1.68 olduğu zengin karışımda düşük sıcaklık yanmasının maksimum ısı yayılım oranı -9.72 °KA'da 11.11 J/°KA olarak gerçekleşirken, HFK'nın 2.7 olduğu fakir karışımda düşük sıcaklık yanmasının maksimum ısı yayılım oranı -9 °KA'da 8.13 J/°KA olarak gerçekleşmiştir.

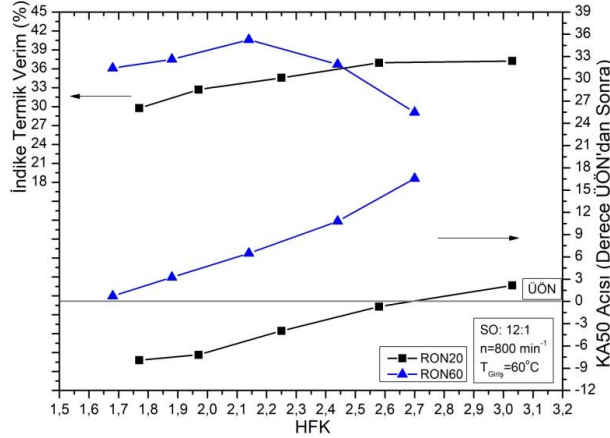
Yüksek sıcaklık yanma aşaması incelendiğinde HFK'nın 1.68 olduğu zengin karışım için maksimum ısı yayılım oranı 2.52 °KA'da 208.77 J/°KA olarak elde edilirken, HFK'nın 2.7 olduğu fakir karışım için maksimum ısı yayılım oranı 16.02 °KA'da 42.76 J/°KA olarak elde edilmiştir.

Şekil 3 (a) ve Şekil 3 (b) beraber incelendiğinde deney yakıtlarının oktan sayısının artmasıyla daha dar bir HFK aralığında HCCI yanma sağlanırken aynı zamanda RON60 yakıtı kullanımında tutuşmaya karşı direnç de artış göstermiş ve maksimum silindir içi basınç ile ısı yayılım oranı gecikmeye alınmıştır.

Şekil 4'de indike termik verim ve KA50 açısının RON20 ve RON60 yakıtlarıyla, sıkıştırma oranının 12:1 olduğu çalışma şartlarında HFK'ya bağlı değişimi görülmektedir. RON20 yakıtı kullanımında ve HFK'nın 1.77 olduğu zengin karışım çalışmada indike termik verim % 29.7 iken, karışımın fakirleşmesi ile HFK 3.03 seviyesine gelene kadar indike termik verim % 37.2'ye kadar yükselmiştir. Karışımın zenginleşmesi ile KA50 açısının daha erken bir krank açısında gerçekleştiği görülmüştür. Karışımın fakirleşmesi sonucu KA50



açısının ÜÖN'dan 2.16 °KA sonrasına kadar gerilediği görülmüştür. RON60 yakıtı kullanımında ise HFK'nın 1.68 olduğu zengin karışimli çalışmada KA50 açısı 0,72 °KA'da ve indike termik verim % 36.1 ölçülmüştür. RON60 yakıtı kullanımında karışımın fakirleştirilmesiyle HFK'nın 2,7 olduğu ve KA50 açısının bu şartlarda 16.56 °KA olduğu durumda indike termik verim % 30.1 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. İndike termik verim ve KA50 açısının değişimi (The variation of CA50 and indicated thermal efficiency)

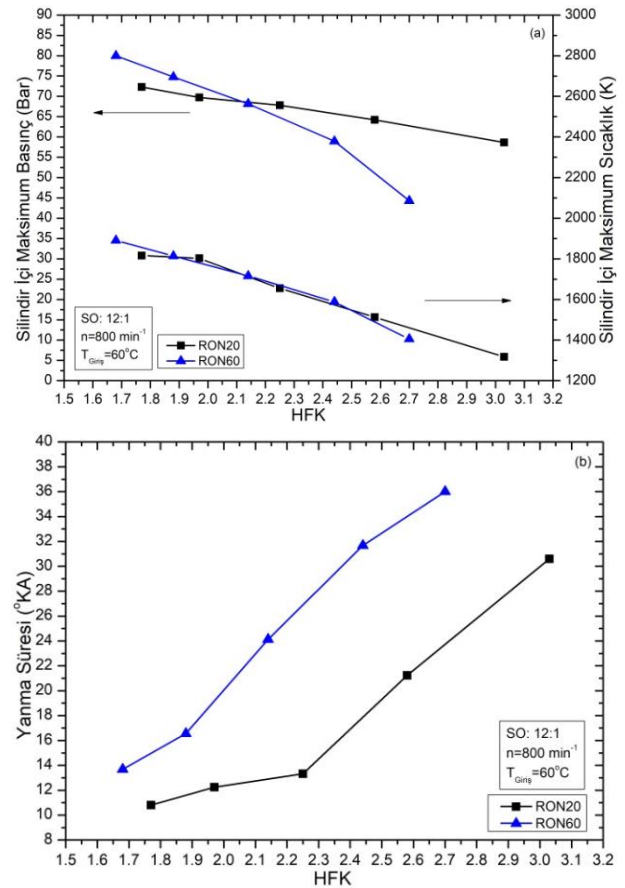
KA50 açısı kümülatif ısı yayılımının %50'sinin açığa çıktığı krank açısını ifade etmektedir ve KA50 açısının yeri indike termik verimi doğrudan etkilemektedir. KA50 açısının ÜÖN'dan önce oluşması, açığa çıkan ısı enerjisinin ve yüksek basıncın pistonun aksi yönünde bir kuvvet oluşturmaya ve dolayısıyla piston tarafından yapılacak olan net işin azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum ise indike termik verimin azalmasını sağlamaktadır. Tüm deney yakıtları ile yapılan deneysel çalışmalar Şekil 4'de incelendiğinde pistonun ÜÖN'ı aşip genişleme zamanının başladığı krank açılarındaki indike termik verimin maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. RON20 yakıtı ile HFK'nın 3.03 ve KA50 açısının 2,16 °KA olduğu şartlarda indike termik verim % 37.2, RON60 yakıtı ile HFK'nın 2.14 olduğu ve KA50 açısının 6.48 °KA olduğu şartlarda ise indike termik verim % 40.6 olarak tespit edilmiştir. Özellikle RON60 yakıtı kullanımında HFK'nın 2.14'ten sonraki fakir karışım şartlarında yakıtın yanmaya karşı gösterdiği direnç ile KA50 açısı çok fazla gecikmeye alınmış ve indike termik verim düşme eğilimi göstermiştir.

Şekil 5 (a)'da RON20 ve RON60 yakıtları ile yapılan deneylerde maksimum silindir içi basınç ve gaz sıcaklıklarının HFK'ya bağlı değişimleri görülmektedir. Her iki test yakıtı için de HFK arttıkça silindir içi maksimum basınç ve gaz sıcaklıklarının azaldığı görülmektedir.

Zengin karışımlarda silindire sürülen yakıt enerjisinin fazla olması silindir içi maksimum basıncın ve gaz sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır. Yanma odasında yakıt daha kolay okside olmakta ve açığa çıkan ısı enerjisi artış göstermektedir. Zengin karışım bölgelerinde RON60 yakıtı ile elde edilen silindir içi

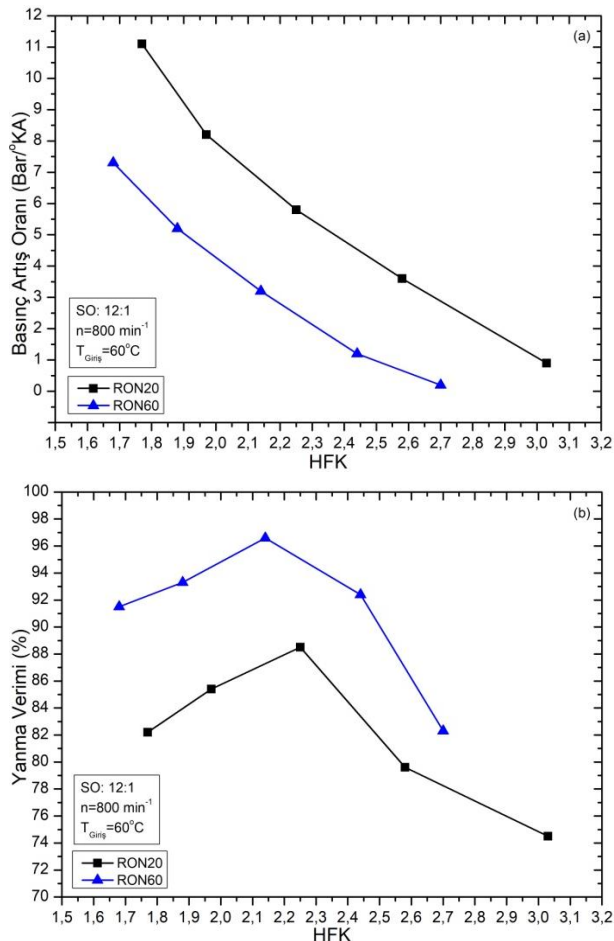
maksimum basınç değerleri RON20 yakıtına göre yüksek iken, HFK'nın fakirleştiği şartlarda Şekil 4'de görülen KA50 açısının gecikmeye alınmasıyla silindir içi maksimum basınç da düşme eğilimi göstermektedir. Silindir içi maksimum gaz sıcaklıkları zengin karışım bölgelerinde 1800 K üzerinde iken, karışımın fakirleşmesiyle silindir içine sürülen enerjinin de azalmasıyla silindir içi gaz sıcaklıkları da düşme eğilimi göstermiştir.

Şekil 5(b)'de HFK'ya bağlı olarak RON20 ve RON60 yakıtlarının krank açısı cinsinden yanma süreleri görülmektedir. Her iki test yakıtı için de HFK arttıkça yanma süresinin uzadığı görülmektedir. HFK arttıkça yanma sonu gaz sıcaklığı azalmakta ve daha uzun süren bir yanma görülmektedir. Fakir karışımlarda yanma odasının genelinde silindir içi gaz sıcaklığı azaldığından kendiliğinden gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları daha geç tamamlanmaktadır. Tüm HFK değerlerindeki deney şartları incelendiğinde oktan sayısının artışı ile HCCI yanması gecikmeye alınmakta ve daha uzun sürmektedir. RON20 yakıtı özellikle zengin karışimli çalışma şartlarında RON60 yakıtlarına göre daha kolay tutuşmakta ve yanma daha kısa sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 5(a). Maksimum gaz sıcaklığı ve basıncın değişimi (The variation of maximum gas temperature and pressure)  
Şekil 5(b). Yanma süresinin değişimi (The variation of combustion duration)

Şekil 6(a)'da RON20 ve RON60 yakıtları ile yapılan deneylerde basınç artış oranının HFK'ya bağlı değişimi görülmektedir. Basınç artış oranı krank açısı başına piston üzerine uygulanan basıncı ifade etmektedir ve içten yanmalı motorlarda basınç artış oranının 10 bar/°KA üzeri vuruntuyu ifade etmektedir [26]. Her iki test yakıtı için de HFK arttıkça basınç artış oranı azalmaktadır. Çünkü karışımın fakirleşmesiyle yanma sonucu açığa çıkan basınç da azalmaktadır. Homojen karışımın zenginleşmesi, yanma odasında bir kaç noktadan aynı anda kimyasal oksidasyon reaksiyonlarının başlamasına neden olmakta, silindir içi basınç çok küçük krank açısı aralıklarında gereğinden çok hızlı bir şekilde artmaktadır. RON20 yakıtı kullanımında 1,77 HFK değerinde basınç artış oranının 10 bar/°KA aştığı ve vuruntunun söz konusu olduğu görülmektedir. Ancak RON60 yakıtı kullanımında 1,68 HFK değerlerinde dahi daha stabil HCCI yanmasının gerçekleştiği, vuruğu sınırından uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum HCCI yanmasında yüksek oktanlı yakıtların kullanımı ile vuruğu oluşumunu engellemekte ve daha kararlı çalışma şartları sağlandığını göstermektedir.



Şekil 6 (a). Basınç artış oranının değişimi (The variation of pressure rise rate) Şekil 6(b). Yanma veriminin değişimi (The variation of combustion efficiency)

HCCI yanmasında yanma karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden biri de yanma verimidir. Yanma verimi yanma sonu gazların sıcaklığından ve silindir duvar sıcaklığından etkilenmektedir. Şekil 6(b)'de RON20 ve RON60 yakıtları ile yapılan deneylerde yanma veriminin HFK'ya bağlı değişimi görülmektedir. Zengin karışımlarda yanma odasında oksijen konsantrasyonunun azalması yanma oranını azaltmaktadır. Bununla birlikte zengin karışımlarda aniden meydana gelen düzensiz yanma sonucu silindir cidarlarından soğutma sistemine transfer edilen ısı artmakta ve yanma verimi azalmaktadır. Aynı şekilde çok fakir karışımlarda da yanma sonu silindir içi gaz sıcaklıkları azalmaktadır. Ayrıca silindir cidarlarına yakın bölgelerde kendiliğinden oksidasyon reaksiyonları gerçekleşmemekte ve alev sönebilmektedir. Sonuç olarak silindir cidarlarına yakın bu bölgelerde sıcaklık azaldığından yanma verimi azalmaktadır. Şekil 6(b) incelendiğinde, en yüksek yanma verimi HFK'nın 2.14 olduğu şartlarda RON60 yakıtı ile elde edilmiştir. RON60 yakıtının yüksek oktan sayısı ile HCCI yanmasında ani ve hızlı şekilde gerçekleşen yanmanın kontrol altında tutulması sağlanmıştır. RON60 yakıtı ile daha geç yanan homojen karışım sayesinde yanma bir miktar gecikmeye alınarak yanma odasında kendiliğinden tutuşma şartlarının hazırlanabilmesi sağlanmıştır. Bu süreçte yanma odasındaki sıcaklık ve basınç kendiliğinden tutuşmanın olabileceği sıcaklığa kadar yükselmektedir. Sonuçta daha kararlı bir HCCI yanması sağlanarak yanma verimi artırılabilir. RON60 yakıtı ile HFK'nın 2.14 olduğu şartlarda yanma verimi yaklaşık % 97 olarak elde edilmiştir. RON20 yakıtı ile yapılan deneylerde yanmanın daha erken krank açılarında meydana gelmesi sonucu pistonun ÜÖN'ya ulaşmadan silindir içi basınç ve sıcaklık maksimum seviyeye çıktığından negatif iş artış göstermektedir. Bu durum hem net işin hem de yanma veriminin azalmasına neden olmaktadır.

İndike ortalama efektif basınç (İMEP), bir çevrim boyunca krank açısına bağlı olarak piston üzerine uygulanan basınçların ortalamasını ifade eden ve motor performansını gösteren bir parametredir. Şekil 7(a)'da RON20 ve RON60 yakıtları ile yapılan deneylerde İMEP ve fren ortalama efektif basıncın (BMEP) HFK'ya bağlı değişimi görülmektedir. Her iki test yakıtı için de HFK arttıkça İMEP ve BMEP'in azaldığı görülmektedir. Karışımın fakirleşmesi sonucu silindire alınan enerji miktarı ve yanma sonucu açığa çıkan ısı azalmaktadır. Fakir karışımın kendiliğinden tutuşması sonucu oksidasyon reaksiyonları ve alev hızı azalmaktadır ve böylece yanma sonucunda piston üzerine uygulanan basınç azalmaktadır. Bununla birlikte fakir homojen karışımın tutuşması ile yanma odasında daha düşük sıcaklıklar elde edilmekte, silindir cidarlarına yakın lokal bölgelerde gaz sıcaklığı azalmaktadır. En düşük İMEP ve BMEP değerlerinin RON20 yakıtı ile elde edildiği görülmektedir. RON20 yakıtı ile homojen karışımın ani olarak tutuşması, yanma odasında basınç

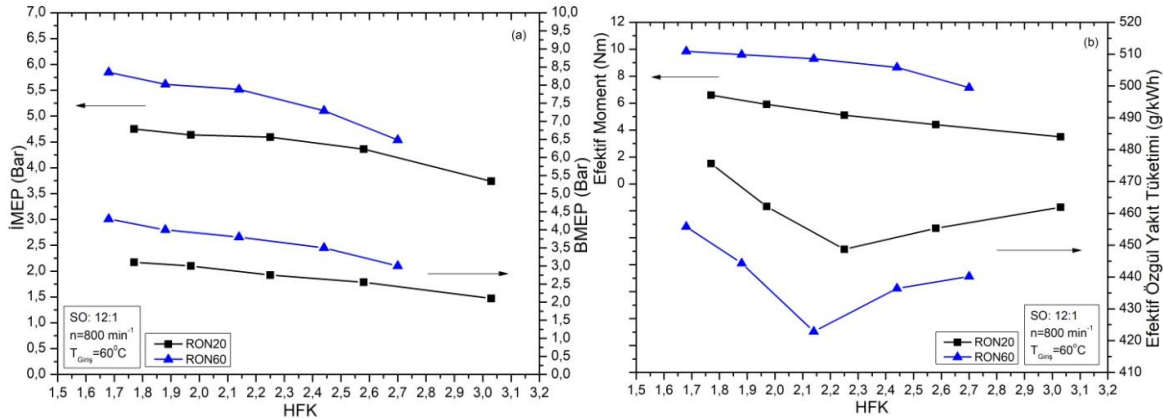
dalgalanmalarına ve kararsız bir HCCI yanmasının gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Ani ve düzensiz şekilde meydana gelen ve kendiliğinden gerçekleşen bu kimyasal reaksiyonlar ile piston üzerine uygulanan basınç azalmaktadır. RON60 yakıtı ile yanma daha geç başlamasına rağmen homojen karışımın zengin olması İMEP ve BMEP değerlerini RON20 yakıtına göre artırmıştır. Oksidasyon reaksiyonlarına katılan yakıt moleküllerinin fazla olması, açığa çıkan enerjinin artmasına neden olmaktadır.

Şekil 7(b)'de RON20 ve RON60 yakıtları ile yapılan deneylerde efektif moment ve efektif özgül yakıt tüketiminin HFK'ya bağlı değişimi görülmektedir. Efektif moment incelendiğinde İMEP'e benzer değişimler görülmektedir. Her iki test yakıtı için de HFK arttıkça efektif moment azalmaktadır. İMEP değişimine benzer şekilde minimum efektif moment değerleri RON20 yakıtı ile elde edilmiştir. Efektif özgül yakıt tüketimi birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarını ifade etmektedir. Tüm test yakıtları için efektif özgül yakıt tüketimi belli bir HFK değerine kadar azalmış daha sonra artma eğilimine girmiştir. Zengin karışimli HCCI çalışmasında yanma odasındaki oksijen konsantrasyonunun azalması yanma oranını azaltmakta, efektif özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Fakir karışimli HCCI çalışmasında ise yanma sonu gaz sıcaklığı azalmakta ve kendi kendine tutuşmanın gerçekleşeceği gaz sıcaklıklarına ulaşamamaktadır. Bunun sonucunda yakıtın tamamı yanmaya katılamamakta ve efektif özgül yakıt tüketimi tekrar artış göstermektedir. Minimum efektif özgül yakıt tüketimi değerleri RON60 yakıtı ile elde edilmiştir. Şekil 4 ve

ateşlenememe ve vuruntu bölgelerinin belirlenmesi için  $COV_{IMEP}$  değerleri hesaplanmıştır. İçten yanmalı motorların kararlı bir şekilde sarsıntısız çalışması için  $COV_{IMEP}$  değerinin % 10'u geçmemesi istenmektedir. HCCI motorlarda özellikle ateşlenememe sınırına yakın bölgelerde  $COV_{IMEP}$  aşırı bir şekilde yükselmekte, düşük ve kısmi yüklerde HCCI motorunun çalışmasını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda, ateşlenememe bölgesinde çevrimsel farklılıkların çok fazla olması çevrimler arasındaki yanma oranlarının farklı olmasının, yani yanmanın başarısız olmasının da bir göstergesidir. Bu durum CO ve HC emisyonlarının artmasına, motor gücü ile termik verimin azalmasına ve motorun gürültülü çalışmasına neden olmaktadır.

Şekil 8'de ardışık 50 çevrimin farklı oktan sayısına sahip yakıt kullanımında, farklı HFK değerlerinde İMEP'in değişimi görülmektedir. Tüm yakıtlarda vuruntu sınırı bölgesindeki zengin karışımdan ateşlenememe sınırındaki fakir karışım bölgesine doğru ilerlerken  $COV_{IMEP}$ 'in belirli bir HFK değerine kadar azaldığı ancak daha sonra ateşlenememe sınırına yaklaştıkça hızlı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 8(a)'da RON20 yakıtı kullanımında HFK'nın 3.03 olduğu fakir karışım bölgesinde  $COV_{IMEP}$  % 10.9, Şekil 8(b)'de RON60 yakıtı kullanımında HFK'nın 2.7 olduğu fakir karışım bölgesinde  $COV_{IMEP}$  % 7.5 olarak elde edilmiştir. Aşırı fakir karışımlarda  $COV_{IMEP}$ 'in yükselmesinin temel sebebi yanmanın gecikmeye alınarak KA50 açısının ÜÖN'dan giderek uzak noktada meydana gelmesidir. Sıkıştırma zamanı boyunca, piston ÜÖN'ya doğru hareket ederken silindir içerisindeki karışımın sıkıştırılması ve karışımın sıcaklığının hızlı bir şekilde



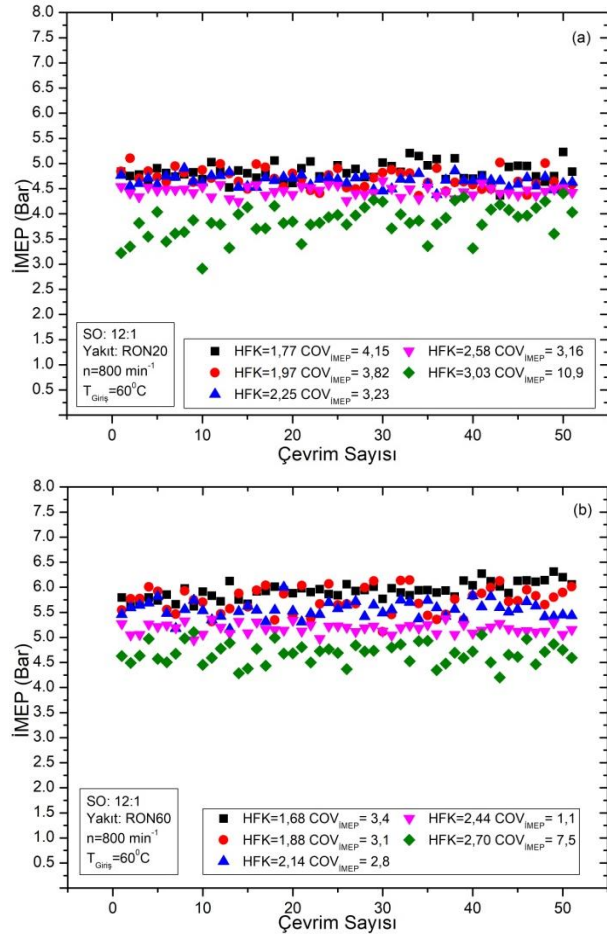
Şekil 7(a). İMEP ve BMEP'in değişimi (The variation of IMEP and BMEP) Şekil 7(b). Moment ve özgül yakıt tüketiminin değişimi (The variation of torque and specific fuel consumption)

Şekil 7(b) beraber incelendiğinde RON60 yakıtı ile yapılan deneylerde HFK'nın 2.14 olduğu deney şartlarında minimum özgül yakıt tüketimi ve maksimum termik verimin elde edildiği görülmektedir.

Gerçekleştirilen deneylerde indike ortalama efektif basınç varyans katsayısı ( $COV_{IMEP}$ ) değerlerinin belirlenebilmesi için 50 ardışık çevrimin silindir içi basınç verileri işlenmiştir. HCCI motorun çalışma aralığının tespit edilebilmesinde önemli bir sınır olan

artması ile ÜÖN'ya yakın bir yerde karışımın reaktivitesi iyice artarak yanma odasında birçok noktadan eş zamanlı bir yanma gerçekleşmektedir. Piston ÜÖN'yu aştıktan sonra ise genişleme zamanının başlaması ile gazların sıcaklığı hızla düşmektedir. Yanma odasının sıcaklığının düşmesi kendi kendine tutuşma reaksiyonlarının oranını yavaşlatmaktadır. Bu yüzden yanabilir dolgunun açığa ısı çıkarması için gerekli olan zaman artmakta yani yanma süresi uzamaktadır. Silindir içi gaz sıcaklığının düşmesi ile kimyasal reaksiyon oranı düşmekte, bu yüzden

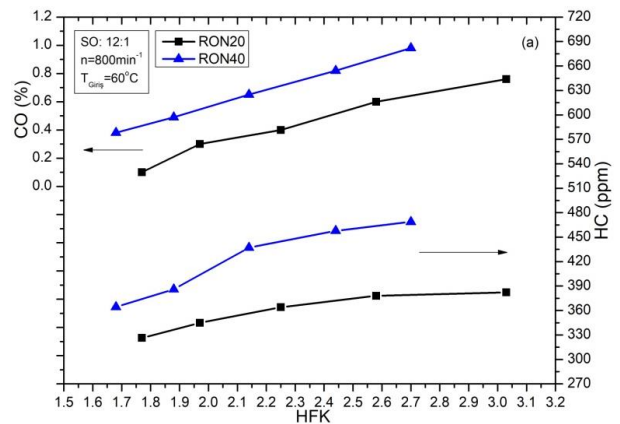
ÜÖN'daki karışım sıcaklığındaki çevrimsel farklılıklar, genişleme zamanındaki reaksiyon oranındaki çevrimsel farklılığı da önemli ölçüde etkilemektedir. Aşırı zengin karışımlarda ise vuruntulu yanmanın oluşması sonucu silindir içi basınçlarındaki dalgalanmaların her çevrimde farklı olması nedeniyle çevrimsel farklılıklar kısmen artabilmektedir. Bu durum Şekil 8'de her iki deney yakıtıyla gerçekleştirilen deney sonuçlarında görülmektedir. En düşük  $COV_{IMEP}$  değerleri RON20 yakıtı kullanımında HFK'nın 2.58 olduğu şartlarda % 3.16 ve RON60 yakıtı kullanımında HFK'nın 2.44 olduğu şartlarda % 1.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 8.  $COV_{IMEP}$ 'in değişimi (The variation of  $COV_{IMEP}$ )

Karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları yanma odasında yetersiz oksijen veya düşük sıcaklık nedeniyle açığa çıkan eksik yanma ürünleridir. Genellikle CO ve HC emisyonlarını kontrol eden temel parametre hava/yakıt oranıdır. Ancak çalışma koşulları da CO ve HC emisyonları üzerinde etkilidir [26-28]. HCCI motorlar hava fazlalığı ile çalışmaktadır. Zengin karışım çalışma şartlarında, CO ve HC emisyonları düşük seviyededir [29]. Fakir karışım çalışma şartlarında ise karışımdaki yakıt miktarı azaldıkça hava/yakıt oranı artış gösterir ve CO ile HC emisyonları sürekli olarak artma eğilimindedir [26,29]. Silindir içi gazların sıcaklığı CO'nun  $CO_2$ 'ye dönüşüm reaksiyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranına yakın

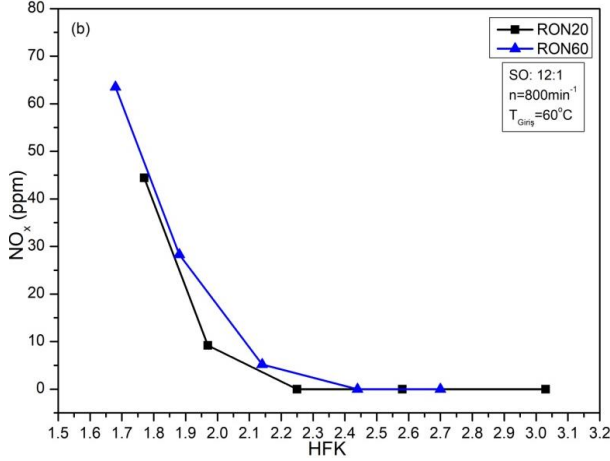
zengin karışım şartlarında, CO miktarı hava/yakıt oranının küçük değişikliklerine karşı oldukça duyarlıdır. Stokiyometrik orandan daha fakir karışım şartlarında ise yüksek miktarlarda CO ve HC emisyonu üretilir ve hava/yakıt oranındaki değişimlere karşı üretilen emisyon miktarı hassasiyetini kaybetmektedir [26,30]. Silindir içine fazla yakıt alınan zengin karışım şartlarında yanma sonu gazların sıcaklığı da yüksek olacağından yanma verimi artacak ve CO ile HC emisyonları azalacaktır. Ancak karışımın fakirleşmesi ile özellikle silindir duvarlarına yakın bölgelerde eksik yanma gerçekleşeceğinden CO ve HC emisyonları artmaktadır. Şekil 9'da CO ve HC emisyonlarının hava/yakıt oranına bağlı değişimi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi karışımın fakirleşmesiyle her iki deney yakıtı kullanımında da CO ve HC emisyonları artmaktadır. Çünkü silindirlere alınan yakıt miktarındaki azalma yanma sonu silindir içi gazların sıcaklığının da azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tam yanma gerçekleşmemekte, HC emisyonları artış göstermektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranına yakın şartlarda ise yanma verimi artmakta, silindir içi sıcaklık artış göstermektedir. Bu nedenle silindire alınan yakıtın büyük bir bölümü yanmakta ve HC emisyonları azalmaktadır



Şekil 9. HC ve CO emisyonlarının değişimi (The variation of HC and CO emissions)

Azotoksit ( $NO_x$ ) emisyonları yanma sonunda yüksek gaz sıcaklıklarında açığa çıkmaktadır.  $NO_x$  emisyonları, silindir içi gazların sıcaklığı 1600 K'i aştıktan sonra hava içerisindeki azot ve oksijenin tepkimeye girmesiyle oluşurlar.  $NO_x$  oluşumunda oksijen konsantrasyonu önem arz etmektedir.  $NO_x$  emisyonlarının maksimum seviyeye ulaştığı hava/yakıt oranı 1.1-1.2 seviyelerindedir. HCCI motorlar daha fakir karışımlar ile çalıştırılabilirler, yanma sonrası silindir içi gaz sıcaklıkları da düşük olur. Böylece HCCI motorlarda  $NO_x$  emisyonları çok az miktarda açığa çıkmaktadır [26,28,30-32]. HCCI motorlarda silindir içerisinde az miktarda yakıt alınır ve yanma sonu gazların sıcaklığının düşük seviyelerde kalması sağlanır.  $NO_x$  emisyonu yanma sonu gazların sıcaklığına bağlı olduğundan, karışımın fakirleştirilmesi ile  $NO_x$  emisyonları kontrol altına alınabilir [28, 30-34]. Şekil 10 incelendiğinde

karışımın fakirleşmesiyle  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azaldığı ve sifira yaklaştığı görülmektedir. Fakir karışım şartlarında silindir içerisine daha az enerji sürülmesi, yanma sonrası gazların sıcaklığının daha düşük olmasına sebep olacaktır. Bu durum  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltacaktır.



Şekil 10.  $\text{NO}_x$  emisyonlarının değişimi (The variation of  $\text{NO}_x$  emissions)

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, port tipi yakıt enjeksiyon sistemine sahip benzinli bir deney motorunun HCCI motora dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Dönüşümü yapılan HCCI motorda 60 °C emme havası giriş sıcaklığında, 800 min<sup>-1</sup> motor hızında, RON20 ve RON60 yakıtları kullanımında HCCI yanması farklı HFK değerlerinde incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda HCCI yanması ile ilgili şu sonuçlara varılmıştır;

- HCCI yanması için hazırlanan karışım, zengin olması halinde silindir içerisine sürülen enerji miktarı artmış ve yanmanın etkisi ile açığa çıkan ısının çok küçük krank açılarında meydana geldiği görülmüştür. Bu durum basınç artış oranını artırmış, dolayısı ile aşırı vuruntunun meydana gelmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu durum HCCI yanmasının aşırı zengin karışımlar ile çalışmasını sınırlandırmıştır.
- HCCI yanması için hazırlanan karışımın aşırı fakir olması halinde ise silindir içi kimyasal reaksiyonlar oldukça yavaşlamış ve kendi kendine tutuşma kapasitesinin azalmasına sebep olmuştur. Bu durum HCCI yanmasının ateşlenememe bölgesi ile sınırlandırılmasına sebep olmuştur.
- Zengin karışımlarda yanma başlangıcının ve KA50 açısının ÜÖN'dan önce gerçekleşmesinden dolayı indike termik verimin düştüğü, aşırı fakir karışımlarda ise ateşlenememe probleminin dolayı indike termik verimin ilave olarak düştüğü tespit edilmiştir.
- Deney yakıtlarının oktan sayısının artması ile homojen karışımın tutuşma direnci artış göstermiş ve

maksimum basıncın elde edildiği krank açısı gecikmeye alınmıştır.

- HFK'nın düşük olduğu şartlarda piston ÜÖN'ya ulaşmadan KA50 açısının meydana gelmesi açığa çıkan ısı enerjisinin ve yüksek basıncın pistonun aksi yönünde bir kuvvet oluşturmaya ve dolayısıyla piston tarafından yapılacak olan net işin azalmasına sebep olmuştur. Bu şartlar altında indike termik verim düşmüştür.
- En yüksek indike termik verim RON60 yakıtı kullanımında, HFK'nın 2,14 olduğu şartlarda % 40,6 olarak tespit edilmiştir.
- HFK'nın artırılması silindir içerisine sürülen enerjinin de azalmasına sebep olduğundan maksimum silindir içi basınç ve gaz sıcaklık değerleri her iki yakıt kullanımında da azalmıştır.
- Karışımın fakirleşmesi ile basınç artış oranı azalmış ve yanma süresi uzamıştır.
- Minimum efektif özgül yakıt tüketimi maksimum indike termik verimin elde edildiği çalışma şartlarında elde edilirken, karışımın zenginleşmesi ve fakirleşmesi ile yanma verimi azalmış ve efektif özgül yakıt tüketimi de artış göstermiştir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje kodu: 07/2016-04) tarafından desteklenmiştir.

## KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

<b>BMEP</b>	Fren ortalama efektif basıncı
<b>CI</b>	Sıkıştırma ile ateşlemeli motor
<b>CO</b>	Karbon monoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbon dioksit
<b>COV<sub>İMEP</sub></b>	İndike ortalama efektif basınç varyans katsayısı
<b>EGR</b>	Egzoz gazı geridönüşümü
<b>HC</b>	Hidrokarbon
<b>HCCI</b>	Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli
<b>HFK</b>	Hava fazlalık katsayısı
<b>İMEP</b>	İndike ortalama efektif basınç
<b>KA</b>	Krank açısı
<b>NO<sub>x</sub></b>	Azotoksit
<b>RON</b>	Araştırma oktan sayısı
<b>SI</b>	Buji ile ateşlemeli motor
<b>ÜÖN</b>	Üst ölü nokta

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mohanamurugan S., Sendilvelan S. "Emission and combustion characteristics of different fuel In A HCCI

- engine", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 3:279–292, (2011).
- [2] Hairuddin A., Wandel A., Yusaf T. "An introduction to a homogeneous charge compression ignition engine", *The Journal of Mechanical Engineering Science*, 7:1042–1052, (2014).
- [3] Hasan M.M., Rahman M.M., Kadirgama K.. "A review on homogeneous charge compression ignition engine performance using biodiesel-diesel blend as a fuel", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11:2199–2211, (2015).
- [4] Machrafi H., Cavadiasa S. "An experimental and numerical analysis of the influence of the inlet temperature, equivalence ratio and compression ratio on the HCCI auto-ignition process of Primary Reference Fuels in an engine" *Fuel Processing Technology*, 89: 1218-1226, (2008).
- [5] Polovina D., McKenna D., Wheeler J., Sterniak J., Miersch-Wiemers O., Mond A. "Steady-state combustion development of a downsized multi-cylinder engine with range extended HCCI/SACI capability", *SAE Technical Paper*, 2013-01-1655, (2013).
- [6] Najafabadi M.I., Abdul A.N. "Homogeneous charge compression ignition combustion: challenges and proposed solutions", *Journal of Combustion*, Article ID783789, 14pages, (2013)
- [7] Yao M., Zheng Z., Liu H. "Progress and recent trends in homogeneous charge compression ignition (HCCI) engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, 35: 398–437, (2009).
- [8] Saxena S., Bedoya I.D. "Fundamental phenomena affecting low temperature combustion and HCCI engines, high load limits and strategies for extending these limits", *Progress in Energy and Combustion Science*, 39: 457–488, (2013).
- [9] Zheng J., Yang W., Miller D.L., Cernansky N.P. "A skeletal chemical kinetic model for the HCCI combustion process", *SAE Technical Paper*, 2002-01-0423, (2002).
- [10] Christensen M., Johansson B. "Influence of mixture quality on homogenous charge compression ignition", *SAE Technical Paper*, 2000-01-2454, (2000).
- [11] Yang J., Kenney T. "Some concept of DISI engine for high fuel efficiency and low emissions", *SAE Technical Paper*, 2002-01-2747, (2002).
- [12] Yang J., Culp T., Kenney T. "Development of a gasoline engine system using HCCI technology-the concept and the test results", *SAE Technical Paper*, 2002-01-2832, (2002).
- [13] Maurya R.K., Agarwal A.K. "Experimental study of combustion and emission characteristics of ethanol fuelled port injected homogenous charge compression ignition (HCCI) combustion engine", *Applied Energy*, 88: 1169-1180 (2011).
- [14] Lu X., Hou Y., Zu L., Huang Z. "Experimental study on the auto ignition and combustion characteristics in the homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion operation with ethanol/n-heptane blend fuel by port injection", *Fuel*, 85: 2622-2631, (2006).
- [15] Uyumaz A., Solmaz H., Yilmaz E., Yamik H., Polat S. "Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine", *Fuel Processing Technology*, 128: 158–165, (2014).
- [16] Dec J.E. "Advanced compression-ignition engines-understanding the incylinder processes", *Proceedings of the Combustion Institute*, 32: 2727–2742, (2009).
- [17] Imtenan S., Varman M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Sajjad H., Arbab M.I. "Impact of low temperature combustion attaining strategies on diesel engine emissions for diesel and biodiesels: a review", *Energy Conversion and Management*, 80: 329–356, (2014).
- [18] Cinar C., Uyumaz A., Solmaz H., Sahin F., Polat S., Yilmaz E. "Effects of intake air temperature on combustion, performance and emission characteristics of a HCCI engine fueled with the blends of 20% n-heptane and 80% isooctane fuels", *Fuel Processing Technology*, 130: 275–281, (2015).
- [19] Curran H.J., Gaffuri P., Pitz J.W., Westbrook C.K. "A comprehensive modeling study of n-heptane oxidation", *Combustion and Flame*, 114: 149–177, (1998).
- [20] Saisirirat P., Togbe C., Chanchaona S., Foucher F., Mounaim-Rousselle C., Dagaut P. "Auto-ignition and combustion characteristics in HCCI and JSR using 1-butanol/ n-heptane and ethanol/n-heptane blends", *Proceedings of the Combustion Institute*, 33: 3007–3014, (2011).
- [21] Yao M., Zheng Z., Zhang B., Chen Z. "The effect of PRF fuel octane number on HCCI operation", *SAE Technical Paper*, 2004-01-2292, (2004).
- [22] He B.Q., Liu M.B., Yuan J., Zhao H. "Combustion and emission characteristics of a HCCI engine fuelled with n-butanol-gasoline blends", *Fuel*, 108: 668-674 (2013).
- [23] Hyvonen J., Haraldsson G., Johansson B. "Operating conditions using spark assisted CCI combustion during combustion mode transfer to SI in a multicylinder VCR-HCCI engine", *SAE Technical Paper*, 2005-01-0109, (2005).
- [24] Wagner R., Edwards K., Daw C., Green J., Bunting B. "On the nature of cyclic dispersion in spark assisted HCCI combustion", *SAE Technical Paper*, 2006-01-0418, (2006)
- [25] Wang Z., Wang J.X., Shuai S.J., Ma Q.J. "Effects of spark ignition and stratified charge on gasoline HCCI combustion with direct injection", *SAE Technical Paper*, 2005-01-0137, (2005)
- [26] Zhao H. "CCI and CAI Engines For The Automotive Industry", *England: Woodhead Publishing Limited*, (2007).
- [27] Sudheesh K., Mallikarjuna J.M. "Diethyl ether as an ignition improver for biogas homogeneous charge compression ignition (HCCI) operation-An experimental investigation", *Energy*, 35(9): 3614-3622, (2010).
- [28] Ma J., Lü X., Ji L., Huang Z. "An experimental study of HCCI-DI combustion and emissions in a diesel engine with dual fuel", *International Journal of Thermal Sciences*, 47(9): 1235-1242, (2008).
- [29] Polat S. "An experimental study on combustion, engine performance and exhaust emissions in a HCCI engine fuelled with diethyl ether-ethanol fuel blends." *Fuel Processing Technology*, 143: 140-150, (2016).
- [30] Wallner T., Miers S.A., McConnell S. "A comparison of ethanol and butanol as oxygenates using a direct-injection, spark-ignition engine", *Journal of*

- Engineering for Gas Turbines and Power*, 131(3): 032802, (2009).
- [31] Christensen M., Hultqvist A., Johansson B. "Demonstrating the multi fuel capability of a homogeneous charge compression ignition engine with variable compression ratio", *SAE Technical Paper*, 1999-01-3679, (1999).
- [32] Kim M.Y., Lee C.S. "Effect of a narrow fuel spray angle and a dual injection configuration on the improvement of exhaust emissions in a HCCI diesel engine", *Fuel*, 86(17-18): 2871-2880, (2007).
- [33] Guo H., Neill W.S., Chippior W., Li H., Taylor J.D. "An experimental and modeling study of HCCI combustion using n-heptane", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 132(2): 022801, (2010).
- [34] Iida M., Hayashi M., Foster D.E., Martin J.K. "Characteristics of homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine operation for variations in compression ratio, speed, and intake temperature while using n-butane as a fuel", *Journal of engineering for gas turbines and power*, 125(2): 472-478, (2003).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi

## *Experimental investigation of thermophysical properties of nano mineralogical fluids*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Uğur KARAKAYA<sup>1</sup>, Metin GÜRÜ<sup>2</sup>, Adnan SÖZEN<sup>3</sup>, Duygu Y. AYDIN<sup>4</sup>, İbrahim BİLİCİ<sup>5</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-2236-5281

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-7335-7583

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-8373-2674

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0003-0557-5279

ORCID<sup>5</sup>: 0000-0001-8151-6911

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Karakaya U., Gürü M., Sözen A., Aydın D. ve Bilici İ., "Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 619-626, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.432034



# Nano Mineralojik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Uğur KARAKAYA<sup>1</sup>, Metin GÜRÜ<sup>1</sup>, Adnan SÖZEN<sup>2</sup>, Duygu Y. AYDIN<sup>1</sup>, İbrahim BİLİCİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Çorum, TÜRKİYE

(Geliş/Received : 14.03.2018 ; Kabul/Accepted : 23.05.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit malzemeleri içeren nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Spex tipi yüksek enerjili öğütücü kullanılarak 50 nm boyutunda nano parçacıklar üretilmiştir. Bu nano parçacıklar kullanılarak kütlece % 2 mineralojik malzeme ve kütlece % 0,5 Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat içeren nanoakışkanlar 5 saat ultrasonik karıştırma sonucunda hazırlanmıştır. Termofiziksel özelliklerden olan ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite ölçümleri deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Mineral nanoakışkanlar içerisinde en büyük ısı iletkenlik ve özgül ısı artışının bentonit içeren nanoakışkan ile elde edilmiştir. Bentonit içeren nanoakışkanın askıda bulunan nano parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle diğer mineralojik nanoakışkanlara göre ısı iletkenlik ve özgül ısı diğerlerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direncin arttığı, sonuç olarak saf suya kıyasla viskozitenin arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, özgül ısı, ısı iletkenlik.

## Experimental Investigation of Thermophysical Properties of Nano Mineralogical Fluids

### ABSTRACT

In this study, the thermophysical properties of nanoparticles containing bentonite, diatomite, sepiolite and clinoptilolite materials were determined. Nano particles with a size of 50 nm were produced using a Spex type high-energy mill. Using these nanoparticles, nanoparticles containing 2% mineralogical material and 0.5% Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate by mass were prepared by ultrasonic mixing for 5 hours. The thermal conductivity, specific heat and viscosity measurements from thermophysical properties have been experimentally measured. The greatest thermal conductivity and specific heat increase in the mineral nano-powders were obtained with the bentonite-containing nanofluid. It is concluded that the nano flux containing bentonite has higher thermal conductivity and specific heat than the other mineralogical nano-fluids because the amount of suspended nano particles is higher. It has been observed that the resistance to flow increases due to the particle-particle interaction generated by the nanoparticles in the nanofluids, resulting in an increase in viscosity compared to pure water.

**Keywords:** Nanofluids, specific heat, thermal conductivity

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin verimli kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yapılan çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle alternatif enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yürütülen çalışmalar hız kazanmakta, ayrıca mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılabilmesi için yeni çalışmalar yürütülmektedir. Isının taşınması için kullanılan sistemlerde verimin artırılabilmesi amacıyla nano boyutta parçacıkların temel akışkan içerisine eklenerek oluşturulan nanoakışkanlar üzerinde yürütülen çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır.

Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içindeki süspansiyonu olarak tanımlanmıştır. Choi'e tarafından düşük konsantrasyon oranlarında bile

nanoakışkanların ısı iletim katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır [1].

Nanoakışkanların kullanımı alanını belirleyen en önemli parametreleri termofiziksel özellikleridir. Temel akışkan içerisine nano parçacık eklenmesi ile oluşturulan nanoakışkanların ısı iletkenlik, viskozite ve özgül ısı gibi termofiziksel özellikleri değişmektedir. Temel akışkan içerisine nano parçacık ilavesi ile oluşan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun birinci nedeni, nanoparçacıkların ısı davranışını kontrol eden mekanizma olan Brown hareketidir. İkinci nedeni ise katı parçacık yüzeyine yakın sıvı moleküller katmanlı yapılar oluşturularak, katı sıvı arasında ısı bir köprü oluştururlar ve bu da nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır [2].

Bir akışkanın viskozitesi ısı transfer uygulamaları, pompalama için gerekli olan güç, akış kanallarında [1] basınç düşüşü ve kanal yüzeylerinde oluşan aşınma gibi

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : ugkarakaya@mynet.com.tr

olaylarla doğrudan ilişkilidir. Isıl sistemlerde kullanılan nanoakışkanlar için viskozite önemli bir parametredir. Viskozite doğrudan pompalama gücü ile ilişkilidir. Nanoakışkanın viskozitesi nano parçacık türü, boyutu, şekli, konsantrasyon, kayma hızı ve sıcaklıkta gibi birçok parametreye bağlıdır.

Son yıllarda nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Temel akışkanın ısı iletkenliğinin nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde büyük etkisi olmaktadır.  $Al_2O_3$  içeren nanoakışkan üzerine yapılan çalışmada, temel akışkan olarak su, etilen glikol, gliserin ve yağ kullanılmış ve çalışma sonucunda temel akışkanın ısı iletkenliği azaldıkça nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığı gözlenmiştir [3].

Temel akışkanı etilen glikol olan bakır nano parçacıkların aynı hacimsel konsantrasyonda oksit nano parçacıklara göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bakır-etilen glikol esaslı % 0,3 hacim konsantrasyona sahip nanoakışkanın ısı iletkenliğinin % 40 arttığı belirlenmiştir [4].

Nanoakışkan çalışmalarında genellikle küresel ve silindirik olmak üzere iki tür parçacık kullanılmaktadır. Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak küresel ( $d = 26$  nm) ve silindirik ( $d = 60$  nm) SiC nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın ısı iletkenlikleri incelenmiştir. Silindirik parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 23 iken küresel parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 15'lik bir artış olmuştur [5].

Ortalama 47 nm boyutunda  $Al_2O_3$  nano parçacıkları içeren % 1 hacimsel oranda nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının aynı hacimsel oranda 150 nm boyutunda parçacık içeren nanoakışkana kıyasla yaklaşık iki kat olduğunu ortaya konulmuştur [6].  $TiO_2$  nano parçacık içeren nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu % 0,2'den % 2'ye yükseldiğinde, ısı iletkenliği % 7,2'den % 13,2'ye yükselmiştir [7].

$Al_2O_3$  ( $d = 38.4$  nm) - su esaslı nanoakışkanın ısı iletkenlik sıcaklık arasındaki ilişkisi incelenmiştir. Hacim konsantrasyonu % 1 olan nanoakışkanın 21 °C ile 51 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilen deney sonucunda ısı iletkenliğin % 2'den % 10,8'e yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca hacimsel oran % 4 artırıldığı zaman 21 °C'de ısı iletkenlik % 9,4'den 51 °C'de % 24,3'e yükseldiği, her iki hacim konsantrasyonunda sıcaklıktaki artış bağlı olarak ısı iletkenliğin doğrusal olarak arttığı sonucuna varılmıştır [8].

SiC esaslı doğal deniz suyu ile hazırlanan nanoakışkanın % 0,4 hacimsel konsantrasyon oranı için ısı iletkenliğinin deniz suyuna göre yaklaşık % 5,2 arttığı, SiC nanoakışkanının iyi kararlılığı ve üstün termal özellikleri nedeniyle güneş enerjisi sistemlerinde uygulanabilir olduğu belirtilmiştir [9].

Saf su ve etilen glikol temel akışkanına sahip ortalama parçacık boyutu 53 nm olan  $Al_2O_3$  esaslı nanoakışkanın,

% 2 hacim konsantrasyon oranı için ısı iletkenliğinde temel akışkana göre sırasıyla % 30 ve 31'lik artış gözlemlenmiştir [10].

$Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  esaslı nanoakışkanın termofiziksel özellikleri incelenmiş, hibrit özelliğe sahip bu nanoakışkanın ısı iletkenliğinin % 12 oranında arttığı belirlenmiştir [11].

Su ve etilen glikol temel akışkanı içerisine grafen oksit (GrO) ve  $Co_3O_4$ 'den oluşan hibrit nanoparçacıkların ilavesi ile hazırlanan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri incelenmiş, % 0,2 hacimsel konsantrasyon oranı için su bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 19.14 iken etilen glikol bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının % 11.85 olduğu, benzer şekilde su bazlı nanoakışkanın viskozitesinin 1.70 kat ve etilen glikol bazlı nanoakışkan viskozitesinin 1.42 kat arttığı bildirilmiştir [12].

$TiO_2$  su esaslı nanoakışkanın termofiziksel özelliklerindeki değişim, farklı yüzey aktif maddeler (sodyum dodesil sülfonat, sodyum dodesil benzen sülfonat ve oleik asit) kullanılması durumunda deneysel olarak incelenmiş, ısı iletkenlikteki maksimum artışın sodyum dodesil sülfonat içeren yüzey aktif madde kullanılması durumunda % 1 hacimsel konsantrasyon ve 60 °C sıcaklık için saf suya kıyasla % 5.8 olduğu belirtilmiştir [13].

Su bazlı polivinil alkol ile işlevselleştirilmiş katmanlı grafen (su bazlı PVA-Gr) nanoakışkanının ısı iletkenliği deneysel olarak incelenmiş, 40 °C'de % 0,1 kütleli konsantrasyon için ısı iletkenlik artışının saf suya kıyasla % 40 olduğu gözlemlenmiştir [14].

Yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil benzen sülfonat içeren Cu - su ve  $Al_2O_3$  - su nanoakışkanların pH ısı iletkenlik değişimi incelenmiştir.  $Al_2O_3$  - su nanoakışkanın en yüksek ısı iletkenlik artışını pH 8'de sağladığı, temel akışkan ısı iletkenliğinin pH ile belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür [15].

ZnO nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın 35 - 55 °C arasında viskozitesi incelenmiş ve sıcaklık artışı ile viskozitenin azaldığı belirlenmiştir [16].  $TiO_2$  - su içeren nanoakışkanın 13-55 °C sıcaklık aralığında ısı iletkenlik ile viskozitede olan değişim incelenmiş ve sıcaklığın artması ile viskozitenin azaldığı tespit edilmiştir [17].

$TiO_2$  nanoparçacıkları içeren silikon yağı temel akışkanına sahip nanoakışkanın termofiziksel özellikleri deneysel olarak araştırılmış, nanoakışkanın newtonian davranış gösterdiği, viskozitenin konsantrasyon artışı ile arttığı, ancak artan sıcaklıkla lineer olmayan şekilde azaldığı belirlenmiştir [18].

Temel akışkan olarak yağ kullanılan CuO esaslı nanoakışkanın farklı sıcaklıklarda % 0,2-2 konsantrasyon oranında viskozite değişimleri incelenmiş, tüm konsantrasyon oranı ve sıcaklıklarda newtonian davranış gösterdiği belirlenmiştir [19].  $Al_2O_3$  - su esaslı 43 nm nano parçacık içeren nanoakışkanın % 5 konsantrasyon oranında viskozitenin iki katına çıktığı ifade edilmiştir [20].

10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip  $Al_2O_3$  - su esaslı nanoakışkanın, hacimce % 1, 2, 3 ve 6 katkı oranlarında ısı iletkenlik ve viskozite değerleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde yer alan efektif ısı iletkenlik ve efektif viskozite modelleri ile karşılaştırılmıştır. Isıl iletkenliğin, tanecik boyutu ile ilişkili olmadığı ve deneysel sonuçların klasik efektif ısı iletkenlik modellerinden biri olan Maxwell ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Reolojik ölçümler sonucunda, numunelerin newtonian davranış gösterdiği ve aynı tanecik katkı oranında, daha büyük tanecik boyutuna sahip numunelerin viskozitelerindeki artış oranının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [21].

Sıvı parafin bazlı CuO nanopartikülleri içeren nanoakışkanın konsantrasyon oranı ile sıcaklığın dinamik viskozite üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, nanopartiküllerin konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın dinamik viskozitesinin arttığını ve sıcaklığın artmasıyla nanoakışkanın viskozitesinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir [22].

Karbon nanotüpten oluşan nanoakışkanın özgül ısı kapasitesine nano parçacık boyutu ve sıcaklığın etkisi

Alümina içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik ölçümleri yapılmış ve sonuçta nanoakışkanın ısı iletkenliğinin saf suya göre daha yüksek olduğu görülmüştür [26].

Bu çalışmada; bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit içeren mineralojik nanoakışkanların termofiziksel özellikleri olan özgül ısı, viskozite ve ısı iletkenlik değerlerinin deneysel olarak tespit edilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Nanoakışkanın Hazırlanması (Nanofluid Preparation)

Nanoakışkanlar iki aşamalı olarak hazırlanmıştır. Birinci aşamada sepiyolit, diatomit, bentonit ve klinoptilolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nano parçacık üretilmiştir. Nano parçacık üretimi için iri parçadan küçültme yöntemi kullanılmıştır. Öğütme çalışmalarında Şekil 1'de **görülen** Spex tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücü kullanılmıştır.

İkinci aşamada üretilmiş olan nanoparçacıklar kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Temel



Şekil 1. Spex tipi yüksek enerjili öğütücü (Spex type high energy mill)

incelenmiş, sonuçta özgül ısının belirli bir sıcaklıkta nano parçacık boyut ve şekline bağlı olmadığı sonucuna varılmıştır [23]. Yüksek sıcaklıkta çalışan nanoakışkan elde etmek amacıyla temel akışkan erimiş tuz olan dört farklı boyutlarda (5, 10, 30 ve 60 nm çapında) silikon-dioksit nano parçacıkları içeren nanoakışkan hazırlanmıştır. Özgül ısı değerleri diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüş, sonuçta özgül ısı değerinin nano parçacık boyuta bağlı olmaksızın temel akışkaninkine göre % 25 oranında arttığı sonucuna varılmıştır [24]. İnorganik hidrat tuzu esaslı kütlece % 0,1, 0,3 ve 0,5 nano parçacık içeren nanoakışkan hazırlanmış ve özgül ısı değişimi diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüştür. Sonuçta, % 0,3 konsantrasyon için özgül ısının % 83,5'e kadar arttığı tespit edilmiştir [25].

Akışkanların ısı iletim katsayısının belirlenmesi için silindirik metoda göre ölçüm yapan deney düzeneği tasarlanmış, üretilmiş ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

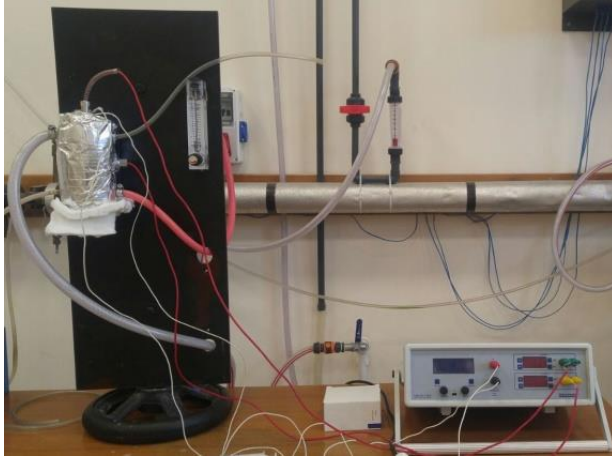
akışkan olarak saf su kullanılarak kütlece % 2 bentonit, klinoptilolit, sepiyolit, diatomit ve kütlece % 0,5 oranında sodyum dodasil benzen sülfonat içeren nanoakışkan üretilmiştir. Hazırlanmış olan süspansiyon ultrasonik banyoda 5 saat ultrasonik titreşim uygulanarak kararlı bir karışım haline getirilmiştir.

### 2.2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

#### 2.2.1. Isıl iletkenlik deneyi (Thermal conductivity experiment)

Deney düzeneği Şekil 2'deki gibidir. Deney düzeneği pirinçten üretilmiş olan iç içe geçmiş eksenel iki silindirden oluşmaktadır. Isı iletim katsayısı ölçülecek nanoakışkanın bulunduğu iki tüp arasındaki radyal boşluk 0,345 mm'dir. İçteki silindire istenilen ısıtıcı gücünde enerji vermek için değeri ayarlayabilen dimmer devresi kullanılmıştır. Devreden geçen akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülerek ısıtıcının gücü ayarlanabilmektedir. Dış silindirin etrafından soğutma

suyu geçirilerek sistem soğutulmaktadır. Soğutucu akışkanın debisini ayarlamak amacıyla bir akış ölçer kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümleri iç silindir ve ısıl iletkenliği ölçülecek olan numune akışkandan yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümleri için 2 adet termokupl (K- tipi) kullanılmıştır. Sistemdeki ısı kaybını en aza indirmek için tüm bölümler yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır.



Şekil 2. Isıl iletkenlik deney düzeneği (Thermal conductivity experimental setup)

Isıl iletkenliği ölçülecek nanoakışkanın bulunduğu radyal boşluk 0,345 mm gibi çok ince bir tabaka olduğundan dolayı taşınım ile ısı transferinin ihmal edilebilecek değerler arasında yer aldığı kabulü yapılmıştır. Deneysel düzende ölçümü yapılacak nanoakışkan içerisinde sadece iletimle ısı transferi gerçekleştiği dikkate alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma aşağıda sunulan işlem basamakları takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Kontrol panelinde yer alan ısıtıcı açma düğmesi açılarak ısıtıcı çalıştırılmıştır. Soğutma suyu akış hızı 30 g/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Isıl iletkenliği ölçülecek olan nanoakışkan sisteme enjekte edilmiştir. Panel üzerindeki gerilim ayarlayıcı kullanılarak 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri sırasıyla seçilmiş ve sistem yatışkın hale gelinceye kadar beklenmiştir. Sistem yatışkın hale geldiği zaman kontrol panelinde yer alan ısıtıcı sıcaklığı ve numune sıcaklığı kaydedilmiştir. Deney düzeneğinden kaynaklanabilecek hatayı önleyebilmek için öncelikle ısıl iletkenlik deneyi saf su kullanılarak gerçekleştirilmiş, sonuçların literatürde yer alan veriler kapsamında doğruluğu belirlendikten sonra deneyler nanoakışkan kullanılarak tekrarlanmıştır.

### 2.2.2. Özgül ısı deneyi (Specific heat experimental)

Deney düzeneği Şekil 3'deki gibidir. Deney düzeneği kalorimetre kabı esasına göre çalışan iç içe iki kaptan oluşmaktadır. Sıcaklık ölçümleri için 2 adet termokupl (K- tipi) kullanılmıştır. Sıcaklık verileri Elimko marka veri katdedici kullanılarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Tüm sistem tam olarak yalıtılmıştır.



Şekil 3. Özgül ısı deney düzeneği (Specific heat experimental setup)

Özgül ısı ölçümleri için, sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba 210 g saf su ve özgül ısı değeri ölçülecek olan numune akışkanın bulunduğu iç kaba 50 g saf su konularak deney yapılmış ve kabın öz sığasının sıcaklığa bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Kabın öz sığası belirlendikten sonra sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba aynı miktarda saf su ve iç kaba nanoakışkan konularak deney tekrarlanmıştır. Sıcaklıklar veri kaydedici kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sistem yatışkın hale gelinceye kadar 2 saat süreyle sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

### 2.2.3. Viskozite deneyi (Viscosity experimental)

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile gerçekleştirilmiştir. Viskozitemetre 0,1 RPM'den 250 RPM'ye kadar bilgisayar kontrollü test edebilmekte ve 'Shear Rate' ve 'Shear Stress' değerlerini gösterebilmektedir.

Viskozitemetre ölçümlerinde aşağıda açıklanan işlem basamakları takip edilmiştir. Viskozitemetre ve bilgisayar çalıştırılmış, bilgisayar ekranından Rheocale V2.7 yazılımı açılmıştır. Viskozitesi ölçülecek numune yaklaşık 50 ml kadar bir mezüre konulmuştur. Ölçüm öncesinde viskozitemetre sıfır ayarı Rheocale V2.7 yazılımındaki ilgili sekme kullanılarak yapılmıştır. Viskozite metre ölçüm başlığı mezürde içerisinde bulunan numuneye daldırılmış ve milin dönüş hızı ayarlanarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler ilk olarak 20 °C daha sonra sırasıyla 40 °C, 60 °C ve 80 °C'de tekrar yapılmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS & DISCUSSION)

Özgül ısı deneyleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Saf su kullanılarak deneysel olarak özgül ısı ölçümleri yapılmıştır. Kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak özgül ısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyon değişiminin özgül ısı üzerine etkisinin incelenmesi

amacıyla % 0,5, % 2 ve % 4'lük konsantrasyon oranları için deneyler tekrarlanmıştır.

Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı ölçüm sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerleri (Specific heat values of mineralogical nanofluids)

	Özgül Isı (J/g °C)
Saf Su	4,18
Klinoptilolit	4,31
Sepiyolit	4,32
Diatomit	4,33
Bentonit	4,34

Deney sonuçları incelediğinde her bir nanoakışkanın özgül ısısının suya kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum nanoakışkanların içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bentonit nanoakışkanın özgül ısı değeri diğer mineralojik malzemeler ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatürde nanoakışkanların özgül ısı değerinin temel akışkana göre arttığı bilgisi yer almaktadır [23-25]. Deneysel çalışma sonucunda da mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerinin saf suya kıyasla arttığı belirlenmiş olup, deney sonuçları literatür verileri ile de desteklenir niteliktedir.

Bentonit nanoakışkanının % 0,5, % 2 ve % 4'lük konsantrasyon oranları için özgül ısı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

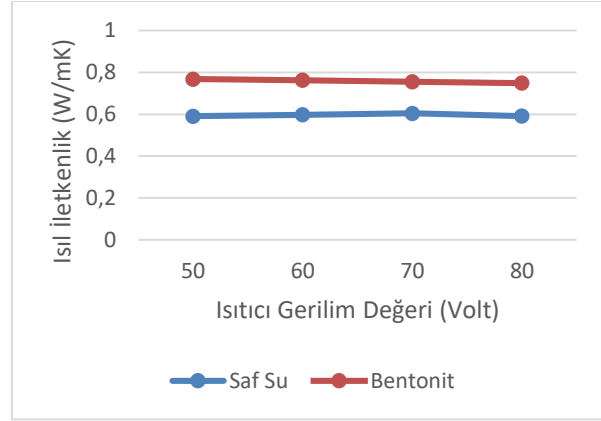
**Çizelge 2.** Bentonit içeren nanoakışkanın konsantrasyon değişimine bağlı özgül ısı değerleri (Specific heat results of the bentonite-containing nanoparticle due to the concentration change)

	KONSANTRASYON			
		% 0,5	% 2	% 4
ÖZGÜL ISI (J/g °C)		4,2030	4,3425	4,3598

Deney sonuçlarından da görüleceği üzere nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça özgül ısı değerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma kapasitesinin arttığını göstermektedir. Ancak konsantrasyon artışı ile orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmamıştır. Konsantrasyon artsada süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının konsantrasyon artışı ile paralel olarak artmadığı, buna bağlı olarak çökmenin arttığı gözlemlenmiştir.

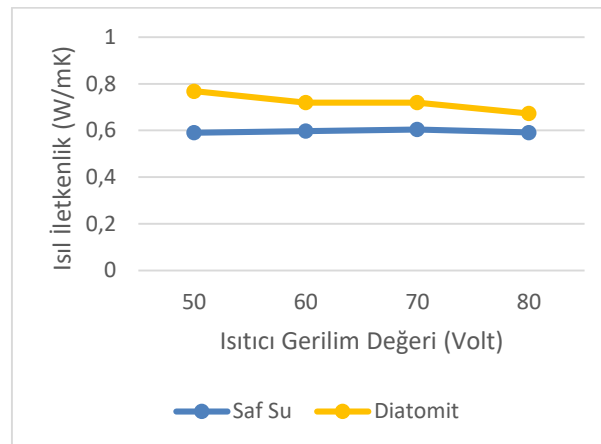
Isıl iletkenlik deneyleri öncelikle saf su ile gerçekleştirilmiş, daha sonra kütlece % 2 mineralojik

malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Isıl iletkenlik deney sonuçları ısıtıcı gerilim değerine karşı grafiğe geçirilmiş ve sırasıyla bentonit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 4'de, diatomit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 5'de, sepiyolit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 6'da klinoptilolit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 7'de verilmiştir.

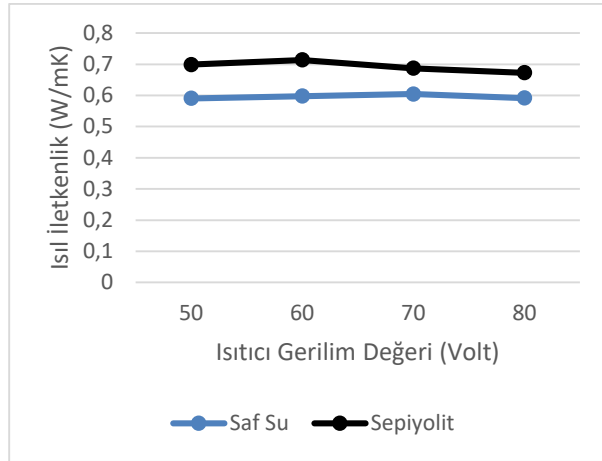


**Şekil 4.** Bentonit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenlik sonucu (Bentonite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)

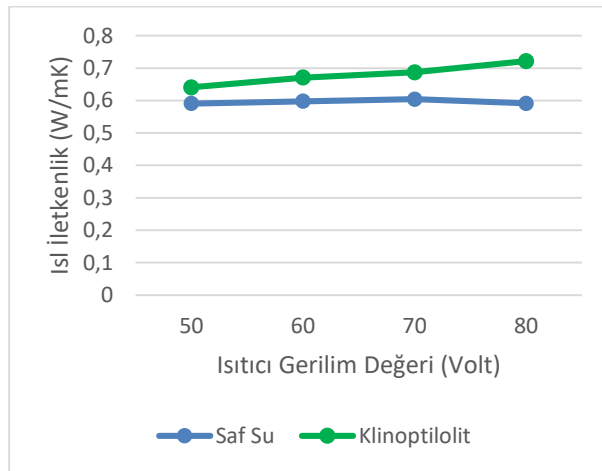
Deneysel çalışma sonucunda tüm ısıtıcı gerilim değerleri için bentonit içeren nanoakışkanın saf suya kıyasla daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Daha üstün ısıl iletkenliğe sahip metal oksit nanoparçacık içeren bentonit nanoakışkanının ısıl iletkenliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin temel akışkanın ısıl iletkenliğinden daha yüksek olduğu raporlanmıştır [9-16]. Deneysel çalışma sonucunda bentonit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin saf suya kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, sonuçlar literatür verileri ile de desteklenmektedir.



**Şekil 5.** Diatomit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenlik sonuçları (Diatomite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)



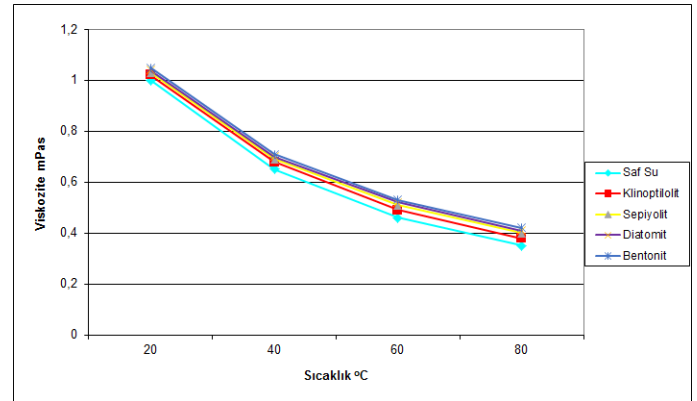
Şekil 6. Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik sonuçları (Sepiolite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)



Şekil 7. Klinoptilolit içeren nanoakışkan ısı iletkenlik sonuçları (Clinoptilolite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)

Isıl iletkenlik deney sonuçlarından da görüleceği üzere tüm mineralojik nanoakışkanların saf suya kıyasla ısı iletkenlik sonuçlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum mineralojik nanoakışkanların daha büyük ısı iletkenliğe sahip metal oksitler içermesi ile açıklanabilmektedir. Mineral nanoakışkanlar arasında ise en yüksek artışın bentonit içeren nanoakışkan ile sağlandığı gözlemlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkanın diğer mineral nanoakışkanlara göre çok daha fazla askıda nano parçacıklar içermesi nedeniyle ısı iletkenliğinin diğer mineralojik nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca ısı iletkenlik sonuçlarının özgül ısı sonuçları ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan nanoakışkanların üstün termofiziksel özelliklere sahip olduğu yönündeki çalışma sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile 20, 40, 60 ve 80 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Mineralojik nanoakışkanların viskozite (Viscosity of mineralogical nanofluids)

Saf suya kıyasla nanoakışkanların viskozite değerleri daha yüksektir. Nanoakışkanlar içerisinde askıda bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direnç artar ve viskozite artmış olur. Literatürde nanoakışkanların viskozitesinin temel kaışkanın viskozitesinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Deneysel çalışma sonucunda mineralojik nanoakışkanların viskozitesi temel akışkan olan suyun viskozitesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak deneysel çalışma sonuçlarının literatür verileri ile desteklendiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın artmasına bağlı olarak viskozite değişimleri suya benzer bir şekilde, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Literatürde nanoakışkanlarda sıcaklığın artışı ile viskozitenin azaldığı raporlanmaktadır [17-22]. Buda sıcaklık artışı ile birlikte nano parçacık ve temel akışkan arasındaki etkileşimin azaldığını göstermektedir. Deneysel çalışma sonuçları literatür verileri ile de desteklenmektedir.

Nanoakışkanların endüstride kullanımını belirleyen önemli termofiziksel özelliklerden biride viskozitedir. Viskozite değerine bağlı olarak akış kanallarında basınç düşüşü oluşmakta, akış için gerekli olan pompa gücü artmakta ve kanal boyunca erozyon oluşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı viskozitenin kontrol altında olması gerekmektedir.

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde üretilen bentonit, klinoptilolit, diatomit ve sepiyolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmış, nanoakışkanların termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir.

Yüksek Enerjili Spex tipi öğütücülerde gerçekleştirilen öğütme sonucunda nano parçacıkların boyutu 50 nm'ye düşürülmüştür.

Çalışmada kullanılan nanoakışkan ağırlıkça %2 konsantrasyon oranındaki bentonit, diatomit, sepiyolit ve

ağırlıkça % 0,5 oranında SDBS içermektedir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- i. Mineral nanoakışkanlar içerisinde en büyük ısı iletkenlik ve özgül ısı artışının bentonit içeren nanoakışkan ile elde edilmiştir.
- ii. Bentonit içeren nanoakışkanın askıda bulunan nano parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle ısı iletkenliğinin ve özgül ısı değerinin diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır.
- iii. Nanoakışkanlar içerisindeki metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu belirlemiştir.
- iv. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça özgül ısı değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma ve depolama kapasitesinin arttığını göstermektedir.
- v. Konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmadığı, % 2 konsantrasyon değerinden daha büyük oranlar için süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının konsantrasyon artış oranı ile paralel olarak artmadığı, konsantrasyon artışı ile süspansiyon içerisindeki çökelmenin arttığı gözlemlenmiştir.
- vi. Nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan diren arttığı, buna bağlı olarak saf suya kıyasla viskozitenin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklığın artması sonucunda nano parçacık ile temel akışkan arasındaki etkileşimin azalması nedeniyle viskozite azalmıştır.
- vii. Termofiziksel özellikleri saf suya kıyasla daha üstün olan nanoakışkanların ısı borusu, ısı levhası, ve ısı değiştiricilerde kullanılması ile söz konusu ısı sistemlerin veriminin çok daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir.
- viii. Ayrıca mineralojik malzeme içeren nanoakışkanların ısı sistemlerin yanısıra etilen glikol içeren otomobil soğutma sistemlerinde kullanımı önerilmektedir. Otomobillerde mineralojik nanoakışkanların kullanımı ile motorda daha yüksek sıcaklıklara çıkılarak motor performansı yükseltilebilecektir.

#### SİMGE VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

c	Özgül ısı [ $Jg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ]
m	Uzunluk [m]
T	Sıcaklık [ $^\circ C$ ]
$\mu$	Viskozite [Pa.s]
W	Güç [Watt]
SDBS	Sodyum Dodosil Benzen Sülfonat

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Choi S. U. S. and Eastman J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *ASME International Mechanical Engineer Congress Exposition*, 99-105, (1995).
- [2] Koblinski P., Eastman J.A. and Cahill D.G., "Nanofluids for thermal transport", *Materials Today*, 8(6): 36-44. (2005),
- [3] Xie H., Wang J., Xi T., Liu Y. and Ai F., "Dependence of the thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture on the base fluid", *Journal of Materials Science Letters*, 21 (9), 1469-1471 (2002).
- [4] Eastman J.A., Choi S.U.S., Li S. and Thompson L.J., "Thompson L.J. Anomalous increased effective thermal conductivities of ethyleneglycol-based nanofluids containing copper nanoparticles", *Applied Physics Letters*, 78 (6): 718-720, (2001).
- [5] Xie H., Wang J., Xi T. and Liu Y., "Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles", *International Journal of Thermophysics*, 23(2): 571-580, (2002).
- [6] Chon, C.H., Kihm K.D., Lee S.P. and Choi S.U.S., "Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) thermal conductivity enhancement", *Applied Physics Letters*, 87 (15): 153107 (1-3), (2005).
- [7] Duangthongsuk W. and Wongwises S., "Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO<sub>2</sub>-water nanofluids", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33 (4): 706-714, (2009).
- [8] Das S.K., Putra N., Thiesen P. and Roetzel W., "Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids", *Journal of Heat Transfer*, 125 (4): 567-574, (2003).
- [9] Chen W., Zou C., Li X. and Li L., "Experimental investigation of SiC nanofluids for solar distillation system: Stability, optical properties and thermal conductivity with saline waterbased fluid", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 264-270, (2017).
- [10] Agarwal R., Verma K., Agrawal N.K. and Singh R., "Sensitivity of thermal conductivity for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids" *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80 19-26, (2017).
- [11] Adriana M.A., "Hybrid nanofluids based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> Numerical evaluation of different approaches", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104, 852-860, (2017).
- [12] Sundar L.S., Singh M.K., Ferro M.C. and Sousaa A.C.M. "Experimental investigation of the thermal transport properties of graphene oxide/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hybrid nanofluids" *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 84, 1-10, (2017).
- [13] Das P.K., Mallik A.K., Ganguly and Santra A.K., "Stability and thermophysical measurements of TiO<sub>2</sub> (anatase) nanofluids with different surfactants", *Journal of Molecular Liquids*, 254, 98-107, (2018).
- [14] Azizi M., Honarvar B., "Investigation of thermophysical properties of nanofluids containing poly(vinyl alcohol)-functionalized graphene", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7210-2>
- [15] Wang X., Zhu D. and Yang S., "Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in nanofluids", *Chemical Physics Letters*, 470 (1-3): 107-111, (2009).

- [16] Suganthi K.S. and Rajan K.S, “Temperature induced changes in ZnO – water nanofluid: zeta potential, size distribution and viscosity profiles”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 796:-7980, (2012).
- [17] Turgut A., Tavman I., Chirtoc M., Schuchmann H.P., Sauter C. and Tavman S., “Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO<sub>2</sub> nanofluids”, *International Journal of Thermophysics*, 30(4): 1213-1226, (2009).
- [18] Murshed S. M. S. Santos F. J. V., Nieto de Castro C. A., Patil V. S. and Patil K. R., “Morphology and thermophysical properties of non-aqueous titania nanofluids”, *Heat and Mass Transfer*, in press. <https://doi.org/10.1007/s0023>.
- [19] Saeedinia M., Akhavan-Behabadi M.A. and Razi P., “Thermal and rheological characteristics of CuO–Base oil nanofluid flow inside a circular tube”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1): 152-159, (2012).
- [20] Chandrasekar M., Suresh S. and Bose A.C., “Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (2): 210-216 (2010).
- [21] Turgut A., Sağlanmak Ş. ve Doğanay S., “Nanoakışkanların Isıl İletkenlik ve Viskozitesinin Deneysel İncelenmesi: Tanecik Boyutu Etkisi” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31, 93-103, (2016).
- [22] Ghasemi S. and Karimipour A., “Experimental investigation of the effects of temperature and mass fraction on the dynamic viscosity of CuO-paraffin nanofluid”, *Applied Thermal Engineering*, 128, 189-197, (2018).
- [23] Wang B.X., Zhou L.P. and Peng X.F., “Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles”, *International Journal of Thermophysics*, 27(1): 139-151 (2006).
- [24] Tiznobaik H. and Shin D., “Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2): 542-548, (2013).
- [25] Liu Y. and Yang Y., “Investigation of specific heat and latent heat enhancement in hydrate salt based TiO<sub>2</sub> nanofluid phase change material”, *Applied Thermal Engineering*, 124: 533-538, (2017).
- [26] Varyenli H. İ. ve Arslan C., “Sıvıların ve gazların ısı iletkenlik katsayısını belirleyebilmek için laboratuvar tipi bir deney cihazının tasarımı, imalatı ve test edilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20 (3): 599-605, (2017).





POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde delme yönteminin aşınmaya etkisinin incelenmesi

*An investigation into the influence of drilling method on drill wear in drilling of Ti6Al4V*

*Yazar(lar) (Author(s)): İbrahim ÇİFTÇİ<sup>1</sup>, Hüseyin GÖKÇE<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-7875-6324*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-2113-1611*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çiftçi İ. ve Gökçe H., “Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde delme yönteminin aşınmaya etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 627-631, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.450289

# Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**İbrahim ÇİFTÇİ<sup>1\*</sup>, Hüseyin GÖKÇE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Uluyazı, Çankırı, Türkiye

<sup>2</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Makine Prog., Taşmescit, Çankırı, Türkiye

(Geliş/Received : 23.03.2018 ; Kabul/Accepted : 29.05.2018)

## ÖZ

Ti6Al4V titanyum alaşımı mükemmel özellikleri nedeniyle başta uzay ve havacılık olmak üzere çeşitli endüstri dallarında yaygın olarak kullanılan önemli bir mühendislik malzemesidir. Ancak, bu malzemenin düşük ısı iletkenliği, düşük kimyasal kararlılığı ve düşük elastiklik modülü işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, karbür matkapla Ti6Al4V malzemenin delinmesi sonucunda matkaplarda gerçekleşen aşınmalar incelenmiştir. Delme işlemleri sabit kesme hızı ve ilerleme değerinde üç farklı delme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrudan dalma, 1 mm dalma ve 2 mm geri çıkma ve 1 mm dalma tam geri çıkma şeklinde üç farklı delme yöntemi kullanılmıştır. En düşük matkap aşınması 1 mm dalma ve tam geri çıkma yönteminde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ti6Al4V titanyum alaşımı, delme, aşınma.

## An Investigation into the Influence Of Drilling Method On Drill Wear in Drilling of Ti6Al4V

### ABSTRACT

Ti6Al4V titanium alloy is an important engineering material widely used in various industries (mainly in aerospace) due to its superior properties. However, its low thermal conductivity, low chemical inertness and low modulus of elasticity make it difficult to machine. In this study, wear of solid carbide drill bits was investigated in drilling Ti6Al4 titanium alloy. Drilling operations were performed at a constant cutting speed and a constant feed rate using the three different drilling methods. These drilling methods were direct drilling (without pecking), 1 mm plunging and 2 mm retract and 1 mm plunging and full retracts. Among the drilling methods 1 mm plunging and full retracts resulted in lowest wear.

**Keywords:** Ti6Al4V titanium alloy, drilling, wear.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Titanyum alaşımları havacılık ve uzay ve biyomedikal endüstrilerinde olağanüstü dayanım ağırlık oranı ve üstün korozyon direnci nedeniyle kullanılmaktadır. Ayrıca, titanyum miktarının gelecek nesil uçakların yapısında kullanımının % 7'den % 15'e çıkacağı öngörülmektedir. Bu nedenle talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmış titanyum parçalar, büyüyen bir pazar olarak algılanmaktadır. Talaşlı imalat (işleme), maliyeti etkileyen önemli bir faktördür. Titanyum alaşımları çoğunlukla işlenebilirliği zor malzemeler olarak bilinmektedir [1]. Bu alaşımların düşük ısı iletkenliği, düşük elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza etmesi ve düşük kimyasal kararlılığı işlenebilirliğinin zor olmasının nedenlerindedir. Bu özellikler nedeniyle hızlı takım aşınması, düşük talaş kaldırma oranı ve yüzey kalitesinin bozulması gibi problemlerle sıklıkla karşılaşılır [2].

Delik delme işlemleri yaygın olarak karşılaşılan üç talaşlı imalat işleminden bir tanesidir. Çeşitli parçalar incelendiğinde, çoğunda çeşitli delikler olduğu görülür.

Bir uçağın kanadındaki ve gövdesindeki perçinlerin, motor blokları ve silindir kapaklarındaki civataların ve çeşitli tüketici ürünlerindeki deliklerin çok sayıda olduğu görülür. Delikler tipik olarak bağlantı elemanlarıyla (delik gerektiren civata, vida, perçin gibi) montaj için kullanılırlar. Üretimde delik açma işlemi, en yaygın kullanılan operasyonlardan olup matkapla delik delme en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Delik delme işlemi otomotiv sektörü için motor üretiminde maliyeti en yüksek olan işlemlerden biridir [3].

Tornalama, frezeleme ve delme gibi talaşlı imalat işlemlerinin tamamı dikkate alındığında delik delme işleminin bu işlemler arasında yaklaşık % 33 gibi bir paya sahip olduğu bilinmektedir [4]. Hatta havacılık ve uzay sanayiinde bu oranın % 40 - 60'a kadar çıktığı rapor edilmiştir [5,6].

Titanyum alaşımlarının ısı iletkenliklerinin oldukça düşük olduğu bilinmektedir. Titanyum alaşımlarının düşük ısı iletkenlikleri talaşlı imalat işlemi esnasında oluşan ısının ciddi oranda kesme bölgesinde kalmasına sebep olmaktadır. Bu problem delme işlemi esnasında daha belirgin olmaktadır çünkü delme işlemi esnasında talaşın kesme bölgesinden uzaklaşması diğer talaşlı imalat işlemlerine göre daha yavaştır. Dolayısıyla ısının

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ibrahim.ciftci@yahoo.com.tr

çoğu kesme bölgesinde kalmakta ve kesici takımın (matkabın) hızlı aşınmasına neden olmaktadır. Aşınma ise takım maliyetini artırmakta, ürün kalitesini düşürmekte ve imalat süresini de sık takım değişikliğinden dolayı artırmaktadır. Ti6Al4V alaşımının delinmesi üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında uygun matkap geometrisi, malzemesi, işlem değişkenleri ve soğutma yöntemlerinin optimize edilmesi amacıyla çok sayıda araştırmanın olduğu görülmektedir [5-11].

Delme işlemlerinde doğrudan delme ve gagalama gibi farklı delme yöntemleri kullanılabilir. Doğrudan delme yönteminde matkap delme işlemine başlar ve işlem bitinceye kadar belirlenen ilerleme değerinde aksel hareketine devam eder. Ancak bu yöntem derin deliklerin ve delinmesi zor malzemelerin delinmesinde ciddi sıcaklık artışlarına ve diğer bazı problemlere neden olabilir. Bu ciddi sıcaklık artışının önüne geçmek için de delme işlemi esnasında gagalama yöntemi tercih edilebilir. CNC takım tezgahlarında ve CAM programlarında delik delme işlemleri için gagalama yöntemi seçenekleri mevcuttur. Doğrudan delme yöntemiyle karşılaştırıldığında gagalama yöntemi ile derin delikler rahatlıkla delinebilir, talaşın kırılması ve matkap kanallarına yapışan talaşların atılması kolay olur ve düzenli aralıklarla geri çıkma nedeniyle sıcaklığın olumsuz etkisi azaltılır [12]. Delik delme ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda gagalama yönteminin kullanıldığı görülmektedir [13,14].

Ti6Al4V malzemenin delinmesinde gagalama yönteminin matkap aşınması üzerindeki etkisi Wong ve diğerleri tarafından incelenmiştir. Farklı uç geometrilerine sahip kaplamasız karbür matkaplarla çeşitli kesme hızlarında ve delme yöntemlerinde (doğrudan delme ve gagalama) delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gagalama yöntemi ile delme işleminde kullanılan matkapların doğrudan delme yönteminde kullanılan matkaplara göre çok daha düşük seviyelerde aşınma sergiledikleri görülmüştür [15].

Yapılan çalışmalardan, Ti6Al4V malzemenin delinmesinde delme yönteminin etkisini inceleyen çalışmaların Wong ve diğerlerinin [15] yaptığı çalışmadan ibaret olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, plaka şeklindeki Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemenin karbür matkapla delinmesinde delme yöntemlerinin (doğrudan dalma ve iki farklı gagalama) matkaplarda oluşan aşınmaya etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

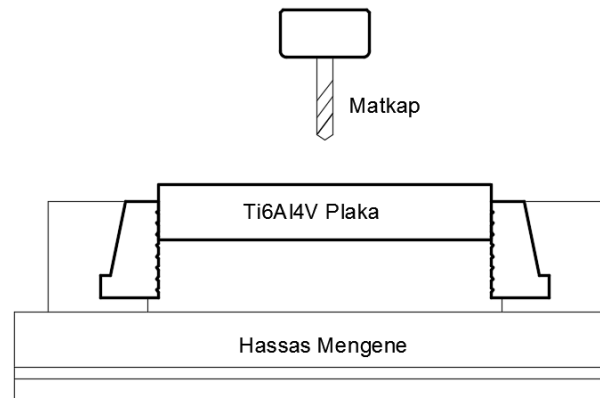
Bu çalışmada, iş parçası malzemesi olarak ASTM B381 standardına uygun 300 x 150 x 25 mm boyutlarında plaka şeklinde Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan iş parçası malzemesi muhtemel çatlak ve kusurlara karşı üretici firma tarafından ultrasonik olarak teste tabi tutulmuştur ve kimyasal bileşimi ve çeşitli özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** İş parçası malzemesi özellikleri (Properties of workpiece material)

İş parçası malzemesi	Ti6Al4V
Kimyasal bileşimi (%)	
Al	5,86
V	4,08
Fe	0,173
C	0,008
N	0,005
H	0,001
O	0,14
Ti	Kalan
Çekme dayanımı (MPa)	955
Akma dayanımı (MPa)	878
Yüzde uzama (%)	13,5

Ti6Al4V titanyum alaşımı iş parçası üzerinde delik delme işlemleri yapmak için helisel karbür matkap kullanılmıştır. Kullanılan matkapların çapları 5 mm, helisel kısımlarının uzunlukları 25 mm, tam boyları 52 mm ve uç açıları da 140°’dir. Özel olarak imal ettirilen matkaplar S15 kalite karbür olup kaplaması da AlCrN’dür.

Delme deneyleri ARION IMM-600 dik işlem merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Plaka şeklindeki Ti6Al4V iş parçası malzemesi hassas bir mengene vasıtasıyla tezgah tablasına bağlanmıştır. Şekil 1’de delme düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. İş parçasının bağlanmasında, iş parçası yüzeyinin tezgah iş mili eksenine ile dikliğini sağlamak için komparatör kullanılmıştır. Ayrıca, delme işlemi öncesinde iş parçası yüzeyinden ince bir katman alın frezeleme yöntemiyle uzaklaştırılmıştır. Bu şekilde hem yüzeydeki muhtemel kusurlar giderilmiş ve hem de iş mili ile iş parçası yüzeyinin dikliği daha iyi sağlanmıştır.



**Şekil 1.** Delme düzeneğinin şematik gösterilmesi (Schematic view of drilling set-up)

Karbür matkaplar CNC dik işleme merkezinin iş mili koniğine uygun bir takım tutucu vasıtasıyla rijit bir şekilde bağlanmıştır. Bütün delme işlemlerinde matkaplar, takım taşma uzunlukları (tool overhang) 35 mm olacak şekilde takım tutucuya bağlanmıştır. Delme

işlemlerinde kesme hızı 20 m/dk ve ilerleme değeri de 0,01 mm/dev olarak alınmıştır. Ti6Al4V pahalı malzeme olması nedeniyle malzeme sarfiyatını azaltmak amacıyla delme deneyleri kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde matkaplarda gerçekleşen aşınmaların daha hızlı olacağı düşünülmüştür. Delme işlemlerinden önce matkaplardaki salgi bir komparatör yardımıyla ölçülmüştür. En yüksek salgi değeri 25 µm olarak ölçülmüştür.

Delme işlemleri üç farklı delme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Birinci yöntemde matkap doğrudan iş parçasına dalarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntemde, her defasında matkap 1 mm dalma ve akabinde 2 mm geri çıkma (gagalama) ile işlem gerçekleştirilmiştir. Üçüncü yöntemde ise, her defasında matkap 1 mm dalma ve tam geri çıkma (gagalama) ile delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi yapan matkaplarda gerçekleşen aşınmalar bir Dinolite Dijital stereo mikroskop yardımıyla gözlemlenmiştir. Aşınmaların daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi için de bir Carl Zeiss Ultra Plus Gemini FESEM tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Üç farklı delme yöntemiyle yapılan delme işlemleri sonucu elde edilen gözlemler burada tartışılacaktır.

#### 3.1. Doğrudan Dalma Yöntemi (Directly Plunging)

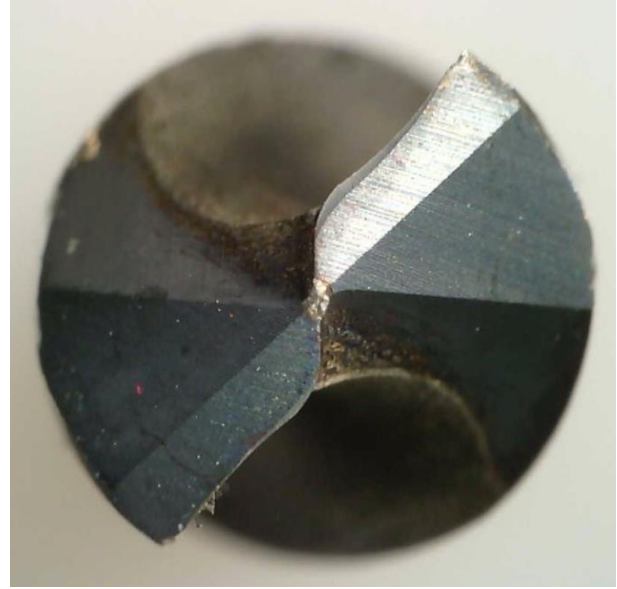
Geri çıkma olmadan doğrudan tek seferde yapılan delme işleminde ilk deliğin delinmesinden itibaren matkap ucunda ciddi kırmızılık gözlemlenmiştir. Ayrıca, delme işlemi esnasında oluşan talaşların yoğun bir şekilde matkabın talaş kanallarını doldurduğu ve sıkışmaya neden olduğu da gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık ve talaş sıkışması nedeni ile işlemin sesinin normal bir delme işleminin sesinden çok farklı olduğu ve işlemin zor geçtiği anlaşılmıştır. 11. deliğin delinmesi esnasında matkap kırılmıştır.

Delme işlemi esnasında çıkan talaşların matkap kanallarını doldurarak sıkışmaya neden olduğu ve matkap ucundaki yüksek sıcaklık nedeniyle matkabın çok fazla aşındığı ve her iki durumun da kuvvetlerin artmasına neden olduğu ve kırılmanın gerçekleştiği düşünülmektedir. Ayrıca, delme işlemi esnasında kesme sıvısının da kullanılmaması çıkan talaşın daha kuvvetli bir şekilde matkabın talaş kanallarına yapışmasına ve daha fazla sıkışmaya ve akabinde de kırılmaya neden olduğu da düşünülmektedir.

#### 3.2. 1 mm Dalma ve 2 mm Geri Çıkma (1 mm Plunging and 2 mm Retract)

1 mm dalma ve akabinde 2 mm geri çıkma yöntemi ile delmede 30 delik delinmiştir. Delme işlemi esnasındaki çıkan sestten başlangıçta delme işleminin gayet iyi bir şekilde yapıldığı anlaşılmıştır. Ancak, delinen delik sayısı arttıkça zorlamadan dolayı işlemin sesinin arttığı görülmüştür. Daha fazla delik delinmesi durumunda

matkabın kırılma ihtimaline karşı 30 delikten sonra delme işlemi gerçekleştirilmemiştir. İlk yöntemde olduğu gibi matkabın talaş kanallarının zamanla talaşla dolduğu görülmüştür. Şekil 2'de bu yöntemle delme işlemi yapan matkapta gerçekleşen aşınma görülmektedir.



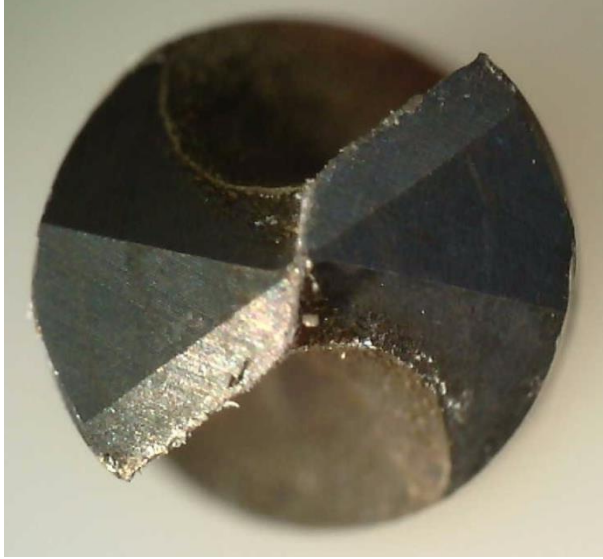
Şekil 2. 30 delik delme sonrası matkapta gerçekleşen aşınmanın dijital mikroskop fotoğrafı (Digital microscope image of the drill bit after drilling 30 holes)

Şekil 2'den aşınmaların genellikle yan yüzey aşınması şeklinde olduğu ve özellikle kesici ağızların matkap merkezine (yardımcı kesici kenara) yakın kısımlarında daha büyük olduğu görülmektedir. Matkabın dış çapına yakın kısımlarda ve dış çapta ise küçük kırılmalar görülmektedir.

#### 3.3. 1 mm Dalma ve Tam Geri Çıkma (1 mm Plunging and Full Retract)

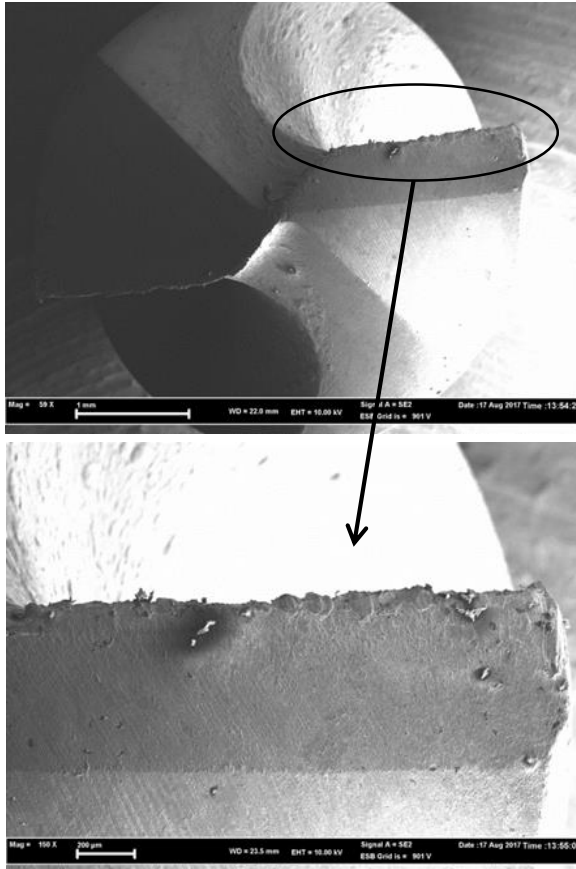
1 mm dalma ve akabinde tam geri çıkma yöntemi ile 150 adet delik delinmiştir. 2. yöntemde (1 mm dalma ve 2 mm geri çıkma) 30 delik delindiği düşünülürse bu yöntemle çok önemli derecede matkabın delme performanslarında bir iyileşme sağlandığı görülür. Şekil 3'de bu yöntemle delme işlemi yapan matkabın dijital mikroskop görüntüsü verilmektedir. Bu görüntüden, matkaptaki aşınmanın 2. yöntemde kullanılan matkabınkine göre çok daha düşük seviyede olduğu görülmektedir. Buradan da 2. yöntemdeki aşınma seviyelerine erişilene kadar delme işlemi yapılması durumunda 150'den çok daha fazla sayıda delik delinebileceği anlaşılabılır.

Şekil 3'ten matkabın kesici ağızlarına iş parçası malzemesinin yapıştığı/sıvandığı ve kesici ağızların dış çapa yakın kısımlarında bir miktar kırılmalar olduğu görülmektedir. Kesici ağızlara iş parçasının yapışması/sıvınması aşınmanın bir göstergesidir. Az miktarda gerçekleşen aşınmanın yapışan malzemelerle gizlendiği görülmektedir.



**Şekil 3.** 150 delik delme sonrası matkapta gerçekleşen aşınmanın dijital mikroskop fotoğrafı (Digital microscope image of the drill bit after drilling 150 holes)

Şekil 4'te bu yöntemle delmede kullanılan matkabın SEM fotoğrafları verilmektedir. SEM fotoğraflarından kesici ağzın dış çapa yakın kısmında küçük kırılmalar ve merkeze doğru olan kısımlarında ise yapışan iş parçası malzemeleri görülmektedir.



**Şekil 4.** 150 delik delme sonrası matkapta gerçekleşen aşınmanın SEM fotoğrafları (SEM images of the drill bit after drilling 150 holes)

### 3.4. Genel Değerlendirme (General Evaluation)

Elde edilen sonuçlardan Ti6Al4V alaşımının delinmesinde delme yönteminin matkap aşınması üzerinde çok ciddi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

1. yöntemde (geri çıkma olmaksızın doğrudan dalma) matkap 11. deliğin delinmesi esnasında kırılmıştır. Bu yöntem ile delme esnasında matkapta ciddi sıcaklık artışı gözlenmiştir. Kırılmanın yüksek sıcaklık sonucu gerçekleşen hızlı aşınmadan ve matkabın helisel kanallarına dolan/sıkışan talaşlardan kaynaklandığı düşünülmüştür.

2. yöntemde 1. yöntemdekine benzer bir sıcaklık artışı delme esnasında matkapta gözlemlenmemiştir. Ancak, delme işleminin ilerleyen aşamalarında matkabın kesme işlemi yaparken zorlandığı anlaşılmıştır. Bu yöntem kullanılarak 30 delik delinmiştir. 30 delik delinmesinden sonra matkaptaki en fazla aşınma 0,122 mm olarak ölçülmüştür.

3. yöntemde kullanılan matkap ile 150 adet delik delinmesine rağmen ikinci yöntemdekine benzer bir zorlanma delme işleminin hiçbir aşamasında gözlemlenmemiştir. 150 delik delme işlemi sonrasında matkaptaki aşınma çok düşük seviyelerde olduğu için aşınma ölçümü gerçekleştirilememiştir. İkinci yöntemde oluşan aşınma seviyesine ulaşmak için 150'den çok daha fazla delik delme işleminin yapılması gerektiği düşünülmüştür.

### 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Ti6Al4V titanyum alaşımı plakalar üzerine karbür matkaplarla farklı delme yöntemleriyle delik delme işlemlerinin gerçekleştirildiği bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Doğrudan dalma yöntemiyle (1. Yöntem) yapılan işlemlerde yalnızca 10 delik delinebilmiştir. 11. deliğin delinmesi esnasında matkap kırılmıştır. 1 mm dalma ve akabinde 2 mm geri çıkma (2. Yöntem) yöntemi ile yapılan delme işlemlerinde 30 adet delik delinmiştir. 1 mm dalma ve tam geri çıkma yöntemi (3. Yöntem) ile yapılan delme işlemlerinde ise 150 adet delinmiştir.
2. 1. yöntemde matkap kırıldığı için matkapta gerçekleşen aşınma incelenememiştir. 2. yöntemde kullanılan matkapta düzenli bir yan yüzey aşınması görülmüştür. 3. yöntemde kullanılan matkapta bir miktar aşınma görülmesine rağmen 2. yöntemdekine göre oldukça düşük seviyede kalmıştır.
3. Gerçekleşen aşınmalar matkabın kesici ağzının merkeze yakın olan kısımlarında yan yüzey aşınması şeklinde ve matkabın dış kısmına yakın olan kısımlarda da ağız kırılması şeklinde olduğu görülmüştür.
4. Farklı delme yöntemlerinin matkap aşınmasını çok ciddi bir şekilde etkilediği görülmüştür.
5. Farklı değerlerde geri çıkma miktarlarının takım aşınmasına etkisini incelemek amacıyla başka çalışmalar yapılabilir.

**TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)**

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen MF200217B26 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden ötürü kuruma teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Ezugwu, E.O. and Wang Z.M., "Titanium alloys and their machinability - a review", *Journal of Materials Processing Technology*, 68: 262-274, (1997).
- [2] Ünal, E. ve Karaca, F., "Ti6Al4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6: 135-139, (2007).
- [3] Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., "Manufacturing engineering and technology", 8<sup>th</sup> Edition, *Prentice Hall*, (2009).
- [4] Çakır, A., "AA 7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [5] Isbilir, O. and Ghassemieh, E., "Finite element analysis of drilling of titanium alloy", *Procedia Engineering*, 10: 1877-1882, (2011).
- [6] Kivak, T. and Seker, U., "Effect of cryogenic treatment applied to M42 HSS drills on the machinability of Ti-6Al-4V alloy", *Materials and Technology*, 49: 949-956, (2015).
- [7] Bıçakçı, N., "Ti6Al4V titanyum alaşımının delinebilirliğinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [8] Sharif, S. and Rahim, E.A., "Performance of coated and uncoated carbide tools when drilling titanium alloy Ti6Al4V", *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 72-76, (2007).
- [9] Shetty, P.K., Shetty, R., Shetty, D., Rehaman, F. and Jose, T.K. "Machinability study on dry drilling of titanium alloy Ti6Al4V using L9 orthogonal array", *Procedia Materials Science*, 5: 2605-2614, (2014).
- [10] Abdelhafeeza, A.M., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Dowson, A. and Arnold, D., "Burr formation and hole quality when drilling titanium and aluminium alloys", *Procedia CIRP*, 37: 230-235, (2015).
- [11] Li, R., Hegde, P. and Shih, A.J., "High-throughput drilling of titanium alloys", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47: 63-74, (2007).
- [12] Smid, P., "CNC programming handbook", 3<sup>rd</sup> Edition, *Industrial Press Inc.*, New York, (2008).
- [13] Pecat, O. and Brinksmeier, E., "Low damage drilling of CFRP/titanium compound materials for fastening", *Procedia CIRP*, 13: 1-7, (2014).
- [14] Chen, Y.C. and Liao, Y.S., "Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718 superalloy", *Journal of Materials Processing Technology*, 140: 269-273, (2003).
- [15] Wong, F.R., Sharif, S., Kamdani, K. and Rahim, E.A., "The effect of drill point geometry and drilling technique on tool life when drilling titanium alloy, Ti-6Al-4V", *Proceedings of International Conference on Mechanical & Manufacturing Engineering (ICME2008)*, Johor Bahru, Malaysia, 21–23 May (2008).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## 34CrNiMo6 çeliğinin frezelenmesinde kesme parametrelerinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi

*Study on the effects of the machining parameters on surface roughness and vibration in milling 34CrNiMo6 steel*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet ERBAŞ<sup>1</sup>, Abdulkadir GÜLLÜ<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0003-0371-7958

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0003-1088-4105

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Erbaş M. ve Güllü A., “34CrNiMo6 çeliğinin frezelenmesinde kesme parametrelerinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 633-639, (2019).

**Erişim linki(To link to this article):**<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.428995

# 34CrNiMo6 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet ERBAŞ<sup>1</sup>, Abdulkadir GÜLLÜ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Çankırı Makine Kimya Endüstrisi Kurumu, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(Geliş/Received : 28.03.2018 ; Kabul/Accepted : 15.05.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada, 34CrNiMo6 alaşımlı çelik, APKT 1705 PER-EM kodlu kesici ucun TT9030 kalitede TiAlN kaplamalı türü ile frezelenerek meydana gelen titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde üç farklı kesme hızı (90, 120 ve 150 m/min), üç farklı ilerleme hızı (0,12, 0,17 ve 0,22 mm/tooth) ve üç farklı talaş derinliği (1, 2 ve 3 mm) kullanılarak, toplam 27 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları varyans analizi ve ortalama etki grafikleri kullanılarak yorumlanmıştır. Test sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametrenin ilerleme hızı, titreşim üzerinde ise en etkili parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür. Kesme hızı ve talaş derinliği yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etki göstermezken, kesme hızının artmasıyla titreşim değerinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, kesme parametreleri, 34CrNiMo6 alaşımlı çelik.

## Study on the Effects of the Machining Parameters on Surface Roughness and Vibration in Milling 34CrNiMo6 Steel

### ABSTRACT

In this study, 34CrNiMo6 alloyed steel was machined with TiAlN coated carbide cutting insert and the vibration and surface roughness during the process were measured. Experiments were carried out through three different cutting speeds (90, 120 and 150 m / min), three different feed rates (0,12, 0,17 and 0,22 mm / tooth) and three different depth of cuts (1, 2 and 3 mm) based on 27 full factorial experiments. The experimental results were statistically evaluated using analysis of variance (ANOVA) and mean effect plots. The test results indicated that the most effective cutting parameter on surface roughness was feed rate while the most effective parameter on vibration was cutting speed. The cutting speed and depth of cut were not exhibited a meaningful effect on the surface roughness and the vibration was increased with increasing cutting speed values.

**Keywords:** Surface roughness, vibration, cutting parameters, 34CrNiMo6 alloy steel.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatla yapılan çalışmalar incelendiğinde, kesme parametrelerinin elde edilen ürünün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülecektir. Asıl amacın mümkün olduğu kadar hızlı, kaliteli ve ekonomik ürün elde etmek olduğu gerçeğini göz önünde bulundurulduğunda, optimum kesme şartlarını sağlamanın kaçınılmaz olduğu sonucuna varılır. Optimum kesme şartlarını sağlamak için sayısız deneyler yapılmış olsa da gelişen malzeme ve işleme teknolojileri sonucunda kesme şartlarının sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli veriler ölçülmekte ve değerlendirilmektedir. Bunların arasında işlenen malzemede oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ve işleme sırasında oluşan titreşim değerleri önemli bir yere sahiptir.

Uygun kesme parametreleri seçilmediği takdirde kesici takımında zorlanma veya deformasyon meydana gelmektedir. Bu durum ise; hem yüzeyin pürüzlü çıkmasına hem de zorlanmadan dolayı tezgâhta oluşan titreşimin artmasına sebep olmaktadır[1]. Dolayısıyla titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri kesme parametrelerinin belirlenmesinde gerek ayrı ayrı gerekse birlikte değerlendirildiğinde önemli iki veri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu alanda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı bakış açıları ve farklı parametreler kullanılmış, birçok konuda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Zaman zaman farklı sonuç ve yorumlara da rastlanmıştır.

AISI 304 Östenitik paslanmaz çelik malzeme değişik kesme parametreleri ile işlenmiş, malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülükleri incelenerek optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, ilerleme ile

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mehmet.eras@gmail.com.tr



yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki incelenmiş ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. Ayrıca, ilerlemenin yanı sıra kesme hızı ve talaş derinliğinin de yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, bunların arasında en fazla etkinin de ilerlemede olduğu sonucuna ulaşılmıştır[2]. Benzer çalışmalar farklı malzemeler kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından da gerçekleştirilmiş ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğu, bunu kesme hızı ve talaş derinliğinin takip ettiği görülmüştür[3-13]. Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmalar araştırmacıları yüzey pürüzlülüğünü önceden tahmin edebilecek modeller geliştirmeye sevk etmiştir[14-16].

Frezeleme esnasında tezgâhta oluşan titreşimlerin; işlenen yüzeyin kalitesini, kesici takımın ömrünü ve tezgâhın performansını olumsuz yönde etkilediği bilinen bir gerçektir. Uygun kesme parametrelerinin seçilmediği durumlarda oluşan titreşimler, tezgâha ve kesici takıma gelen yükü arttıracak için elde edilen yüzeyin de daha pürüzlü olmasına sebep olur[17]. Dolayısıyla araştırmacılar pürüzlülüğün ölçülmesiyle optimize edebilecekleri kesme parametrelerini oluşan titreşimle beraber değerlendirdiklerinde daha verimli sonuçlara ulaşmışlardır[18-20].

Görüldüğü üzere, farklı malzemelere farklı kesme parametreleri kullanılarak talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri gerek ayrı gerek birlikte ölçülerek kesme parametrelerinin optimizasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda 34CrNiMo6 çeliğinin işlenmesiyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, havacılık ve savunma sanayisinde yoğun olarak kullanılan 34CrNiMo6 çeliği farklı kesme parametrelerinde frezelenmiştir. Kullanıldığı alanlarda iyi bir yüzey kalitesinin istenmesinin önemi de düşünüldüğünde, yapılan bu çalışmanın elde edilen sonuçları doğrultusunda optimum kesme parametrelerinin seçilebilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Deney Numuneleri (Experiment Samples)

Deneylerde 150mm x 200mm x 70mm (En x Boy x Kalınlık) ölçülerinde 34CrNiMo6 alaşımlı dövme malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzeme yüzey sertleştirmeye uygun, yüksek tokluk özelliği gösteren bir çelik olduğundan dolayı özellikle savunma sanayi başta olmak üzere, uçaklarda, otomobil ve motor parçalarında, eksantrik ve krank millerinde, direksiyon parçaları ve kovanlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Malzemenin kimyasal bileşimi NitonXLtPortable XRF Analyzer cihazında ölçülmüş ve kimyasal değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir. Ayrıca malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 2.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** 34CrNiMo6 malzemenin % olarak kimyasal bileşimleri (Chemical composition in % of 34CrNiMo6 material)

C	Si	Mn	S	Cu	Al
0,322	0,222	0,6	0,014	0,191	0,013
Cr	Mo	Ni	V	Nb	Fe
1,489	0,141	1,581	0,007	0,008	95,41

**Çizelge 2.** 34CrNiMo6 malzemenin mekanik özellikleri (Mechanical properties of 34CrNiMo6 material)

Çekme dayanımı (N / mm <sup>2</sup> )	Akma gerilmesi (MPa)	Kopma uzaması (%)	Sertlik (HB)
971,91	751	12,5	306-313

### 2.2. Deneylerde Kullanılan Tezgâh, Kesici Takım, Takım Tutucu ve Ölçme Cihazları (Milling Machine, Cutting Tools, Tool Holder And Measuring Instruments Used In Experiments)

Yapılan deneyler; Oerlikon KD2 CNC MCT32 marka tezgâhta, TaeguTec firması tarafından üretilen APKT 1705 PER-EM kodlu kesici ucun TT9030 kalitede TiAlN kaplamalı türü ve yine aynı firmanın TES D63-44-27-AP17 numaralı takımı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan takım üç sıra yatayda, üç sırada dikeyde olmak üzere 9 adet kesici uç ile çalışmaktadır.

Deneyler sonucunda oluşan yüzey pürüzlülük değerleri, Q.P.T RT-10 Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı kullanılarak ölçülmüştür. İş parçasının yüzeyi 200 mm ölçüsü boyunca 5 farklı bölgeden ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama pürüzlülük (Ra) değeri kriter olarak alınmıştır. Böylece takımın talaşa giriş ve çıkış bölgelerinde titreşimden dolayı oluşan aşırı dalgalanmaların ölçülen pürüzlülük değerlerinde yanlış yorumlanmasının önüne geçilmiştir.

İşleme esnasında oluşan titreşim değerleri, ucundaki mıknatıslı prob aracılığı ile iş parçasına bağlanabilen ProVibro PVM 303 model titreşim ölçme cihazı ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

### 2.3. Kesme Parametreleri (Cutting Parameters)

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri, kesici takım firmasının katalog değerleri ve tezgâh kapasitesi de dikkate alınarak Çizelge 3.'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Deneylerde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in experiments)

Faktörler	Seviyeler
Kesme hızı (m/min)	90 - 120 - 150
Diş başı ilerleme miktarı (mm/tooth)	0,12 - 0,17-0,22
Talaş derinliği (mm)	1,0 -2,0 - 3,0

### 3. DENEYSSEL BULGULAR

#### (EXPERIMENTAL FINDINGS)

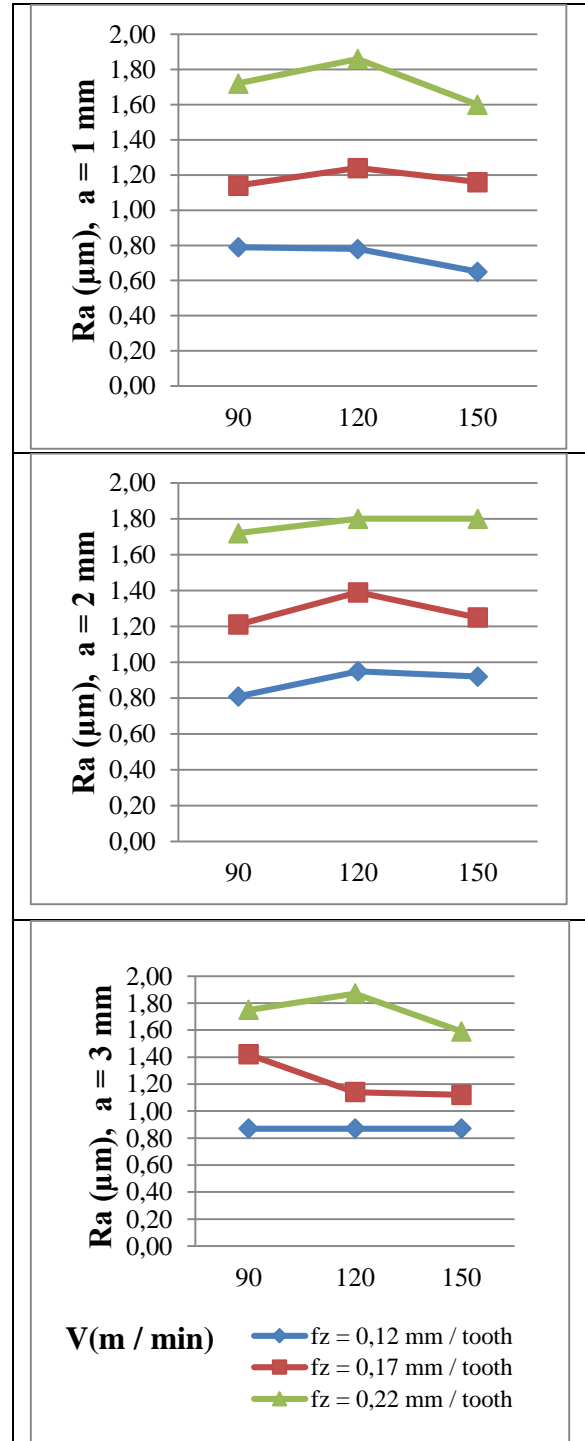
Üç farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği kullanılarak 27 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, her bir numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve deneyler sırasında oluşan titreşim değerleri ölçülerek Çizelge 4.' te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Deney sonuçları (Experimental results)

DENEY NO	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V(m/ min)	İlerleme Miktarı Fz (mm/rev)	Titreşim Vib(mm/s)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)
1	1	90	0,12	0,15	0,79
2			0,17	0,25	1,14
3			0,22	0,3	1,72
4	2		0,12	0,3	0,81
5			0,17	0,3	1,21
6			0,22	0,4	1,72
7	3		0,12	0,4	0,87
8			0,17	0,5	1,42
9			0,22	0,5	1,75
10	1	120	0,12	0,4	0,78
11			0,17	0,3	1,24
12			0,22	0,5	1,86
13	2		0,12	0,5	0,95
14			0,17	0,7	1,39
15			0,22	0,7	1,80
16	3		0,12	0,8	0,87
17			0,17	0,9	1,14
18			0,22	1,1	1,87
19	1	150	0,12	0,7	0,65
20			0,17	0,7	1,16
21			0,22	0,8	1,6
22	2		0,12	0,6	0,92
23			0,17	0,6	1,25
24			0,22	1,2	1,80
25	3		0,12	0,9	0,87
26			0,17	0,9	1,12
27			0,22	1,2	1,59

Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilip grafikleri çizilmiş, kesme parametrelerinin oluşan yüzey pürüzlülük ve titreşim değerlerine etkileri incelenmiştir.

### 3.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülük Değerine Etkileri (Effects on Surface Roughness Value of Cutting Parameters)

**Şekil 1.** Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine etkilerinin grafiksel değişimi (Graphical variation of effects of cutting parameters to surface roughness values)

Şekil 1.' de, Çizelge 4.' teki yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimiyle ilgili grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler incelendiğinde;

1, 2 ve 3mm talaş derinliklerinin tamamında artan ilerleme miktarının yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı açıkça görülmektedir. İlerleme miktarının artması daha pürüzlü bir yüzey elde edilmesine sebep olmaktadır.

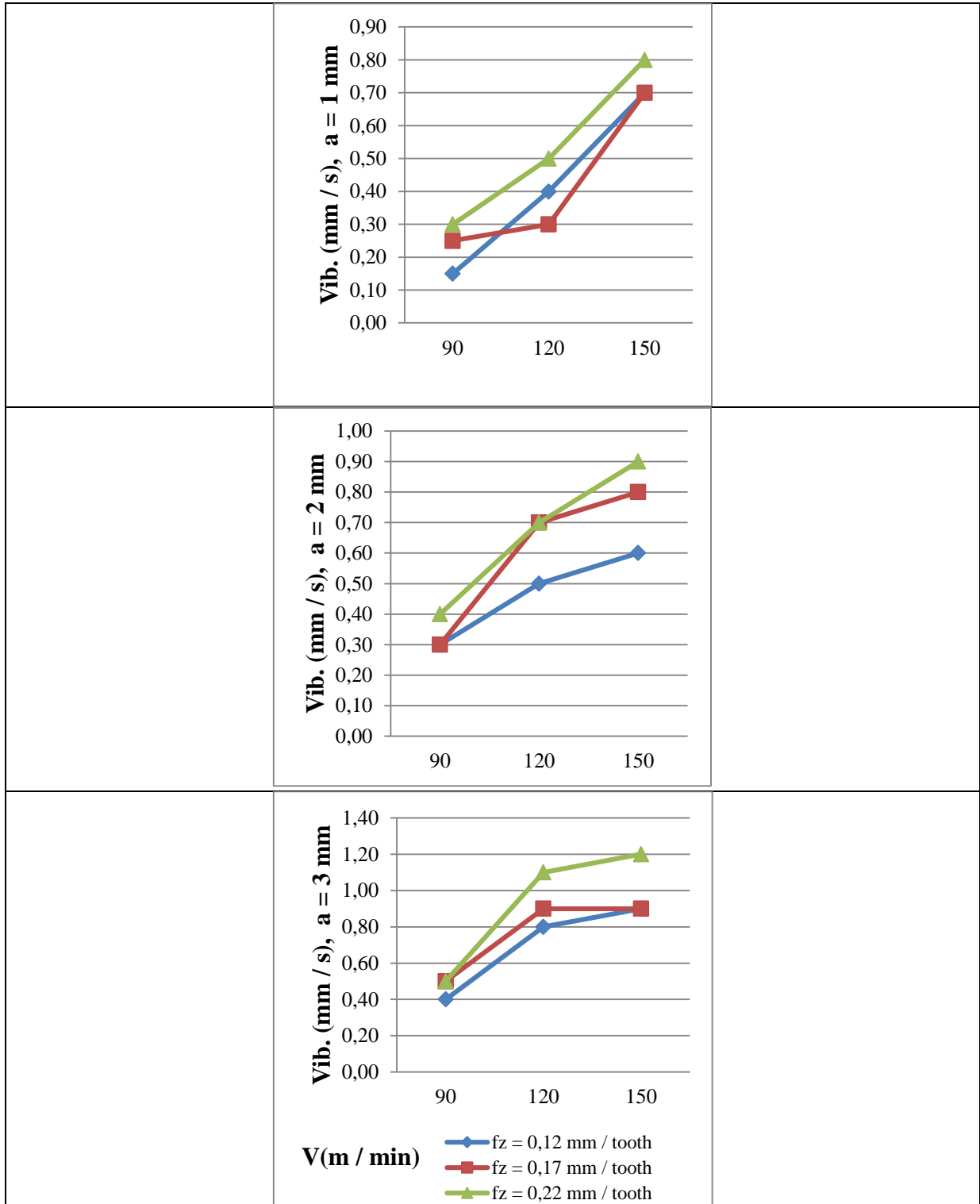
Buna ek olarak, kesme hızı ve talaş derinliğindeki değişimin yüzey pürüzlülük değerlerinde ciddi bir etkiye sebep olmadığı sonucu da görülmüştür. Bu durumu Şekil

3.' te gösterilen yüzey pürüzlülüğü için ortalama etki grafiği de desteklemektedir.

Yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik aşağıda verilmiştir. Elde edilen regresyon oranı  $R^2 = \%94,17$  olarak bulunmuştur. Buna göre:

$$Ra = -0,237 + 0,01742a - 0,01227V + 3,73556F \quad (1)$$

### 3.2.Kesme Parametrelerinin Titreşim Değerine Etkileri (Effects on Vibration Value of Cutting Parameters)



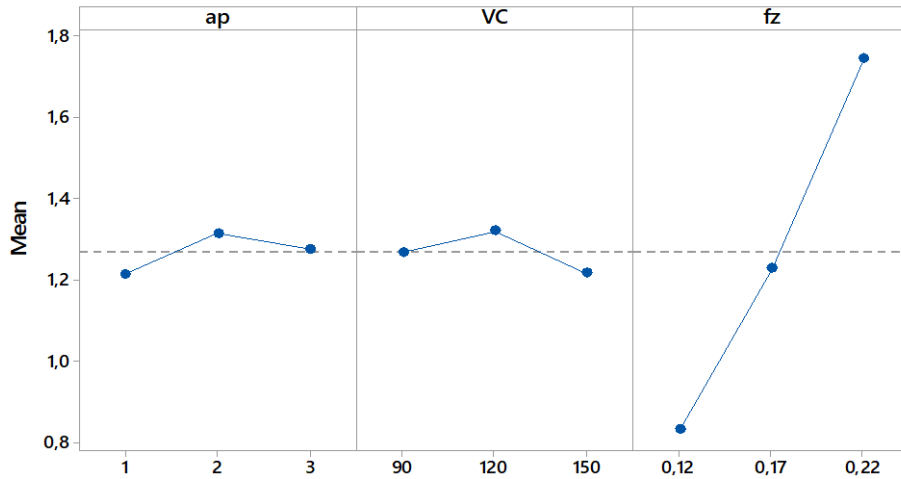
eşitliği elde edilmiştir.

Farklı malzemelerle gerçekleştirilen birçok çalışmada da görüldüğü gibi artan ilerleme miktarı daha pürüzlü bir yüzey elde edilmesine sebep olmaktadır[1],[4-6][8-9][16] [21-22]

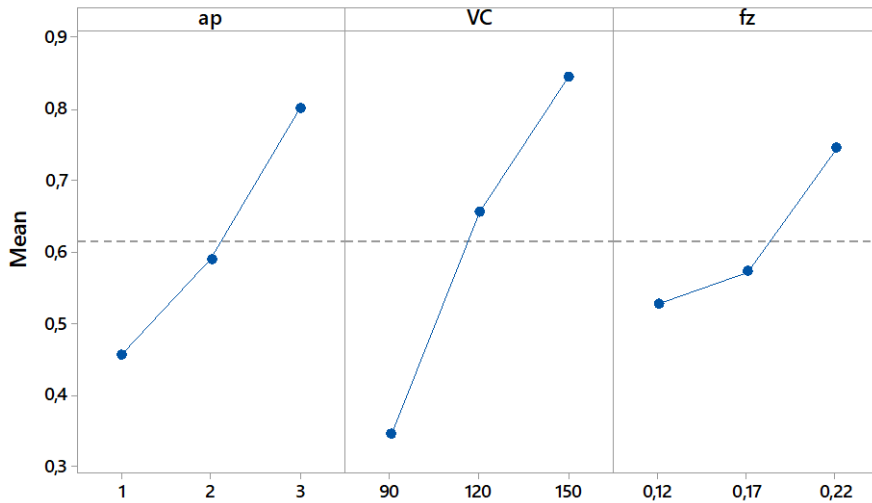
Elde edilen veriler kullanılarak yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 5.' te gösterilmiştir. Burada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları da görülmektedir.

**Çizelge 5.** Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için varyans analizi sonuçları etki oranları (Variance analysis results impact ratios for surface roughness and vibration)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P	Etki oranı(%)
<b>Yüzey Pürüzlülüğü</b>						
Regression	3	3,76525	1,25508	123,92	0,000	
ap	1	0,01742	0,01742	1,72	0,203	% 0,435
VC	1	0,01227	0,01227	1,21	0,282	% 0,306
fz	1	3,73556	3,73556	368,82	0,000	% 93,431
Error	23	0,23295	0,01013			
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>3,99820</b>				<b>94,172</b>
<b>Titreşim</b>						
Regression	3	1,8701	0,62338	43,59	0,000	
ap	1	0,5339	0,53389	37,33	0,000	% 24,278
VC	1	1,1250	1,12500	78,66	0,000	% 51,157
fz	1	0,2112	0,21125	14,77	0,001	% 9,603
Error	23	0,3289	0,01430			
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>2,1991</b>				<b>85,04</b>



**Şekil 3.** Yüzey pürüzlülüğü için ortalama etki grafiği (Main effect plot for surface roughness)



**Şekil 4.** Titreşim için ortalama etki grafiği (Main effect plot for vibration)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu deneysel çalışmada; 34CrNiMo6 çeliğin farklı kesme parametreleri ile frezelenmesinde; iş yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerleri ve tezgâhta oluşan titreşim değerleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

İş üzerindeki yüzey pürüzlülüğü için:

- Yapılan deneylerin hepsinde de ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde de bir artış meydana gelmiştir.
- İlerleme miktarı, yüzey pürüzlülüğüne etki oranı %93,431 ile en etkili parametre olmuştur.
- Yüzey pürüzlülüğünün değişiminde kesme hızı ve talaş derinliğinin önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.
- Artan ilerleme miktarı ile kesici takımın malzeme yüzeyiyle temas aralığı arttığı için elde edilen yüzeyin daha pürüzlü bir yüzey olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.
- En iyi pürüzlülük değeri 1mm talaş derinliği, 0,12 mm/tooth ilerleme miktarı ve 150 m/min kesme hızı değerinde elde edilmiştir.

Tezgâh üzerindeki titreşim için:

- Kesme parametrelerinden kesme hızının %51,157 oran ile en önemli etkiyi sağladığı, bunu %24,278 ile talaş derinliği ve %9,603 ile ilerleme miktarının sağladığı görülmektedir.
- Kesme hızının artması kesici takımı kapasitesinden daha hızlı bir kesme yapmaya zorladığından dolayı tezgâhta oluşan titreşim değerini de arttırmaktadır.
- Benzer şekilde talaş derinliğinin artması da sürtünen yüzeyi arttırmakta ve bu durum ise tezgâhın daha fazla zorlanmasına, kesici takımın daha çabuk aşınmasına ve tırlama titreşimlerinin artmasına sebep olmaktadır.
- En düşük titreşim değerine ise 1mm talaş derinliği, 0,12 mm/tooth ilerleme miktarı ve 90 m/min kesme hızı değerinde ulaşılmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lohithaksha M. and Maiyara, "Optimization of machining parameters for end milling of inconel 718 superalloy using taguchi based grey relational analysis", *Procedia Engineering*, 64: 1276-1282, (2013).
- [2] Tekaslan Ö., Gerger N. ve Şeker U., "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması", *BAU FBE Dergisi*, 10:3-12, (2008).
- [3] Sheth S. and George P.M., "Experimental investigation and prediction of flatness and surface roughness during face milling operation of WCB material", *Procedia Technology*, 23: 344-351, (2016).
- [4] Dilipak H. ve Gezgin A., "AISI D3 çeliğinin frezelenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 13: 29-32, (2010).
- [5] Alauddin M., Baradie M.A. El and Hashmi M.S.J., "Computer-aided analysis of a surface-roughness model for end milling", *Journal of Materials Processing Technology*, 55: 123-127, (1995).
- [6] Gökkaya H., Sur G. ve Dilipak H., "Kaplamaless sementit karbür kesici takım ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12: 59-64, (2006).
- [7] Narasimhulu A., Paruchuri Venkateswara R. and Ghosh S., "Dry machining of Ti-6Al-4V using PVD coated TiAlN tools", *Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K.*, 978-988, (2012).
- [8] Zhang Julie Z., Chen Joseph C. and Kirby E. D., "Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method", *Journal of Materials Processing Technology*, 184: 233-239, (2007).
- [9] Şahin N., "Kalıp çeliklerinin freze tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin, takım talaş ara yüzey sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi*, (2012).
- [10] Çetin M., Bilgin M., Ulaş H.B. ve Tandıroğlu A., "Kaplamaless sementit takımına AISI 6150 çeliğinin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 168-176, (2011).
- [11] Gezgin A., Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara : *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi*, 2007.
- [12] Yılmaz V., Dilipak H., Sarıkaya M., Yılmaz C.Y. ve Meral G., "Frezeleme işlemlerinde titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu", *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 4:37-44, (2014).
- [13] Karabulut,Ş. ve Şahinoğlu A., "R260 çeliklerinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve makine gürültüsü üzerine etkileri", *Politeknik Dergisi*, 21(1):237-244, (2018).
- [14] Brezocnik M., Kovacic M. and Ficko M., "Prediction of surface roughness with genetic programming", *Journal of Materials Processing Technology*, 157-158:28-36, (2004).
- [15] Nas E., Samtaş G. ve Demir H., "CNC frezelemede yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18:47-59, (2012).
- [16] Baek D. K., Ko T. J. and Kim H. S., "Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model. s.l.", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:451-462, (2001).
- [17] Logins A. and Torims T., "The influence of high-speed milling strategies on 3D surface roughness parameters", *Procedia Engineering*, 100:1253-1261, (2015).
- [18] Zhang S. J., To S., Zhang G. Q. and Zhu Z. W., "A review of machine-tool vibration and its influence up on surface generation in ultra-precision machining", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 91:34-42, (2015).

- [19] Oktem H., Erzurumlu T. and Erzincanlı F., “*Prediction of minimum surface roughness in end milling mold parts using neural network and genetic algorithm. s.l.*”, ***Materials and Design***, 27: 735-744, (2006).
- [20] Kant G. S. and Kuldip S., “*Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining. s.l.*”, ***Journal of Cleaner Production***, 83:151-164, (2014).
- [21] Şahinoğlu A., Karabulut Ş., and Güllü A., “Study on spindle vibration and surface finish in turning of Al 7075”, ***Solid State Phenomena***, 261: 321-327, (2017).
- [22] Şahinoğlu A., Güllü A. ve Dönertaş M. A., “GGG50 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim , ses şiddeti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin araştırılması”, ***Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, 2: 67–79, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# ANFIS ile kendiliğinden yerleşen beton basınç dayanımının tahmini

## *Prediction of compressive strength of self-compacting concrete with ANFIS*

*Yazar(lar) (Author(s)): İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Mehmet Ozan OLGUN<sup>2</sup>, Eyyüp GÜLBANDILAR<sup>3</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-2075-6361*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0309-7760*

*ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-5559-5281*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Topçu İ.B., Olgun M.O., Gülbandır E., “ANFIS ile kendiliğinden yerleşen beton basınç dayanımının tahmini”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 641-647, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.537209

# ANFIS ile Kendiliğinden Yerleşen Beton Basınç Dayanımının Tahmini

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Mehmet Ozan OLGUN<sup>1</sup>, Eyyüp GÜLBANDILAR<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.04.2018 ; Kabul/Accepted : 13.02.2019)

## ÖZ

Kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) son yıllarda beton teknolojisindeki en büyük gelişme olduğu söylenebilir. KYB'ler vibratör kullanılmaksızın çok sık donatılı ve karmaşık kesitli yapılarda yüksek dayanım vermektedir. KYB içeriğindeki; süper akışkanlaştırıcı kullanımı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi özellikler açısından normal betondan farklıdır. Bu çalışma, KYB'lerde süper akışkanlaştırıcı katkıların oranıyla betondaki basınç dayanımının ve su/çimento oranındaki değişimleri, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) tahmin modeli ile araştırmak için tasarlanmıştır. Bu modeli inşa etmek için; çimento dozajı (300, 400 ve 450), KYB oranı ve çimento/su oranı giriş değişkeni olarak 28 günlük basınç dayanımı çıkış değişkeni seçilerek ANFIS modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan modelin eğitiminde toplam 63 veri setinden rastgele olarak seçilen 53 adet veri kullanılmıştır. Eğitilen modelin test edilmesi içinde 10 adet veri seti kullanılmıştır. Test parametrelerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında tasarlanan modelim 28 günlük basınç dayanımlarının tahmininde ( $R^2=0,933$ ,  $p<0,001$ ,  $c=0,966$ ) şeklinde başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen beton, basınç dayanımı, süper akışkanlaştırıcı, ANFIS.

## Prediction of Compressive Strength of Self-Compacting Concrete with ANFIS

### ABSTRACT

It can be said that the self-compacting concrete (SCC) has been the biggest development in concrete technology in recent years. Self-compacting concretes are very heavily reinforced without vibrators and provide high strength in complex cross-section structures. Both the speed of production and the quality of concrete can be increased by using self-compacting concrete. In the content of the KYB; Superplasticizer use, viscosity additive use, water/binder ratio, sand/total aggregate ratio and total coarse aggregate amount. This study is designed to investigate the changes in the compressive strength and cement/water ratio of the concrete with the proportion of superplasticizer admixtures in self-compacting concrete (SCC) using the predictive model of Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems (ANFIS). In the design of ANFIS model were selected cement dosage (300, 400 and 450), SCC ratio and cement ratio (cement/water) as input variables, and compressive strength as output variables. Training data set which 53 randomly selected from 63 data sets were used for the training of the designed model. For the testing of the trained model were, it was used by the 10 data sets remainder of the total set. When comparing correlation between the results obtained from the test parameters and the experiment alone, the designed model showed successfully in predicting the 28-day compressive strengths ( $R^2= 0.933$ ,  $p< 0.01$ ,  $c = 0.966$ ).

**Keywords:** Self-compacting concrete, compressive strength, superplasticizer, ANFIS.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akışkanlaştırıcılar uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlamak ve kolay yerleşmeyi sağlamak amaçlarıyla kullanılırlar [1,2].

Akışkanlaştırıcılar, su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içerisine hava sürükleyerek çimentonun topaklaşmasını önlerler [3]. Hazır beton teknolojisinde betonun santralden taşınarak kalıba

yerleştirilinceye kadar geçen süre bazı durumlarda istenen veya beklenen süreden daha fazla zaman alabilmektedir. Santralin betonun döküleceği yere uzak olması veya trafik tıkanıklığı gibi durumlarda beton şantiyeye vardığında, geçen zamandan ötürü oluşan kıvam kaybının yalnızca su kullanılarak iyileştirilmesi durumunda betonun özelliklerinde çok zararlı etkiler oluşabilmektedir [4]. Bu nedenle beton üretiminde kullanılması gereken çimento miktarı azaltılmaksızın veya beton dayanımından ödün vermeksizin üretilen betonun, akıcı ve kolay yerleşebilir olmasının sağlanması gerekmektedir. Bu akıcılığın sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmaktadır. Bu katkılar uygun koşullarda kullanılarak beton içerisine katıldığında aynı

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : egulbandilar@ogu.edu.tr



işlenebilmeyi sağlamak koşulu ile karışım suyu miktarında azalmalar sağlayabilmektedirler [5].

Gürdal ve Yüceer'in çalışmasında doldurma yeteneği (süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, dengelenmiş su/bağlayıcı oranı), ayrışmaya karşı direnç (terleme-kaba agrega ayrışması-hava boşluğundaki düzensizlik için sınırlı agrega içeriği, düşük su içeriği ve viskozite artırıcı önerilmiş), işlenebilme ve geçiş yetenekleri (blokajı önlemek için iri agrega istenmez ve viskozite artışı ve düşük su/bağlayıcı oranı) incelenmiş ve uyumsuzlukların giderilmesi verilmiştir [6].

Felekoğlu'nun çalışmasında KYB üretimi için uygun malzeme tip ve miktarının seçimi yapılmış, optimum karışım oranları belirlenmiştir. Elde edilen verilerle iki aşamada hazırlanan beton karışımlarının taze halde kendiliğinden yerleşebilirlik ve sertleşmiş halde mekanik özellikleri incelenip normal beton özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sabit bir çimento dozajı ve agrega granulometrisinde, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Çekme dayanımları normal betona göre %17 daha yüksektir. E-modülü oranlarında çok değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrışma olmaması için su /toz oranı hacminde 0.84-1.07 arasında değişen ve toz madde ağırlığının %1.27-0.60 arası akışkanlaştırıcı kullanımı önerilmektedir [7].

Topsakal ve Özel çalışmalarında üç farklı çimento dozajında (350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup>), en büyük tane çapı 16 mm KYB'nin çökmede yayılma değerleri 4 farklı zaman için ölçülmüştür. Bu zamanlarda alınan beton numunelerinin sertleşmiş özellikleri (ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yüzey sertliği vb.) değişimleri incelenmiştir. Sonuçta, numune alma süresine dikkat çekilmiştir. Çökme yayılma değerlerinin azaldığı ve zamanla işlenebilirlik kaybı olduğu belirlenmiştir. Numune alma sürelerine bağlı olarak basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici ile ölçülen yüzey sertliğinde zamana göre artışlar olmuştur. Çimento dozajının artmasıyla çökme yayılma değerlerinde artış elde edilmiştir. Yatay eksenli ve düşey eksenli mikserlerden düşey eksenli mikser numuneleri daha iyi sonuç vermişlerdir [8].

Emiroğlu vd. çalışmalarında atık lastikleri kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonda bağ performansını daha sünek beton oluşturarak çalışmışlardır. Bu atık lastiklerin kullanımında kritik sorun lastik parçacıkları ve çimento hamuru arasındaki ara yüzün zayıf olmasıdır. Portland çimento ile birlikte puzolan kullanımıyla arayüzdeki aderansın geliştirilebileceği kabul edilir. Çalışmada atık lastiklerle üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda çökme ve yayılmanın kullanılan lastik parçacıklarının çapına bağlı olduğu açıklanmıştır. Basınç dayanımları atık lastik miktarıyla azalmıştır. En yüksek bağ dayanımı (çekme) %15 lastikli karışımda elde edilmiştir [9].

Ünal yaptığı çalışmada 5 seride kırmataş, 5 seride de çakıl agregaları kullanılarak her seride altışar numune olmak üzere 60 adet 150x150 mm'lik küp numuneler

üretilmiştir. Elde edilen verilere göre kırma taş agreganın KYB'nin dayanım özelliklerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür. Birim hacim ağırlıkları s/ç oranının artmasıyla azalmıştır. Taze betonda çakıl agregası, sertleşmiş betonda kırma taş serileri daha iyi sonuç vermiştir. s/ç oranı 0.37'de yetersiz 0.46-0.48 arası ayrışma sorununu yarabileceği için s/ç aralığı 0.41-0.45 aralığında olması sağlıklı bulunmuştur [10].

Tohumcu ve Bingöl'ün çalışmasında mineral katkı maddesi olarak çimento olarak ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı ve %25, %40 ve %55 oranlarında uçucu kül kullanılarak KYB üretilmiş ve beton özellikleri ile sertleşmiş betonların 3,7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Silis dumanı ilavesi basınç dayanımlarında artışa yol açarken uçucu kül katkılı betonlarda dayanım azalması belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa ile %15 silis dumanı kullanılarak üretilen betonlardan elde edilmiştir. Uçucu kül erken yaşlarda puzolanik etki ortaya koymadığı için dayanım azalmıştır. Viskozite ise genel olarak artmıştır [11].

Türkmenoğlu vd. çalışmasında toplam olarak 5 farklı beton karışımı elde edilmiştir. Mermer tozu, çimento ile %0, %5, %10, %15 ve %20 oranların da yer değiştirilerek kullanılmıştır. Tüm karışımlarda s/ç oranı ve toplam bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda %15 oranında mermer tozu ilavesinin KYB üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca mermer tozunun kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretiminde değerlendirilmesi ile bu atıkların çevreye verildikleri zararlı etkiler ve ekonomik yarar sağlanabilecektir [12].

Gönen ve Yazıcıoğlu'nun çalışmasında, ponza ve geliştirilmiş perlit agregası ile 4 farklı kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretilmiştir. Üretilen KYHB'lerin kendiliğinden yerleşebilirlikleri ile donma-çözülme dirençleri incelenmiştir ve bu özellikler dere agregalı KYB ve vibrasyonla sıkıştırılan hafif beton (HB) ile karşılaştırılmıştır. Taze beton deney sonuçlarına göre agreganın birim ağırlığı azaldıkça V-hunisi boşaltma süresinin uzadığı görülmüştür. Dere agregalı KYB'lerin birim ağırlığı 2,3-2,4 ton/m<sup>3</sup> iken KYHB'nin birim ağırlığının geliştirilmiş perlit ilave edilmesi durumunda 1,7 ton/m<sup>3</sup>'e kadar düştüğü görülmüştür. Birim ağırlığa düşen basınç dayanımında KYHB'lerin KYB'lere göre daha verimli oldukları görülmüştür. Fakat donma-çözülme deneyleri sonrasında; agregaların birim ağırlıklarının azalmasının KYHB'lerin donma-çözülme dayanıklılıklarının azalmasına neden olmuştur [13].

Topçu vd.'nin çalışmasında, uçucu kül, kireç taşı tozu, tuğla ve mermer tozunun KYB'de ince malzeme olarak kullanılması durumunda katkı gereksinimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. KYB'de akışkanlığı sağlamak üzere uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerin yanı sıra taş unu gibi ince malzemelerde kullanılmaktadır. Deneyler yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB harçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Harçların

üretiminde ince malzemeler çimentoyla belirli bir oranda yer değiştirilmiş ve %0,5'ten %2,5 oranına kadar kimyasal katkı ilave edilmiştir. 0-4 mm doğal kum ile üretilen harçlar, üzerinde mini çökmede yayılma ve V-hunisi testleri yapılmıştır. Rölatif çökmede yayılma ile s/ç oranı arasındaki ilişkiden gerekli olan katkı miktarı çimento ağırlığının yüzdesi olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak seçilen mineral katkıların katkı gereksinimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir. Sabit su/toz oranında kimyasal katkı oranı arttıkça tüm harçların işlenebilirliği artmıştır. Her ince malzemenin yüzeyinin su filmi ile kaplanması için gereken su/toz oranı farklı olacağından, dikkate alınmazsa işlenebilirlik büyük ölçüde kaybolmaktadır [14].

Türkel ve Alabaş yaptıkları bir çalışmada PÇ 42.5 çimentosu ile PKÇ/A 42.5 çimentosunun, buhar kürü uygulamaları açısından kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışmada, su/çimento oranı 0.44 olan 150 mm'lik küpler 4, 8, 16, 24 ve 36 saat buhar kürüne tutulmuş, kür sıcaklığı 65°C ve çimento dozajı 400 kg/m<sup>3</sup> seçilmiştir. Farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerlerinin değişimi şahit numunelerle karşılaştırılmalı olarak incelemiştir. İki farklı çimento tipi

katkı olarak da farklı iki firmadan alınan normal ve süper akışkanlaştırıcı katkıları olmak üzere toplam 4 farklı akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. CEM I 42.5'e ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** CEM I 42.5'e ait kimyasal özellikler (Chemical properties of CEM I 42.5) [18]

Bileşen Adı	Çimento
SiO <sub>2</sub> Çözünen	22,06
Çözünmez kalıntı	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20
CaO	65,4
MgO	1,13
SO <sub>3</sub>	2,98
Kızdırma Kaybı	2,53
Tayin Edilemeyen	1,90
Serbest CaO	1,51
Na <sub>2</sub> O	0,53
K <sub>2</sub> O	0,50

**Çizelge 2.** CEM I 42.5'e ait fiziksel ve mekanik özellikler (Physical and mechanical properties of CEM I 42.5) [18]

Fiziksel Özellikler			
Priz Başlangıcı (dak.)			135
Priz Sonu (dak.)			160
Hacim Sabitliği (mm)			4,0
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)			4400
Mineralojik Bileşenler		Mekanik Özellikler	
C <sub>3</sub> S	54,88	Gün	Basınç Dayanımı (MPa)
C <sub>2</sub> S	26,01	2	34
C <sub>3</sub> A	11,80	7	50
C <sub>4</sub> AF	0,71	28	63

kullanılarak hazırlanmış beton karışımlarının 65°C üst kür sıcaklığında beş farklı ısı emdirme sürecinde (4, 8, 16, 24, 36 saat) bekletildikten sonra PÇ 42.5 çimentosunun PKÇ/A 42.5 çimentosuna göre daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduklarını ortaya koyulmuştur. Ayrıca normal kür koşullarında PÇ 42.5 çimentosunun, PKÇ/A 42.5 çimentosuna göre erken yaşlarda dayanım kazanma eğiliminin, buhar kürü yöntemindeki ısı işlem uygulama süreleri için de benzer olduğunu gösterilmiştir [17].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

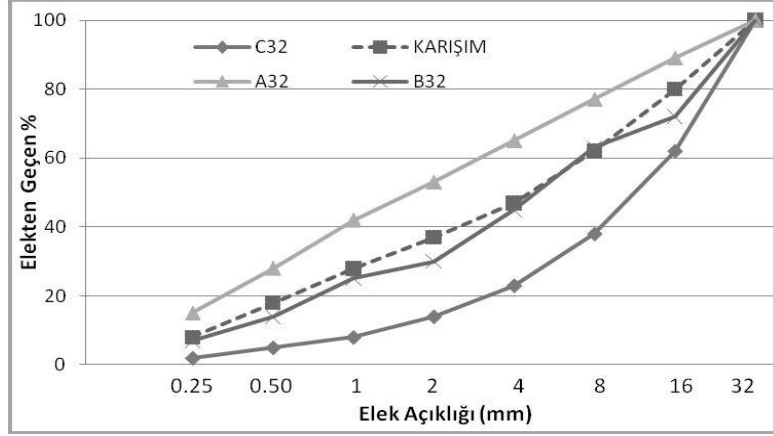
ANFIS için bu makale hazırlanırken deney sonuçlarının kullanıldığı [18] nolu çalışmanın karışımlarında çimento olarak CEM I 42.5 çimentosu, agrega olarak Sakarya-Geyve yöresinden sağlanan kalker agregası, kimyasal

Numuneler 300, 400 ve 450 dozaj olmak üzere iki farklı çimento dozajında 100 mm'lik küp olarak üretilmiştir. Katılan su miktarı, 160-190 mm arasında çökme sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinde 3, 7, 28 ve 90 gün sonunda basınç dayanım deneyleri yapılarak, iki farklı çimento dozajında, iki farklı firmaya ait normal akışkanlaştırıcı (Lignosülfonat esaslı) ve süper akışkanlaştırıcı (Melaminsülfonat esaslı) katkı ve katkısız olarak hazırlanan numuneler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Böylelikle, normal akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımının betonda oluşturduğu basınç dayanımı değişimleri araştırılmıştır. Üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometrik analizi TS 3530'a göre yapılmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir [15].

Çalışmada toplam 64 seri beton üretimi gerçekleştirilmiş, 16 seride katkı maddesi olarak Lignosülfonat esaslı

normal akışkanlaştırıcı katkı, 16 seride ise katkı maddesi olarak Melaminsülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış 300, 400 ve 450 dozajlı kontrol betonlarında ise herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır. Bir adet 400 dozajlı veri deneysel hata nedeniyle çalışmadan çıkartılmıştır. Normal akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı

ağlarını hem de bulanık çıkarım sistemlerini kendi bünyesinden barındıran bir karma sistemdir. Bu karma sistem, genellikle Sugeno bulanık model olarak adlandırılır. Giriş değişkenleri bulanık mantık yapılan sistemlerdeki gibi bulanıklaştırılır. Klasik bulanık mantık uygulamalarından farklı olarak çıkarım biriminde fonksiyonel çıkış kullanılır ve bu bir polinom



Şekil 1. Denede kullanılan agregaların elek analizi (Sieve analysis of aggregates used in the experiment) [18]

Çizelge 3. Kimyasal katkıların özellikleri (Properties of chemical admixtures) [18]

Akışkanlaştırıcı	Normal I	Normal II	Süper I	Süper II
Kimyasal yapı	Modifiye Lignosülfonat	Modifiye Lignosülfonat	Sentetik polimer	Melamin sülfonat
Betona etkisi	Su azaltıcı+ priz hızlandırıcı	Su azaltıcı	Yüksek oranda su azaltıcı+ Priz hızlandırıcı	Yüksek oranda su azaltıcı+ priz hızlandırıcı
Yoğunluk (kg/l)	1,11	1,12	1,17	1,21

maddelerinin özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Her gruba ait üç numunede basınç deneyi yapılmıştır [18].

fonksiyonudur. Eğer birinci dereceden bir polinom ise bu model, birinci derece Sugeno bulanık model olarak

Çizelge 4. Üretilen betonların kodlandırılması (Coding of produced concrete) [18]

Kod	Üretilen beton
300	300 Dozajlı Beton
400	400 Dozajlı Beton
450	450 Dozajlı Beton
N1	A firmasının normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi
N2	B firmasının normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi
S1	A firmasının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi
S2	B firmasının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Çizelge 4'te verilen üretilen betonların kodlandırılmasında ilk üç rakam çimento dozajını, sonraki harf katkı türünü, daha sonraki rakam katkı firmasını ve geriye kalan rakamlar ise katkı oranlarını göstermektedir.

tanımlanır. Eğer sabit ise, sıfırıncı derece Sugeno bulanık model denir. Birinci derece Sugeno bulanık çıkarım sistemi için aşağıdaki gibi iki bulanık çıkarım *If-then* kuralları ile örneklenebilir.

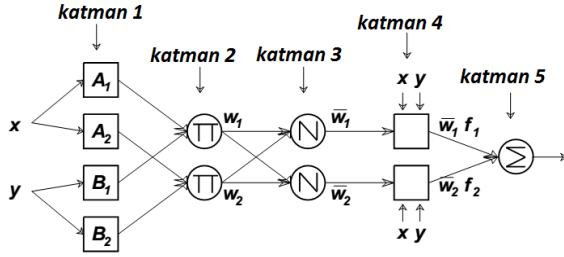
Kural1: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$ , then  $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Kural 2: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$ , then  $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$  (1)

### 3. UYARLAMALI SİNİRSSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMLERİ (ADAPTIVE NEURAL FUZZY INFERENCE SYSTEMS)

Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems: ANFIS) hem sinir

Bu çıkarım sisteminde her bir kuralın çıkışı, sabit terimin eklenmesi ile giriş değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonudur. Son çıkış, her bir kuralın çıkışının ağırlık ortalamasıdır. ANFIS mimarisinin temel yapısı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. ANFIS katman yapıları (ANFIS layers)

Aşağıda aynı katmandaki düğüm fonksiyonunun davranışları ayrıntılı olarak ifade edilmektedir. Bu açıklamalarda;  $O_i^j$ , j-inci tabakadaki i-inci düğümün çıkışını göstermektedir ve buna göre tanımlama yapılacaktır.

**Katman 1 (Bulanıklaştırma katmanı):** Bu katmandaki her i düğüm, düğüm fonksiyonuyla uyumlu davranış gösterir ve çıkışı aşağıdaki gibidir.

$$O_i^1 = A_i(x), \quad \text{icin } i = 1, 2, \text{ veya} \quad (2)$$

$$O_i^1 = B_{i-2}(y), \quad \text{icin } i = 3, 4$$

Burada x veya y i-inci düğüm için girişlerini ve  $A_i$  veya  $B_{i-2}$  ise uzun, kısa gibi üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.  $O_i^j$  katman çıkışı ise, A veya B bulanık kümelerinin üyelik derecelerini göstermektedir ve

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{(x - c_i)}{a_i} \right]^{2b_i}} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $\{a_i, b_i, c_i\}$  bulanık küme parametrelerini göstermektedir. Bu bağıntı genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu için bu parametrelerin değerleri üyelik derecesini verir. Bu üyelik derecesi fonksiyonlarının değişik tipleri bulunmaktadır ve üyelik fonksiyonuna tipine göre Denklem 3 değişiklik göstermektedir.

Çizelge 5. ANFIS modelinin giriş ve çıkış parametreleri (Input and output parameters of ANFIS model)

		Eğitim ve test verileri	
		Minimum	Maksimum
Giriş parametreleri	Çimento dozajı	300	450
	KYB, (%)	0,5	9,5
	Çimento oranı, (çimento/su)	0,23	0,57
Çıkış parametreleri	Basınç dayanımı (MPa)	12,6	58

**Katman 2 (Çıkarım kuralı katmanı):** Bu katmandaki her bir düğüm cebirsel çarpma operatörü yardımıyla bir kuralın bulanık çıkarımı ile hesaplanmaktadır (Genellikle T-norm dönüşümü için mantıksal VE işlemi

tercih edilebilir). Bu katmanın görevi giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki mantıksal ilişkiler ortaya konulmaktadır. Bu T-norm dönüşümü için;

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

genellikle bu bağıntı kullanılmaktadır.

**Katman 3 (Normalizasyon katmanı):** Bu katmandaki i-inci düğümün bulanık çıkarımının bütün düğümlerin bulanık çıkarımlarının toplamının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş olarak adlandırılır.

**Katman 4 (Sonuç katmanı):** Bu tabakadaki i-inci düğüm, düğüm fonksiyonunun ile normalize çıkışın çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Burada  $\bar{w}_i$ , 3-üncü katmanın i-inci düğümün çıkışını ve  $\{p_i, q_i, r_i\}$  ise parametre kümesini göstermektedir. Bu katmandaki parametreler ardıl parametreler olarak tanımlanmaktadır.

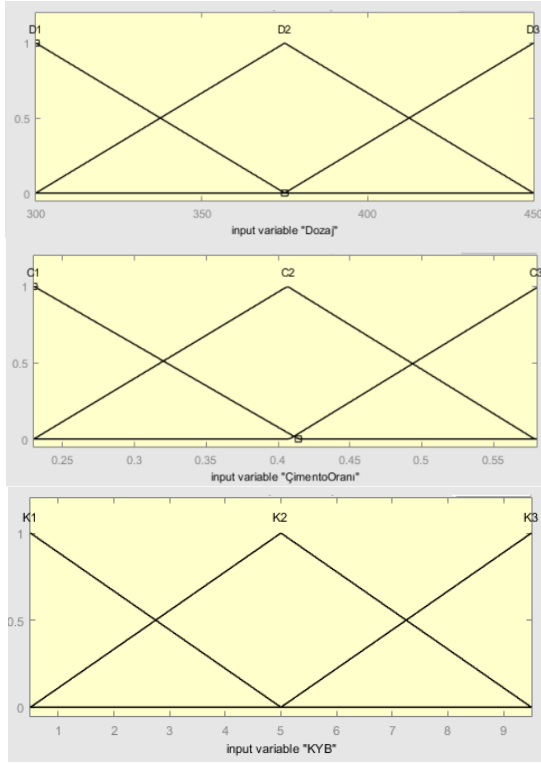
**Katman 5 (Çıkış katmanı):** Bu katmanın tek sabit düğümünde bütün gelen işaretlerin toplamını alarak toplam çıkış olarak hesaplanmaktadır. Bu değer çıkış değişkenin ham değerini ortaya koymaktadır [16].

$$O_i^5 = \text{toplam çıkış} = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

#### 4. ANFIS MODEL TASARIMI ve PARAMETRELERİ (ANFIS MODEL DESIGN AND PARAMETERS)

ANFIS modelinin eğitim ve test aşamaları için çimento dozajı (300 ve 450), KYB dozajı oranı ve çimento oranı gibi 3 giriş parametresi ve 28 günlük basınç dayanımı da çıkış parametresi kullanılmıştır (Çizelge 5). ANFIS modelinin eğitimi için deneylerden elde edilen toplam 63 veri setinden rastgele olarak seçilen 53 veri kullanılarak modelimizin basınç dayanımını tahmin eden modelimizin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Aynı veri setinden ayrılan 10 veri de modelimizin test aşaması için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ANFIS modelinde üç adet giriş değişkeni (çimento dozajı, KYB

dozajı oranı, çimento/su oranı) ve çıkış değişkeni olarak 28 günlük betonun basınç dayanımı seçilmiştir (Şekil 3). Bu modelde, farklı epoch sayıları ile farklı öğrenme algoritmaları denendikten sonra en iyi



Şekil 3. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları  
(Membership functions of input variables)

korelasyonun 500 epoch ve hibrit öğrenme algoritmasında olduğunu belirlenmiştir. Modelimizde tüm giriş değişkenleri için “trimf”(üçgen üyelik fonksiyonu) üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Toplam 27 çıkarım kuralı oluşturulmuştur. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 3'te görülmektedir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, 28 gündeki basınç dayanımı değerleri tahmin etmek için ANFIS ile modelleme oluşturulmuştur. Tasarladığımız ANFIS modelinin eğitimi için 53 veri kullanılırken, test için 10 veri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasında; belirleme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama hata (RMS) kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler Denklem (8), (9) ve (10) kullanılarak hesaplanabilir [16].

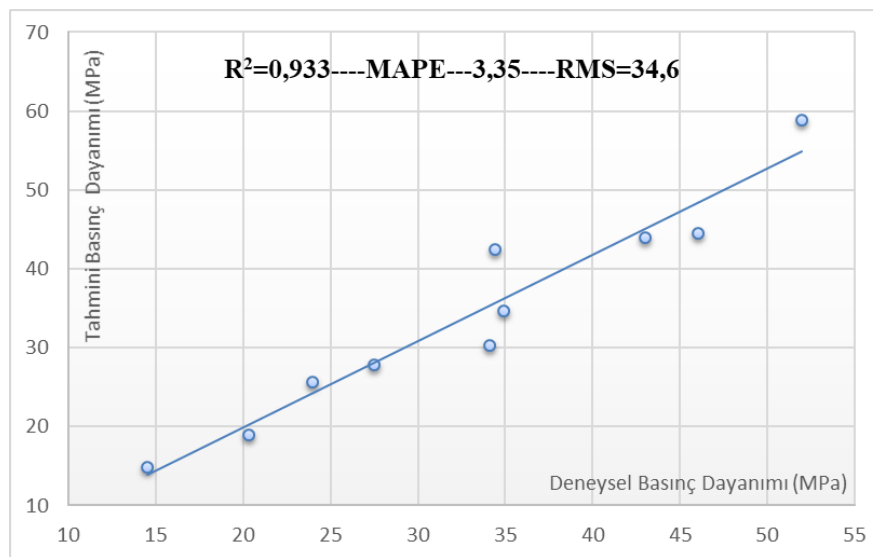
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - o_i|^2} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\left( \sum_{i=1}^N (t_i - o_i)^2 \right)}{\left( \sum_{i=1}^N (o_i)^2 \right)} \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{t_i - o_i}{o_i} \right| * 100 \quad (10)$$

Burada  $t$  hedef değeri,  $o$  ANFIS çıkış değerini ve  $N$  toplam örneklem sayısını göstermektedir. ANFIS modelinden elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen 28. günlük basınç dayanımları ve hesaplanan  $R^2$ , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler Şekil 4'te verilmiştir.

Tasarlamış olduğumuz ANFIS modeline uygulanan 10 adet test verilerinin elde ettiğimiz basınç dayanımı değerleri ile deneysel basınç dayanımlarının



Şekil 4. ANFIS'den elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması (Comparison of the predicted values obtained from ANFIS and the results obtained from the experiments)

karşılaştırılması aşamasındaki  $R^2$ , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler sırasıyla 0,933, 3,35 ve 34,6 olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu değerler; deneylerden elde edilen 28. günlerindeki basınç dayanımı sonuçlarının, bu model ile elde edilen tahmin değerlerine yakın benzerlikler ortaya koymaktadır. Modelimizin MAPE değeri beklenenden yüksektir. Bunun nedeni test veri sayımızın az olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer veri sayısı arttırılırsa bununda yüksek olacağı kanaati ortaya çıkmaktadır. Deneysel ve model tahmini sonuçlarını istatistiksel olarak SPSS paket programı kullanarak karşılaştırdığımızda ise değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olduğu görülmektedir ( $c=0,966$ ,  $p<0,001$ ).

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma, kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB) süper akışkanlaştırıcı katkıların oranıyla betondaki basınç dayanımının ve su/çimento oranındaki değişimleri, Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) tahmin modeli ile araştırmak için tasarlanmıştır. Bu modeli inşa etmek için, 300, 400 ve 450 dozaj çimento kullanılarak hazırlanmış numunelerden, farklı süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri kullanılarak alınan 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarından oluşan 53 deney sonucunu, ANFIS modelinin eğitim aşamaları için kullanılmıştır. Ayrıca 10 adet veride modelin testi için kullanılmıştır.

- ANFIS kullanarak ürettiğimiz deney sonuçları, laboratuvarında deney yaparak elde edilen sonuçlara %93.3'lik bir doğruluk ve 0,966 korelasyon sağlamaktadır.
- Bu yöntem bize deney yapmadan önce bir ön bilgi sunduğu gibi deney yaparken kaybedilen zaman ve maddi kaynaklarında önüne geçmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akman M.S., "Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri", *İTÜ İnşaat Fakültesi, Malzeme Seminerleri*, İstanbul, (1987).
- [2] Yıldırım H., Yorulmaz V. ve Ardaç E., "Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 25-33, (1996).
- [3] Topçu İ.B., "Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 45-53, (1996).
- [4] Aydın K.K., Uyan, M. ve Baş, S., "Betonda Kıvam Kaybının Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 73-80, (1996).
- [5] Akman M.S., "Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları", İstanbul, ss. 55-71, (1996).
- [6] Gürdal H. ve Yüceer Z. "Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları", (2007) <https://sites.google.com/site/beton2004/23.pdf>
- [7] Felekoğlu B., "Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2003).
- [8] Topsakal A., Özel C, "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çökme Kaybının ve Kalıplama Zamanının Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerindeki Etkisi", *SDU International Technologic Science*, 4(2): 124-134, (2012).
- [9] Emiroğlu M, Yıldız S. ve Keleştemur M.H., "Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kırılma Parametrelerinin Belirlenmesi", *10. Uluslar. Kırılma Konf.*, Kayseri, 96-107, (2014).
- [10] Ünal O., "Agrega Türünün Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 51-60, (2013).
- [11] Tohumcu İ. ve Bingöl A.F., "Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2): 31-44, (2013).
- [12] Türkmenoğlu Z.F., Kılıç A.M. ve Depci T., "Van Yöresi Pomza ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1): 105-116, (2015).
- [13] Gönen T. ve Yazıcıoğlu S., "Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma-Çözülme Direnci" *9. Ulusal Beton Kongresi*, Antalya, (2015).
- [14] Topçu İ.B., Ünal O. ve Uygunoğlu T., "Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması", *2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 181-193, (2007), [www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3992.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3992.pdf)
- [15] TS 3530, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1980).
- [16] Gulbandilar E. ve Koçak, Y., "Application of expert systems in prediction of flexural strength of cement mortars", *Computers and Concrete*, 18(1):1-16, 2016.
- [17] Türkel S. ve Alabaş V., "İki Farklı Çimento İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımına Değişik Buhar Kürü Uygulama Sürelerinin Etkileri", *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (2002).
- [18] Uysal M. ve Yılmaz K., "Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 2012, 19-35, (2012).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Deposition and characterization of ZnSnSe<sub>2</sub> thin-films deposited by using sintered stoichiometric powder

## *Sinterlenmiş sitokiyometrik toz kullanarak üretilen ZnSnSe<sub>2</sub> ince filmlerinin üretimi ve karakterizasyonu*

*Yazar(lar) (Author(s)): Özge BAYRAKLI SÜRÜCÜ<sup>1</sup>, Hasan Hüseyin GÜLLÜ<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>:0000-0002-8478-1267*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-8541-5309*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Bayraklı Sürücü Ö., Güllü H. H. "Deposition and characterization of ZnSnSe<sub>2</sub> thin-films deposited by using sintered stoichiometric powder", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 649-653, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.468893

# Deposition and Characterization of ZnSnSe<sub>2</sub> Thin-Films Deposited by Using Sintered Stoichiometric Powder

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Özge BAYRAKLI SÜRÜCÜ<sup>1,2,3\*</sup>, Hasan Hüseyin GÜLLÜ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Physics, Kırşehir Ahi Evran University, 40100, Kırşehir, Turkey

<sup>2</sup>Center for Solar Energy Research and Applications (GÜNAM), METU, Ankara 06800, Turkey

<sup>3</sup> Department of Physics, Middle East Technical University (METU), 06800 Ankara, Turkey

<sup>4</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Atilim University, Ankara 06836, Turkey

(Geliş/Received : 06.04.2018 ; Kabul/Accepted : 08.08.2018)

## ABSTRACT

In this work, ZnSnSe<sub>2</sub> (ZTSe) thin films were deposited using crystalline powder grown by vertical Bridgman-Stockbarger technique. The deposition process was carried out by means of e-beam evaporation on the well-cleaned soda lime glass substrates and keeping them at the substrate temperature of 200°C. The structural, optical and electrical properties of ternary ZTSe thin films were investigated depending on the annealing temperature at 250 and 300°C. X-ray diffraction analysis showed that as-grown films were in amorphous structure, however annealing at 250°C triggered the crystallization on the preferred ternary structure and annealing at 300°C resulted in the changes from amorphous to the polycrystalline structure. Using the compositional analysis, the detail information about the stoichiometry and the segregation mechanisms of the constituent elements in the structure were determined for both as-grown and annealed samples. In addition, they were morphologically characterized using scanning electron microscopy technique. The electrical properties were analyzed using temperature dependent dark- and photo-conductivity measurements. From the variation of electrical conductivity as a function of the ambient temperature, the current transport mechanisms and corresponding activation energies at specific temperature intervals for each sample were determined. The optical properties for the ZTSe thin films were studied depending on the structural changes with annealing.

**Keywords:** Thin film, deposition, characterization.

## Sinterlenmiş Sitokiyometrik Toz Kullanarak Üretilen ZnSnSe<sub>2</sub> İnce Filmlerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu

### ÖZ

Bu çalışmada dikey Bridgman-Stockbarger tekniği ile büyütülen kristal toz kullanılarak ZnSnSe<sub>2</sub> (ZTSe) ince filmleri üretilmiştir. Üretim süreci çok iyi temizlenmiş sodalı kireç cam alttaşlar üzerine elektron-demeti buharlaştırması vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir ve üretim sırasında alttaş sıcaklığı 200°C tutulmuştur. Üçlü ZTSe ince filmlerinin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri 250 ve 300°C 'deki tavlama sıcaklıklarına göre araştırılmıştır. X-ışını kırınım analizi üretilmiş filmlerin amorf yapıda olduğunu gösterirken, 250°C 'de istemli üçlü yapıda kristalleşmeye başladığını ve 300°C 'de amorf yapıdan çoklu-kristal yapıya dönüştüğünü göstermiştir. Üretiliş ve tavlama filmler için kompozisyon analizi kullanılarak bileşen elementlerin yapı içindeki sitokiyometrisi ve yapıdan ayrılmaları hakkında detaylı bilgiler araştırıldı. Ayrıca, filmler elektron mikroskobu tekniği kullanılarak morfolojik açıdan karakterize edildi. Isı bağımlı karanlık ve ışık altı iletkenlik ölçümleri kullanılarak elektriksel özellikler analiz edildi. Çeşitli sıcaklıkların fonksiyonu olan elektriksel iletkenliğin değişiminden akım iletim mekanizmaları ve buna karşılık gelen belirli sıcaklık aralıklarındaki aktivasyon enerjileri her örnek için belirlendi. Tavlama ile yapısal değişimlere bağlı olarak ZTSe ince filmlerinin optik özellikleri çalışıldı.

**Anahtar Kelimeler:** İnce film, büyütme, karakterizasyon

### 1. INTRODUCTION

Silicon is the by far the most studied and commercially PV absorber when compared to other technologies. However, some drawbacks such as having the indirect band gap and the weak absorption coefficient, which requires a thick absorber layer (>100µm) to absorb the all of the incident light, make Si to be far from an ideal material for PV applications. The perfect single crystal substrates are need to be used for getting high efficiency

solar cell due to necessity of grain boundaries which are active recombination centers; hence raising the cost. These issues countermeasures to reduce the cost of Si solar cells [1]. Therefore, the developments for suitable band gap materials in the solar cell application have been crucial. Thin film solar cells are the powerful candidate to Si solar cells.

Direct band gap materials such as CdTe, CuInS<sub>2</sub> (CIS), and CuInGa(S,Se)<sub>2</sub> (CIGS) have high absorption coefficient of 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> cm<sup>-1</sup>. Therefore, with having the thickness value of 1-2µm reduces the necessities for

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ozgebayrakli@gmail.com



crystal quality [2]. These widely used thin film absorber layers currently demonstrate record cell efficiency of 22.9% and 22.1% for CIGS and CdTe, respectively [3], [4]. CuInSe<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)(Se,S or Te)<sub>2</sub> (CIGS) chalcopyrite thin films have been studied as suitable materials for solar cell applications due to their high absorption coefficients and direct band gap characteristics. In recent years, researches on CIGS device showed that solar cells based on this structure were about ~23% [5-9]. Therefore, this semiconductor material has become popular among other thin film materials used in the aim of manufacturing solar cells. The heterojunction of this type of solar cell structure in general consists of CuInSe<sub>2</sub> and CuInGaSe<sub>2</sub> absorber layer with CdS window layer [10]. CdS is a toxic material due to the Cd content considering large scale applications, but it is commonly used as an n-type layer. Because of the environmental risks of CdS, alternative materials such as ZnSe and ZnS have been point of interest as a window layer. However, to enhance their electrical conductivity characteristics, some dopants (i.e. Cu, Ag, Sn) are used [11-13]. On the other hand, under the concerns of price and availability, new materials have been searched instead of CIGS thin films, and due to consisting of abundant and also non-toxic elements, kesterite type, CuZnSnTe<sub>2</sub> (CZST) and Cu<sub>2</sub>ZnSn(Se,S)<sub>4</sub> (CZTS) based thin films have become popular in solar cell applications [14]. Under the aim of both obtaining low resistive n-type window layer for possible photovoltaic applications with chalcopyrite and kesterite structures; and also being a starting ternary material for kesterite structures, ZTSe chalcopyrite semiconductor materials can be used. Intrinsically, it has a direct band gap of about 1.82 eV at room temperature and n-type conductivity behavior. In the literature, there are limited works on this thin film material deposited by thermal evaporation and chemical bath techniques [15-17].

In this work, ZTSe thin films were deposited onto soda lime glasses by thermal evaporation technique using sintered stoichiometric powder. In order to investigate the physical properties of the deposited films, structural optical and electrical characterizations were carried out.

## 2. MATERIAL and METHOD

In this work, ZTSe thin films were deposited onto ultrasonically cleaned soda lime glass substrates by the electron beam technique using the single crystalline source powder. For the synthesis of ZTSe single crystal, constituent elements Zn, Sn and Se in a stoichiometric ratio were placed in a quartz ampoule and then sealed following to the evacuation. After sintering process, it was put in a Crystalox MSD-4000 model three zone vertical Bridgman–Stockbarger system and the crystal growth process was carried out with a special temperature gradient as 1100, 800, and 600°C adjusted to top, middle and bottom zones of the furnace, respectively. Then, the thin film deposition was done by using the powder of this crystal as an evaporation source. These films were deposited on well cleaned commercial

soda lime glass substrates in 2x2 cm<sup>2</sup> dimensions for structural, optical measurements, and also by using copper shadow masks in van der Pauw geometry for the electrical analysis. During the deposition under vacuum about 10<sup>-5</sup> Torr, the substrate temperature was kept about 200 °C and the deposition rate was around 4-5 Å/sec which was measured by Inficon XTM/2 deposition monitor connected to the quartz thickness crystal inside the vacuum chamber. After the deposition process, the ZTSe thin films were characterized firstly in as-grown form, and then the post-growth heat treatment was applied to some of the samples to deduce the effects of annealing on the structural, optical and electrical properties of the deposited thin films. This annealing process was done using annealing furnace under the nitrogen atmosphere in the temperature range of 250-300°C for 30 minutes. Besides, the thickness of the as-grown and annealed films was measured electromechanically by a Dektak 6M profilometer. Following to the deposition and each annealing processes, the structural properties of the films were investigated by means of a Rigaku Miniflex XRD system equipped with Cu K $\alpha$  radiation source of average wavelength 1.54 Å. In addition, the elemental atomic composition of the ZTSe samples was analyzed with an energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) facility attached to the JSM-6400 scanning electron microscope (SEM). For the electrical characterizations, under dark and illuminated conditions, the temperature dependent conductivity measurements were done between the ambient temperature of 100 and 420K on the films deposited in Van der Pauw geometry. These measurements were performed by Janis liquid nitrogen cryostat equipped with a Lake-Shore 331 temperature controller. Moreover, the samples were illuminated perpendicularly by a halogen lamp for the photoconductivity measurements under different illumination intensities varying in between 20 to 115mW/cm<sup>2</sup>. The optical characteristics of these films were investigated from the optical transmission measurements carried out by using Perkin-Elmer LAMBDA 45 UV/Vis spectrophotometer in the 300-1000 nm wavelength region

## 3. RESULTS and DISCUSSION

The thicknesses of the films were measured electromechanically by a profilometer and the measured film thicknesses were 420, 410 and 380 nm, for the as-grown films, and films annealed at 250 and 300°C, respectively. According to these results, the slight decrease in the thickness values could be taken as the indication of the decrease in the amount of some constituent elements in the structure of the films. In order to determine atomic ratio of the constituent elements in the deposited thin films before and after the annealing processes, EDS measurements were studied and the corresponding results were listed in Table-1. By considering the given data, the as-grown films were in Sn deficient and Zn rich behavior. In addition, these

compositional characteristics were preserved with all annealing process whereas Se ratio in the composition was decreased at the 300°C annealing.

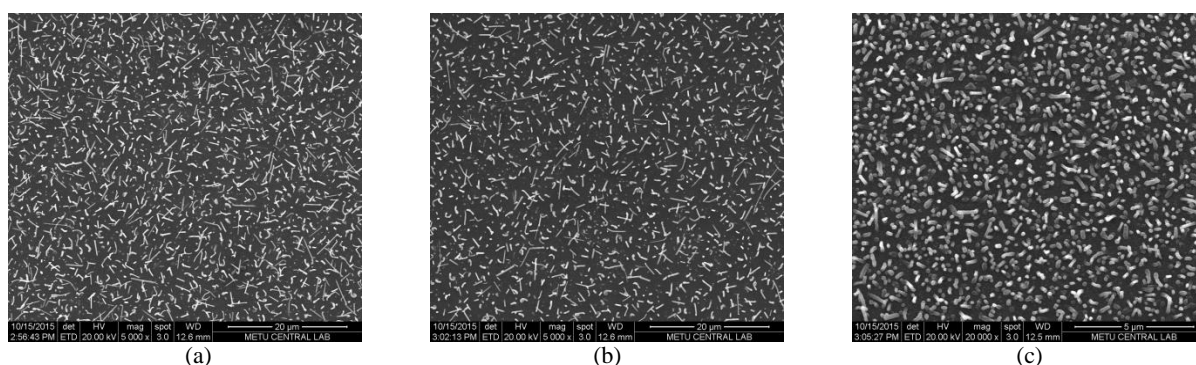
**Table 1.** EDS results of as-grown and annealed ZTS thin films

Sample	Zn (%)	Sn (%)	Se (%)
As-grown	37.7	18.5	43.8
Anl-250	35.6	20.6	43.8
Anl-300	43.7	16.1	40.2

The surface morphology of the films was shown in Figure 1. As seen in this figure, in addition to the few variations on the surface characteristics with annealing, there was nanowire like formations on all of the films in

both as-grown and annealed forms. These formations were distributed irregularly over the film surface and they were defined as Zn crystallites according to the detailed compositional analysis. Considering the change in the thickness with the annealing, SEM images showed that annealing at 250°C significantly affected the surface morphology of the films. On the other hand, the shape of nanowire like formations started to be changed with the annealing at the 300°C. Therefore, these features found on the film surfaces can be the indication of Zn-rich materials.

In order to investigate the crystal structure of the ZST thin films, XRD measurements were done on as-grown and all the annealed samples.



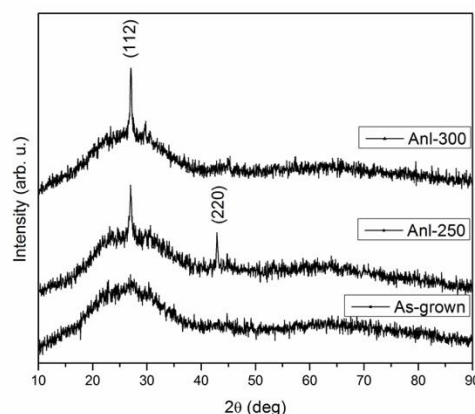
**Figure 1.** SEM micrographs of the ZTS thin films (a) in as-grown form and annealed at (b) 250°C and (c) 300°C.

XRD patterns for as-grown and annealed samples at 250-300°C were shown in Figure 2. As shown in this figure, ZTSe thin films in as-grown form without any annealing process were in amorphous; but the annealing provides necessary thermal energy to construct the polycrystalline structure. According to the International Centre for Diffraction Data (ICDD), the main orientation peak of the deposited ZTSe films was found at  $2\theta \sim 27^\circ$  along (112) direction [10]. The peak intensity of this preferential orientation reflection of the ZTSe phase was seen in all XRD spectra. In addition, the binary ZnSe phase in (220) orientation direction at  $2\theta \sim 43^\circ$  [18] was observed for annealing at 250°C, after carrying out detailed analysis for this phase. By increasing annealing temperature, the peak of the preferential orientation (112) became more intense and the secondary phase was disappeared. The disappearance of the ZnSe secondary phase could be explained with the inclusion ZnSe into ZTSe lattice [19]. However, there was no noticeable change in peak positions of samples annealed at different temperatures.

Temperature dependent conductivity values for ZTSe thin film deposited in Van der Pauw geometry and annealed at 300°C were given in Figure 3. Room Temperature resistivity value was obtained about  $2 \times 10^5 \Omega$  for as-grown samples and this values scaled up to

about  $5 \times 10^6 \Omega$  with annealing procedure. Moreover, temperature dependent conductivity measurements revealed Arrhenius behavior for all samples. While ZTSe samples were displaying a sharp change at the high temperature region, they pointed out a weak response to temperature dependence at the low temperature region.

ZTSe thin film samples showed thermionic emission characteristics as a conductivity behavior in the high temperature region of 250-420K.



**Figure 2.** XRD patterns of the ZTS thin films without annealing process and with annealing at 250 and 300°C

In this temperature range, charge carriers are able to have energy to exceed conduction band and join conduction with the effect of temperature. Thermionic emission can be analyzed by the equation [20],

$$\sigma_T = \sigma_{0T} \exp\left[-\left(\frac{E_a}{kT}\right)\right] \quad (3)$$

The thermal activation energy for ZTSe samples was calculated from the slope of  $\ln(\sigma(T))-1/T$  plot. These values were about 116, 57 and 66 meV for as-grown and the annealed at 250 and 300°C ZTSe thin films respectively. In addition, at the low temperature region in between 100 and 250K, the conduction mechanism of these films was also analyzed with thermionic emission model and the activation energies obtained as 28, 25 and 45 meV. According to photoconductivity measurements, it was observed that increasing illumination intensity resulted in the increasing conductivities of the as-grown, and annealed at 250 and 300°C ZTSe thin films.

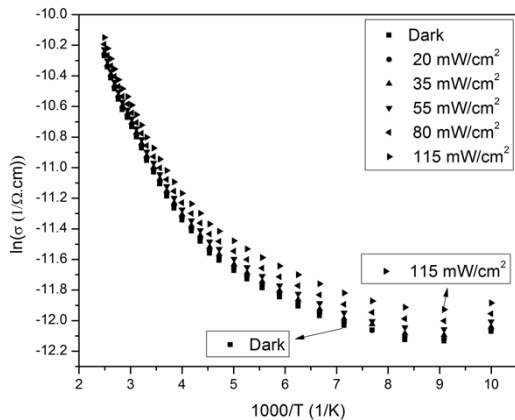


Figure 3. Temperature dependent conductivity values for the annealed at ZTSe sample 300°C

In order to determine the optical properties of ZTSe thin films, the transmission measurements were carried out in between 300-1000 nm and given in Figure 4 for as-grown and annealed films.

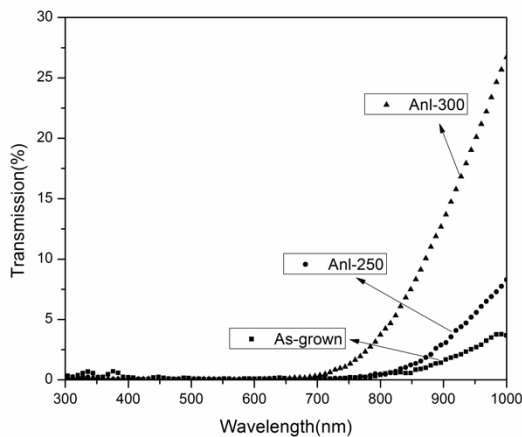


Figure 4. Transmission measurements for as grown and annealed ZTSe samples at 250°C and 300°C

According to the measurements, transmission of the films increased with the annealing temperature. Absorption coefficient ( $\alpha$ ) obtained from the transmission measurements were in between  $5 \times 10^4$  and  $8 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ . Then, the band gap values were calculated by extrapolation of  $(\alpha h\nu)^2$  vs.  $h\nu$  plot as about 1.8 eV and 1.6 eV for as-grown and annealed at 300°C ZTSe thin films respectively.

## 6. CONCLUSION

In this work, the material characterization of the e-beam evaporated ZTSe thin films were investigated for the as-deposited and annealed samples at different temperatures. According to the structural analysis, deposited thin films were found to be Sn-deficient, and with the annealing Se concentration decreased due to possible re-evaporation from the surface. Nanowire-like shapes were seen on the film surfaces and it is deduced that these shapes were changed with the annealing at 300 °C. Moreover, deposited ZTSe films were in amorphous nature. With the annealing process they showed (112) orientation with annealing processes and secondary phases of ZnSe were disappeared with the annealing at 300 °C. On the surface of the films, Zn crystallites were observed and they were showed Zn-rich characteristic. From the electrical analysis, the Arrhenius behavior was obtained in the conductivity values above the room temperature. Thus, using thermionic emission model, activation energy values were calculated about 116, 57 and 66 meV for these films in as-grown and annealed forms respectively. The room temperature optical transmission measurements were performed on the samples before and after the thermal treatment, and from the absorption coefficient - photon energy variations of the ZTSe films, the fundamental band gap values were calculated as 1.8 eV and 1.6 eV for as-grown and annealed at 300°C ZTSe thin films respectively.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was financed by Middle East Technical University (METU-BAP) under Grant No. BAP-01-05-2015-001.

## REFERENCES

- [1] <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [2] G. Stechmann, S. Zaeferrer, P. Konijnenberg, D. Raabe, C. Gretener, L. Kranz, J. Perrenoud, S. Buecheler, and A. N. Tiwari, '3-Dimensional microstructural characterization of CdTe absorber layers from CdTe/CdS thin film solar cells', *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 151:66–80, (2016).
- [3] [http://www.solarfrontier.com/eng/news/2017/1220\\_pres.shtml](http://www.solarfrontier.com/eng/news/2017/1220_pres.shtml).
- [4] First Solar CdTe cell hits 22.1% efficiency'. [Online]. Available: <http://optics.org/news/7/2/29>. [Accessed: 25-Jun-2017].

- [5] F. Liu, Y. Li, K. Zhang, B. Wang, C. Yan, Y. Lai, Z. Zhang, J. Li and Y. Liu, "In situ growth of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  thin films by reactive magnetron co-sputtering" *Sol. Energy Mat. Sol. C.*,94: 2431-2434, (2010).
- [6] J. Kim, H. S. Lee and N. M. Park, "Post-annealing effect on the reactively sputter-grown CIGS thin films and its influence to solar cell performance" *Curr. Appl. Phys.*,14: 63-68, (2014).
- [7] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E.D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (Version 38)", *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 19: 565-572 (2011)
- [8] R Kamada, T. Yagioka, S. Adachi, A. Handa, K. Fai Tai, T. Kato, and H. Sugimoto, "New World Record  $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$  Thin Film Solar Cell Efficiency Beyond 22% ", *IEEE 43rd Photovolt. Spec. Confrence* ,1287-1291, (2016).
- [9] K. Sharma, B. L. Williams, A. Mittal, H. C. M. Knoops, B. J. Niknic, N. J. Bakker, W. M. M. Kessels, R. E. I. Schropp and M. Creatore, "Expanding Thermal Plasma Chemical Vapour Deposition of  $\text{ZnO}:\text{Al}$  Layers for CIGS Solar Cells" *Int. J. Photoenergy* , 2014: 1-9, (2014).
- [10] S.P. Yadav, P.S. Shinde, K.Y. Rajpure, C.H. Bhosale, "Photoelectrochemical properties of spray deposited n- $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  thin films" *Sol. Energy Mat. Sol. C.* ,92: 453-456, (2008).
- [11] S. Gul, J. K. Cooper, C. Corrado, B. Vollbrecht, F. Bridges, J. Guo, and J. Z. Zhang, *J. Phys. Chem. C* **115**, 20864, (2011).
- [12] L. Wang, M. Lu, X. Wang, Y. Yu, X. Zhao, P. Lv, H. Song, X. Zhang, L. Luo, C. Wu, Y. Zhang and J. Jie, "Tuning the p-type conductivity of  $\text{ZnSe}$  nanowires via silver doping for rectifying and photovoltaic device applications", *J. Mater. Chem. A*, 1: 1148-1154, (2013).
- [13] R. Kuronuma, Y. Miyamoto and Y. Mita, "Photoluminescence Characteristics of Sn-Doped, Molecular-Beam-Epitaxy-Grown  $\text{ZnSe}$  Crystal Layers", *Jpn. J. Appl. Phys.* 45: 7789-7791, (2006).
- [14] S. Adachi, "*Earth-Abundant Materials for Solar Cells: Cu2-II-IV-VI4 Semiconductors*", John Wiley & Sons, Inc., United Kingdom, (2015).
- [15] X. Sun ,Y. He and J. Feng, "Growth and characterization of  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  buffer layer on  $\text{CuInSe}_2$  thin films", *J. Cryst. Growth*, 312:48-51,(2009).
- [16] H.M. Zeyada, M.S. Aziz and A.S. Behairy, "Structure formation and mechanisms of DC conduction in thermally evaporated nanocrystallite structure  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  thin films", *Physica B* ,404: 3957-3963, (2009).
- [17] S. H. Choe, "Optical energy gaps of undoped and Co-doped  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  single crystals", *Curr. Appl. Phys.* ,9:1-3, (2009).
- [18] E. R. Shaaban, "Optical constants and fitted transmittance spectra of varies thickness of polycrystalline  $\text{ZnSe}$  thin films in terms of spectroscopic ellipsometry", *J. Alloy Compd.* ,563: 274-279, (2013).
- [19] D. K. Schroder, "*Semiconductor Material and Device Characterization*" , John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, (2006).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# AA7075-T6 ve AZ31B Alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı üzerinde ön ısıtma ve kuru buz soğutmasının etkisi

## *Effect of preheating and dry ice cooling on dissimilar friction stir welding of AA7075-T6 and AZ31B*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Musa BİLGİN<sup>1</sup>, Şener KARABULUT<sup>2</sup>, Ahmet ÖZDEMİR<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-8482-8291

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-6384-8162

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-9919-8149

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Bilgin M., Karabulut Ş. ve Özdemir A., “AA7075-T6 ve AZ31B Alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı üzerinde ön ısıtma ve kuru buz soğutmasının etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 655-663, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.426649

# AA7075-T6 ve AZ31B Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı Üzerinde Ön Isıtma ve Kuru Buz Soğutmasının Etkisi

*Araştırma Makalesi /Research Article*

Musa BİLGİN<sup>1</sup>, Şener KARABULUT<sup>1\*</sup>, Ahmet ÖZDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe ASO 1.OSB Meslek Yüksekokulu, 06935 Sincan, Ankara Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği, 06500 Yenimahalle, Ankara Türkiye

(Geliş/Received: 09.04.2018; Kabul/Accepted: 12.05.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada, AA7075-T6 alüminyum ve AZ31B magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi ile kaynak edilebilme özelliği araştırılmıştır. Farklı kimyasal ve mekanik özelliklere sahip alüminyum ve magnezyum alaşımlarını sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirebilmek için sabit devir, sabit tabla ilerleme hızı, farklı takım kaydırma değerlerinde, numunelere ön ısıtma ve kuru buz ile soğutma işlemleri uygulanarak dört farklı kaynak işlemi yapılmıştır. Birleştirilmiş numunelerin kaynak kalitesi, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Alüminyum alaşımına uygulanan ön ısıtmanın ve kaynak işlemi sırasında uygulanan kuru buz ile soğutmanın mekanik ve mikro yapısal özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test sonuçları, önceden ısıtılmış ve kaynak işlemi sırasında kuru buz ile soğutulmuş kaynaklı numunelerinin çekme dayanımının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kaynak yüzeyinde gözenek oluşumu görülürken, kuru buz ile soğutma yapılarak birleştirilen numunenin kaynak hattında boşluk oluşumu gözlenmiştir. Normal kaynaklı numunelere kıyasla, ön ısıtma ve kuru buz soğutma işlemine tabi tutularak birleştirilmiş numunelerin karıştırma bölgesinde homojen bir karışım elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AA7075, AZ31B, sürtünme karıştırma kaynağı, ön ısıtma, kuru buz soğutma, mekanik özellikler, mikro yapı.

## Effect of Preheating and Dry Ice Cooling on Dissimilar Friction Stir Welding of AA7075-T6 and AZ31B

### ABSTRACT

In this study, dissimilar friction stir welding behavior of AA7075-T6 aluminum and AZ31B magnesium alloys were investigated. Aluminum and magnesium alloys were joined by friction stir welding under four welding conditions and in two environments, namely pre-heated aluminum and dry ice for cooling, with tool rotation of 1120 rpm, table speed of 20 mm/min and two different tool offset values. The welding quality of the joined specimens were evaluated by employing destructive and non-destructive testing methods. The influence of the pre-heating applied to the aluminum alloy and employing ice cooling during the welding process on the mechanical and microstructural properties were examined. The test results showed that the higher tensile strength values were obtained from welded specimens of the pre-heated and cooled by dry ice during the welding process. Porosities were seen on the welded surface of the pre-heated specimen while the cavities were observed on the joint line of the cooled specimen using dry ice during the process. A homogenous material mixing was achieved in the stir zone of the welded specimens subjected to pre-heating and dry ice cooling process compared with the normal welded specimens.

**Keywords:** AA7075, AZ31B, friction stir welding, pre-heating, dry ice cooling, mechanical properties, microstructure

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum (Al) ve magnezyum (Mg) alaşımları düşük yoğunluğu, kolay şekillendirebilme yeteneği, yüksek ısı iletkenliği, geri dönüşüm potansiyeli ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle mühendislik malzemeleri arasında önemli bir kullanım alanına sahiptir. Hibrit bir yapıda alüminyum ve magnezyumun sağlam bir şekilde birleştirilmesi, istenen ağırlık tasarrufu için olası bir çözüm sunacaktır ve endüstriyel uygulamalarda

kullanımlarını artıracaktır [1,2]. Bununla birlikte, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip benzer olmayan en hafif iki yapısal malzemenin kaynaklı birleştirilmesi çeşitli zorluklar doğurmaktadır. Bu amaçla, lazer ışın kaynağı, elektron ışın kaynağı ve ark kaynağı gibi geleneksel kaynak teknikleri kullanılarak alüminyum ve magnezyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilebilmesi üzerine çok sayıda araştırma çalışması yapılmıştır. Araştırmacılar, kaynak yapılmış iş parçalarının kaynak bölgesinde kaynak mukavemetini azaltan intermetalik oluşumların meydana geldiğini bildirmişlerdir [3-6]. Al alaşımlarının ve Mg

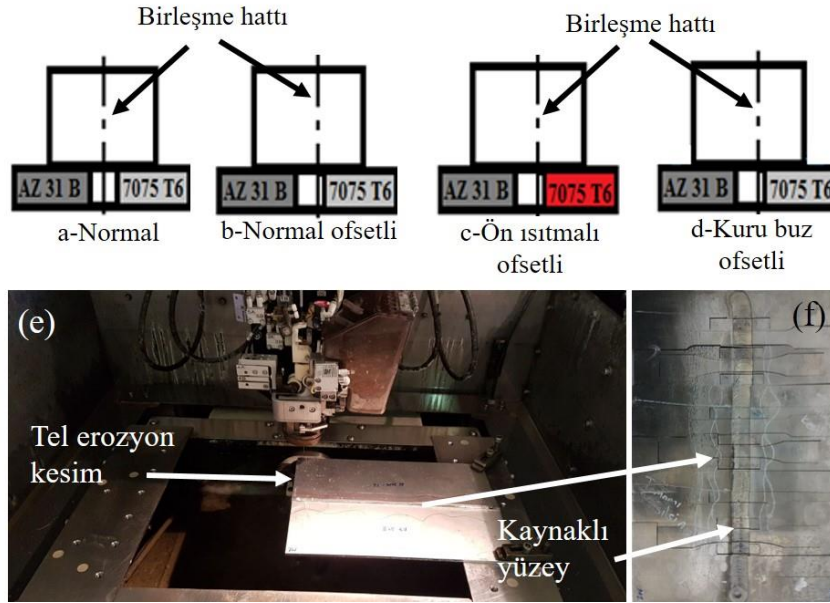
\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: senerkarabulut@hacettepe.edu.tr

alaşımının klasik ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinin oldukça zor ve özel işlem gerektirmesinden dolayı katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilmesi üzerine çok sayıda araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi, kaynak yapılması zor olan ve daha düşük erime derecesine sahip olan farklı özelliklerdeki alüminyum alaşımlarını kaynatılabilmek için Cambridge [7] kaynak enstitüsü (TWI) tarafından geliştirilmiş olup, son 20 yılda ortaya çıkan en önemli kaynak yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [8]. Al ve Mg alaşımlarının bu yöntemle birleştirilmesindeki en büyük problemlerden biri, kırılma ve sert yapıya sahip olan  $Al_{12}Mg_{17}$  ve  $Al_3Mg_2$  intermetalik bileşiklerdir. Bu intermetalik bileşikler, kaynaklı bölgenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, kaynak dikiş bölgesinde malzemenin dinamik olarak yeniden kristalleşmesine, kaynak bölgesinde gözenek oluşumuna ve kaynaklık alanında sertlik değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır [9-13]. Dorbane ve ark. [1] Al6061 alüminyum ve AZ31B magnezyum alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirerek, kaynak edilebilirlik davranışlarını incelemişler ve birleştirilen numunelerin mekanik, mikro yapı ve kırılma özelliklerini analiz etmişlerdir. Yazarlar, kaynak işlemi sırasında ilerleme tarafa alüminyum yerleştirildiğinde daha iyi kalitede kaynak değerleri elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca temel malzemelerin %18 ila %55'i arasında çekme mukavemeti değerleri elde edilirken, numunelerin kaynak bağlantısı boyunca koptuğu görülmüştür. Kaynaklı bölge üzerinde mikro sertlik değerleri 55 HV ile 135 HV arasında değişmekte olup, magnezyum tarafında daha düşük değerler ölçülmüştür. Tabasi ve ark. [14], kaynak bölgesinde nano partiküllü SiC tozları kullanarak AA7075 ve AZ31 alaşımlarını SKK ile birleştirilmesini araştırmışlar ve SiC tozlarının kaynaklı numunelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. SiC tozların, kaynak mikro yapısını etkilediği, takım dönüş hızının artması ve ilerleme hızının azaltılması ile alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynak kalitesinin arttığını bildirmişlerdir. Ji ve ark. [15] AA6061 ve AZ31 alaşımlarını ultrasonik titreşim kullanarak SKK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Yazarlar, ultrasonik uygulamanın kaynak sırasında malzeme akışını iyileştirdiğini ve kaynaklı numunenin çekme dayanımının 1.5 kat daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Sheikh-Ahmad ve ark. [16], alüminyum 2024 ve AZ31 alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesi sonrası meydana gelen kalıntı gerilmeyi araştırmışlar, sonuç elemanlar sonucu elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel verileri kıyaslamışlardır. Yazarlar takım ofsetinin Al 2024 tarafına verilmesi ile daha düşük artık gerilme ve daha yüksek kaynak kalitesinin elde edildiğini bulmuşlardır. Ayrıca deneysel ve sayısal sonuçlar arasında iyi bir korelasyon olduğu rapor edilmiştir. Garcia ve ark. [17], farklı kaynak parametrelerini kullanarak farklı AA 7075 ve AZ31B alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilebilirlik davranışını incelemişlerdir. 200 dev/dak takım dönüş

hızında, 300 mm/dak kaynak hızında ve  $1^\circ$  takım açısında iyi kaynak sonuçları elde edildiği bildirilmiştir. Kaynak edilmiş numunelerde 61.35 MPa çekme dayanımı elde edilirken, 122 HV sertlik değeri ölçülmüştür. Ayrıca kaynak edilmiş numunelerde tünel ve boşluk oluşumu ile birlikte  $Al_3Mg_2$  ve  $Al_{12}Mg_{17}$  intermetalik oluşumları görülmüştür. Dumpala ve ark. [18] farklı takım dönüş hızları ve tabla ilerlemeleri kullanarak AA6063 alüminyum ve AZ91 magnezyum alaşımının SKK ile kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Yazarlar en iyi kaynak sonuçlarını 1100 dev/dak takım dönüş hızında ve 25 mm/dak tabla ilerleme hızında elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bununla birlikte bu konuda daha fazla araştırma çalışması yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Çevik [19, 20], AA7075-T6 alüminyum alaşımının SKK yöntemi ile birleştirilebilmesini araştırmış, kaynak parametrelerinin artık gerilim ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi üzerine yoğun bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda, karıştırıcı ucun malzeme özellikleri, devir sayısı ve tabla ilerleme hızının, kaynak bölgesinin sertlik dağılımı ve sıcaklık değişimlerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kaynak parametrelerinin kaynaklı malzemenin mekanik özelliklerini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Düşük devir sayısı ve yüksek tabla ilerleme hızı ile elde edilen kaynaklı numunede yüksek çekme mukavemeti elde edilmiştir. Buffa ve ark. [21] AA7075 alaşımlarının-SKK yöntemi ile bindirme kaynak işlemine tabi tutmuşlar ve kaynak sırasında plakalar arasında SiC tozları eklemişlerdir. Tek paso kaynak işleminde matris yapı ve SiC takviye malzemesi arasında zayıf bir karışım elde edildiğini, buna karşın üç paso geçiş ile daha iyi veriler elde edildiğini gözlemlenmişlerdir. Mofid ve ark.[22] AA5083 Al ve AZ31C-O Mg alaşımlarının SKK işleminde hava ve sıvı nitrojen kullanımının intermetalik bileşiklerin oluşumu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde 400 dev/dak takım devri, 50 mm/dak tabla ilerleme hızı kullanılmıştır. Hava kullanılarak kaynatılan numunenin kaynak bölgesindeki kırılma intermetalik bileşiklerin oluşması ile kaynakta çatlama meydana geldiği, sıvı nitrojen kullanılarak yapılan kaynak işleminde ise düşük ısı girdisi nedeni ile intermetalik bileşiklerinin oluşumunun önemli ölçüde baskılandığı görülmüştür. Mofid ve ark.[23] bir başka çalışmalarında, AA5083 Al ve AZ31C-O Mg alaşımlarının SKK işleminde su ile soğutma işlemi uygulamışlar ve kaynak işlemi su içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde 300 dev/dak sabit takım dönüş hızı, 50 mm/dak tabla ilerleme hızı kullanılmıştır. Yazarlar, su içerisinde yapılan SKK işleminde daha düşük ısı girdisine bağlı olarak intermetalik bileşiklerin oluşumunun sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. İpekoğlu ve Çam [24] farklı özelliklere sahip AA7075 ve AA6061 alüminyum alaşımlarının SKK işleminin özellikleri üzerinde kaynak öncesi temperleme ve kaynak sonrası ısıtma işlem uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. O ısıtma işlem uygulaması yapılmış numunelerin kaynak bölgesinde sertlikte artış meydana gelirken, T6 ısıtma işlem uygulanmış numunelerin

kaynak bölgesinde sertlikte azalma meydana geldiği görülmüştür. İpekoğlu ve ark. [25] bir başka

## 2. MALZEME VE METOD (MATERIAL AND METHOD)



**Şekil 1.** AA7075 ve AZ31B alaşımların kaynak yöntemleri ve mekanik test numunelerinin hazırlanması (Welding methods of AA7075 and AZ31B alloys and preparing the mechanical test specimens)

çalışmalarında kaynak işlemi sonrası T6 ısıtma işlemi uygulanmasının birleştirme bölgesinde önemli oranda dayanım artışı sağladığını bildirmişlerdir.

Literatür taramasından, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilmesi üzerine çok sayıda araştırma çalışması yapıldığı görülmüştür. Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bu alaşımların birleştirilebilmesi için kaynak parametrelerinin yanı sıra farklı yöntem ve teknikler de kullanılarak kaynak kalitesini ve mekanik özelliklerin iyileştirebilmesi araştırılmıştır. Bununla birlikte, araştırmacılar Al ve Mg alaşımlarının SKK yöntemi ile birleştirilmesi konusunda daha fazla araştırma çalışması yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, araştırmacılar tarafından daha önce kullanılan yöntemlerden farklı olarak, dört farklı yöntemle kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Bu yöntemlerden ilk ikisinde numuneler freze tezgâhında belirlenmiş olan devir sayısı, ilerleme hızı ve takım kaydırma oranlarına bağlı olarak kaynatılmıştır. Üçüncü yöntemde alüminyum plakalar fırında belirli bir süre ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve devamında kaynak edilmiştir. Dördüncü olarak plakalara herhangi bir ön işleme uygulamadan kaynak sırasında kaynak edilen bölgeye kuru buz dökülerek Al ve Mg plakalar kaynak işlemine tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda kaynak parametrelerinin, ön ısıtma ve kuru buz ile soğutma işleminin kaynak kalitesi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Al ve Mg alaşımlarını birleştirme işlemleri Taksan FU V/2 dik başlı freze tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan karıştırıcı takım 3343 yüksek hız çeliğinden imal edilmiş, daha sonra ısıtma işlemi uygulanarak sertlik değeri 62 HRC'ye çıkarılmıştır. Takım karıştırıcı pimi dış bükey üçgen profil olacak şekilde tasarlanmış, üçgenin köşelerinden teğet geçen dairenin çapı 6.2 mm, dış bükey radüsler 5.4 mm, pim uzunluğu 2.8 mm ve omuz çapı ise 18.6 mm olarak üretilmiştir. Al ve Mg plakaların birleştirilmesi için öncelikle literatürde tavsiye edilen değerler kullanılarak çok sayıda ön deney yapılmıştır. Ön deneylerden elde edilen numuneler üzerinde yapılan incelemeler, penetrasyon ve radyografi incelemeleri sonucunda deneylerde kullanılacak kaynak parametreleri belirlenmiştir. Ön deneylerden elde edilen tecrübeler doğrultusunda freze tezgâhında 1120 dev/dak sabit devir, 20 mm/dak, sabit ilerleme hızı ve 0° takım açısı değerleri kullanılarak kaynak işlemleri yapılmıştır. Al ve Mg plakaların kaynatılmasında kullanılan yöntemler Şekil 1 (a-d) ve ASTM E8/E8M-09 standardına göre çekme numuneleri tel erozyon tezgâhında kesilerek hazırlanmıştır Şekil 1 (e, f).

Malzemeler dört farklı yöntemle birleştirilmiştir. Birinci kaynak yönteminde karıştırıcı takım birleşme hattı merkezinde hareket ettirilmiştir. İkinci yöntemde karıştırıcı takım AZ31B tarafına 1 mm kaydırılarak kaynak işlemi yapılmıştır. Üçüncü yöntemde AA7075-T6 plaka, daha önceden ısıtılmış 210 °C fırın içerisinde 15 dakika ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve karıştırıcı takım AZ31B tarafına 1 mm kaydırılarak kaynak yapılmıştır. Dördüncü yöntemde ise, karıştırıcı takım AZ31B tarafına 1 mm kaydırılmış ve kaynak



işlemi sırasında Al ve Mg plakalar üzerine kuru buz dökülerek birleştirme işlemi yapılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi için 100 mm × 100 mm × 5 mm ebatlarında AA7075-T6 ve AZ31B magnezyum levhaları hazırlanmıştır. Kaynak edilecek numuneler doğrudan freze tezgâhının tablasına bağlanmamıştır. Ön deneylerde kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan ısının freze tezgâhı tablasına transfer olduğunu ve bu duruma bağlı olarak numunelerin hızlı bir şekilde soğuduğu görülmüştür. Bu nedenle kaynak sırasında ortaya çıkan ısıyı malzemenin her tarafına dengeli bir biçimde dağıtması için ısı iletim katsayısı çeliğe göre daha yüksek olan alüminyum 7075 malzeme kullanılarak özel bir bağlama kalıbı üretilmiştir. Kaynak işlemine başlamadan önce, AZ31B magnezyum plaka ilerleme tarafına, AA7075-T6 alüminyum plaka ise geri çekme tarafına konumlandırılarak her iki plaka arasında boşluk kalmayacak şekilde bağlama kalıbı üzerinde sabitlenmiştir. Kaynak işlemi için özel olarak tasarlanmış olan bağlama kalıbı, dinamometrenin konumu, deneyde

sonra istenen baskı kuvveti elde edilene kadar -z yönünde hareket ettirilmiştir. Sürtünme ile oluşan ısı girdisinin istenilen seviyeye ulaşması için karıştırıcı takım bir dakika boyunca bu konumda bekletilmiştir. Kaynak bölgesinde istenen sıcaklık elde edildikten sonra, Şekil 1 (a)'da gösterilen kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında temassız sıcaklık ölçüm işlemi ± (% 0.5 okuma + 2 °C) hassasiyetinde Raytek MI3 2M dijital pirometre kullanılarak yapılmıştır. MI3 kızılötesi sıcaklık sensörü hareketli aparat üzerine monte edilmiş ve bilgisayara USB dijital iletişim kablosu ile bağlanmıştır. Takım-iş parçası ara yüzünün sıcaklığı, kaynak işlemi sırasında temassız kızılötesi sıcaklık ölçümleriyle sürekli olarak izlenmiştir. Z ekseninden etki eden aksel kuvvet ve ilerleme kuvvetinin ölçümü için bağlama kalıbı ile tezgâh tablası arasına Kistler 9272 dinamometre yerleştirilmiştir. Dinamometre ile bağlama kalıbı arasına işlem esnasında oluşan sıcaklığın dinamometreye zarar vermemesi için özel olarak üretilmiş soğutucu plaka

**Çizelge 1.** Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used in the experiments)

Devir, mm/dev	Tabla ilerleme hızı, Vf (mm/dak)	Ofset miktarı, mm	Birleştirme yöntemi
1120	20	0	Normal
1120	20	1	Normal Ofsetli
1120	20	1	Ön ısıtmalı- Ofsetli
1120	20	1	Kuru buz soğutmalı-Ofsetli

**Çizelge 2.** AA7075-T6 ve AZ31B deney numunelerinin kimyasal bileşimleri (Chemical compositions of AA7075-T6 ve AZ31B test specimens)

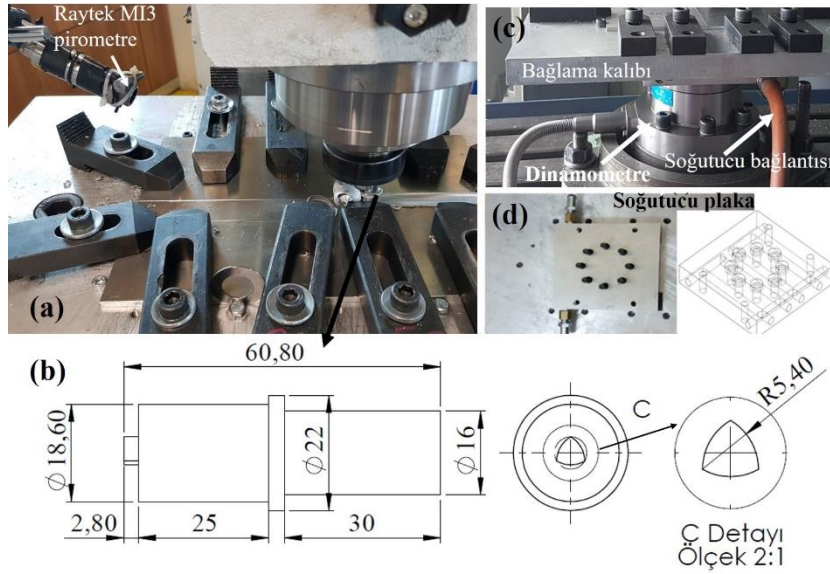
Malzeme	Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Ni	Zn	Cr	Al	Mg
AA7075-T6	0.40	0.50	1.81	0.30	0.20	---	5.80	0.22	Kalan	2.65
AZ31B	0.17	0.003	0.0007	0.4	---	0.0008	1.0	---	3.25	Kalan

**Çizelge 3.** AA7075-T6 ve AZ31B deney numunelerinin mekanik ve termal özellikleri (Mechanical and thermal properties of AA7075-T6 ve AZ31B test specimens)

Malzeme	Çekme dayanımı, MPa	Sertlik, HB	Özgül ısı kapasitesi, J/g-°C	Isı iletkenliği, W/m-K	Erime noktası, °C
AA7075-T6	572	150	0.96	130	477-635
AZ31B	240	49	1.00	96	605-630

kullanılan karıştırıcı takımın genel görünümü ve ölçüleri Şekil 2'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 1'de, AA7075-T6 ve AZ31B alaşımlarının kimyasal içerikleri, mekanik ve termal özellikleri ise sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir. Her bir birleştirme işleminden önce, karıştırıcı takım plakaların üzerinde konumlandırıldıktan

yerleştirilmiştir. Kompresörden alınan havanın soğutucu plaka içerisindeki kanalların arasında dolaşımı sağlanarak dinamometrenin ısıdan etkilenmesi engellenmiştir. Birleştirilen numunelerin çekme testleri Instron 3369 test cihazı ile 1 mm/dak hızında yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri Metkon Duroline - M serisi cihaz ile 100 g yük altında 12 s ile yapılmıştır.



**Şekil 2.** (a) Sürtünme karıştırma deney düzeneği, (b) karıştırıcı takım, (c, d) bağlama aparatı ve soğutucu plakanın genel görünümü (Overview of the (a) friction stir welding test setup, (b) mixing tool, (c, d) fixing apparatus and cooling plate)

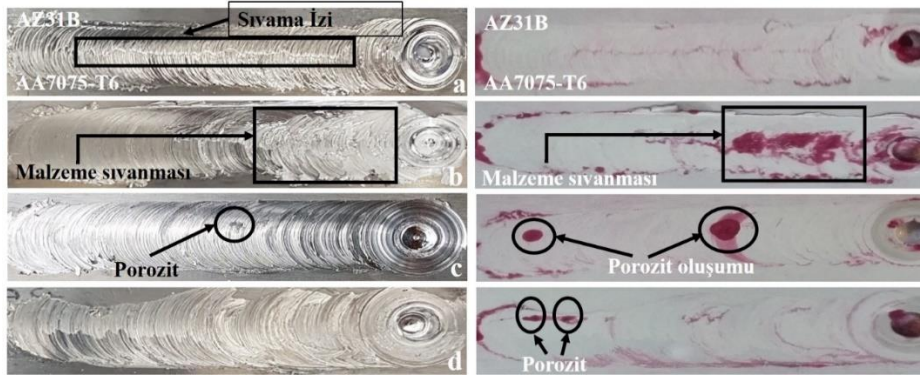
### 3. DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma, farklı mekanik, kimyasal ve termal özelliklere sahip AA7075-T6 ve AZ31B alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynak edilebilir davranışını araştırmak amacıyla yapılmıştır. Yapılan ön deneyler ve literatürde kullanılan parametreler kullanılarak deneysel çalışmada kullanılmış olan tezgâh devir sayısı ve tabla ilerleme hızı belirlenmiştir. Ön deneyler sırasında her iki malzeme özelliklerinden dolayı kaynatılan numunelerde istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Birleştirilen numunelerin incelenmesinde alüminyum malzemenin istenilen düzeyde ergimedığı görülmüştür. Bu nedenle alüminyum plaka kaynak işleminden önce fırında ısıtılarak kaynatılmış ve ön ısıtma işleminin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca literatür taramasında bazı araştırmacıların numunelerde intermetalik bileşik oluşumunu engellemek için kaynak sırasında sıvı nitrojen kullandıkları [22], bazı araştırmacıların da su içerisinde SKK yaptıkları görülmüştür [23]. Buradan yola çıkarak kaynak işlemi sırasında kaynak hattı boyunca her iki malzemenin üzerine kuru buz dökülerek kaynak işlemi yapılmıştır ve kuru buz ile soğutmanın kaynak kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dört farklı yöntem kullanılarak birleştirilmiş olan AA7075-T6 ve AZ31B alaşımlarının kaynak hattının makro resimleri ve aynı numunelere ait penetrant testi sonrası görünüşleri Şekil 3 (a-d)'de sunulmuştur. Kaynak hattı üzerinde yapılan gözle muayene sonucunda kaynak yüzeylerinde çatlak oluşumu görülmemiştir. Karıştırıcı takımın magnezyum tarafına kaydırıldığı iki numaralı deneyde Şekil 3 (b), kaynak yüzeyinde malzeme sıvanması meydana geldiği görülmüştür. Magnezyumun sürtünme katsayısının alüminyumdan düşük olmasına bağlı olarak karıştırıcı

takıma malzeme kaynaklanması meydana geldiği ve devamında da kaynak hattı yüzeyinde malzeme sıvanması ile birlikte yüzeyde bozulma olduğu görülmüştür[26]. Bununla birlikte penetrant testi sonrası kaynak hattı üzerinde yer yer gözenek oluşumu meydana geldiği görülmüştür. Penetrant testi incelemesi sonucu karıştırıcı takımın giriş ve çıkış kısımlarında görülen kusurlar değerlendirme dışı tutulduğunda, karıştırıcı takımın magnezyum tarafına kaydırıldığı iki numaralı yöntemde malzeme sıvanması meydana gelmiş ve bu durum penetrant testinde de yüzey hatası olarak görülmüştür. Karıştırıcı takımın Mg tarafına kaydırılması ile gerçekleştirilen birleştirmede tünel hatasının boyutunun küçüldüğü görülmektedir. Mg alaşımın ilerleme tarafına konumlandırılması ve takım ofsetinin ilerleme tarafına verilmesi, Mg alaşımının karıştırma bölgesine daha derin nüfuziyet etmesini ve daha iyi bir kenetleme gerçekleşmesini sağladığı düşünülmektedir. Makro incelemede dikkat çeken bir diğer önemli husus ise gözenek ya da tünel oluşumlarının magnezyum tarafında gerçekleşmiş olmasıdır. Al/Mg alaşımlarının birleştirilmesinde Al alaşımları ister geri çekme tarafına ister ilerleme tarafına konumlandırılınsın, Al tarafında Mg tarafına göre daha fazla ısı oluşmaktadır [29]. Yüksek ısı oluşan bölgede daha iyi plastik deformasyon oluşacağından kaynak hataları Mg tarafına konumlanmıştır. Kaynak hatalarının magnezyum alaşımı tarafında oluşmasının bir diğer sebebi ise her iki alaşımın farklı atomik yapıya sahip olmasındandır. Al alaşımları yüzey merkezli kübik yapıya sahip iken Magnezyum alaşımları sıkı düzen hegzagonal yapıya sahiptirler [30, 31]. Hegzagonal sıkı düzen atomik yapı yüzey merkezli kübik yapıya göre daha zor plastik deformasyona uğramaktadır. AA7075 numunenin fırında ön ısıtma işlemine tabi tutulduktan sonra SKK işleminin yapıldığı üç numaralı yöntemde kaynak hattı üzerinde Şekil 3 (c)'de görüleceği üzere sürekli olmayan gözenek

formasyonu oluşmuştur. SKK bir katı hal kaynak yöntemi olmasına rağmen Al/Mg alaşımlarının kaynağında, 430 °C'nin üzerinde meydana gelen  $Al_3Mg_2$  ( $\beta$ ) ve  $Al_{12}Mg_{17}$  ( $\gamma$ ) intermetalik bileşikler sıvılaşmaya başlamaktadır [27]. Üç numaralı yöntemde, alüminyum plakanın kaynak işleminden önce ısıtılması ve devamında kaynak sırasında ortaya çıkan ısı ile birlikte sıvılaşmanın hızlandığı ve ancak soğuma hızına bağlı olarak gözenek oluşumunun meydana geldiği düşünülmektedir.

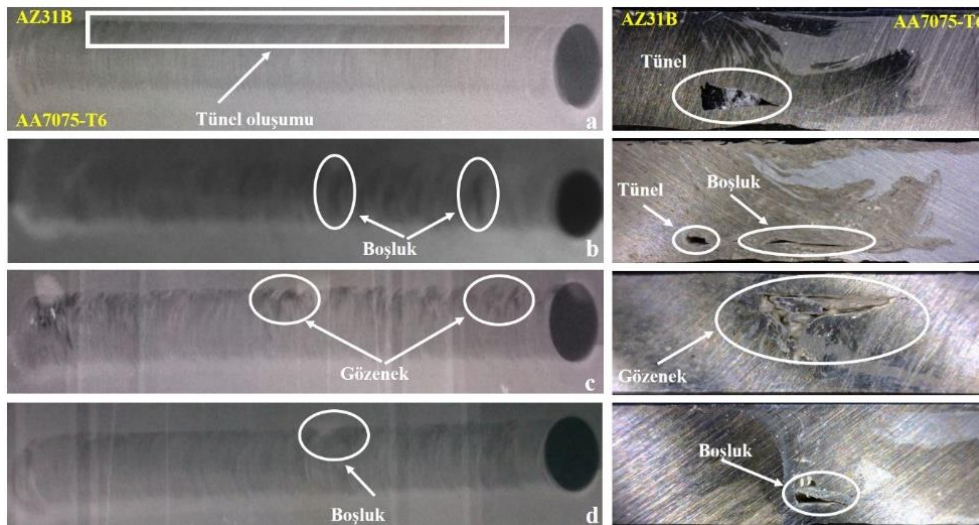
meydana geldiği görülmüştür. Ön ısıtmalı yöntemle yapılan birleştirmede oluşan gözenek yapısı incelendiğinde, katı hal kaynak yöntemi olan SKK yönteminde sıvılaşma gözükmemektedir. SKK işleminde böyle bir formasyonun oluşumu beklenmemektedir. Bununla birlikte, Al/Mg alaşımların birleştirilmesinde yapısal sıvılaşma oluşmaktadır [32]. Isı girdisi arttıkça bu yapısal sıvılaşma 437 °C ötektik sıcaklığında  $Mg + Al_{12}Mg_{17} \rightarrow L$  ve 450 °C ötektik sıcaklığında  $Al + Al_3Mg_2 \rightarrow L$  şeklinde oluşmaktadır [32, 33]. Kuru buz ile



**Şekil 3.** Birleştirilmiş numunelerin kaynak yüzeylerinin ve penetrant testi sonuçlarının görünümü, (a) Normal, (b) Normal ofsetli, (c) Ön ısıtmalı, (d) Kuru buz uygulaması (Macro image of the welded surface and penetration test results of

Birleştirilen numunelerin iç kısımlarında meydana gelen hasar mekanizmasını görüntülemek için numunelerin kaynak hattı üzerinde radyografik inceleme yapılmıştır. Daha sonra numuneler tel erozyon tezgâhında kesilerek kesit görünüşü üzerinden de ayrıca kaynak kalitesi değerlendirilmiştir. Şekil 4'de verilen makro resimler incelendiğinde hem radyografik hem de kesit görünüşte normal kaynak parametrelerinin kullanıldığı birinci ve ikinci yöntemde kaynak hattı boyunca düşük ısı girdisine bağlı olarak tünel ve boşluk şeklinde kaynak kusurlarının meydana geldiği görülmüştür [19, 28]. Ön ısıtmalı ve kuru buz ile soğutmalı yöntemde ise tünel oluşumu ortadan kalkmış ancak gözenek ve boşluk şeklinde kaynak kusurlarının

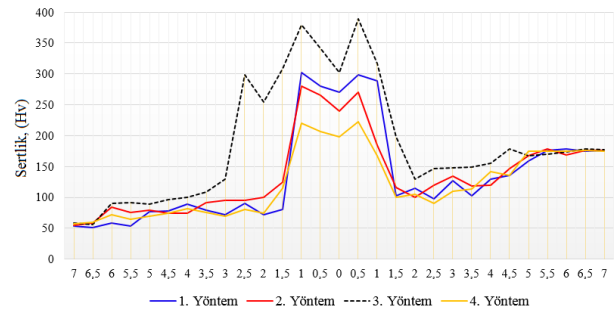
soğutularak yapılan birleştirmede ısı girdisinin azalması ile tünel oluşumu beklenirken kaynak hattında boşluk oluşumu meydana gelmiştir. Düşük ısı girdisinin yanı sıra tünel oluşumunun bir diğer sebebi ise; birleştirilen malzemelerin ısı iletim hızları arasında termodinamik dengenin oluşturulmaması da tünel yapısının oluşmasına neden olabilmektedir [34]. Bu durum dışarıdan yapılan soğutma işleminin malzemedeki ısı transferini değiştirmesi dolayısıyla termodinamik dengenin sağlanması ile tünel oluşumunu ortadan kaldırdığı düşünülmektedir. Isıtmalı ve soğutmalı yöntemler ile yapılan birleştirmelerin karıştırma bölgeleri incelendiğinde ilk iki birleştirmeye göre daha homojen bir karışma işlemi gerçekleştiği görülmektedir.



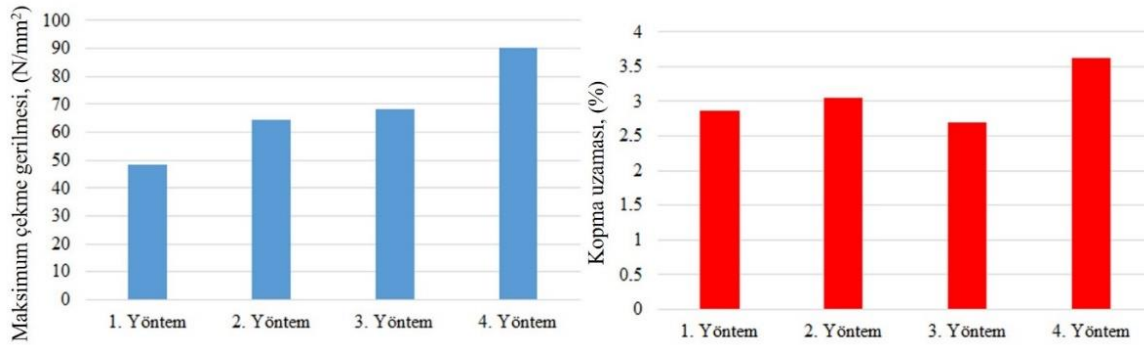
**Şekil 4.** Numunelerin birleştirme hattının radyografik ve kesit görünüşleri (Radiographic and cross section view of the joint line of specimens)

SKK yöntemi ile birleştirilen plakaların çekme gerilmeleri ve kopma uzamaları Şekil 5’de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere, numunelerin çekme dayanımları kaynak bölgesinde meydana gelen kaynak kusurlarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Birinci yöntem ile yapılan birleştirmede çekme dayanımı kaynak hattı boyunca oluşan tünel kusuruna bağlı olarak 48.33 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşirken, ikinci yöntem ile yapılan birleştirmede takımın magnezyum tarafına 1 mm kaydırılması ile tünel oluşumundaki azalmaya bağlı olarak çekme dayanımı 64.55 N/mm<sup>2</sup>’ye yükselmiştir. Ön ısıtma ve kuru buz ile soğutmanın uygulandığı birleştirmelerde tünel oluşumunun ortadan kalkması kaynak dayanımlarında artışlar meydana getirmiştir. Ön ısıtma ve kuru ve buz ile soğutmanın uygulandığı numunelerde çekme dayanımları sırasıyla 68.11 N/mm<sup>2</sup> ve 90.00 N/mm<sup>2</sup>’dir. Genel olarak numunelerin tamamının çekme dayanımları temel malzemelerin

benzer bir sertlik dağılımı sergilemiş, en yüksek sertlik değerleri ön ısıtma işlemi uygulanarak kaynatılan numunede ölçülmüştür.



Şekil 6. Al/Mg plakaların kaynak hattı üzerinde mikro sertlik dağılımı (Micro hardness distribution on joint line of Al/Mg sheets).

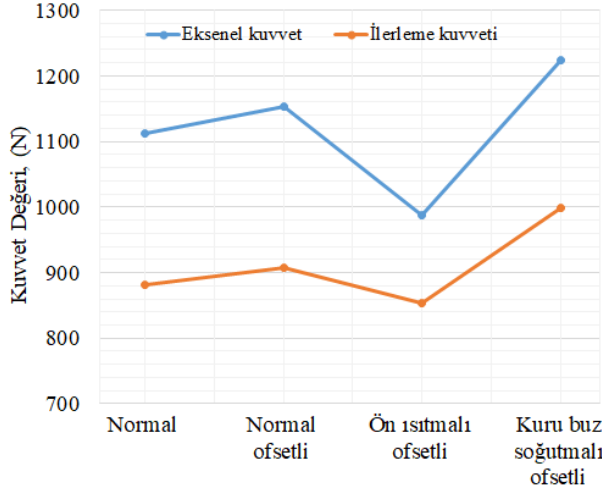


Şekil 5. Birleştirilmiş numunelerin (a) maksimum çekme gerilmesi ve (b) kopma uzaması (Ultimate tensile strength (a) and elongation (b) of the welded specimens)

dayanımlarından düşük çıkmıştır. Birleştirme sırasında meydana gelen tünel, boşluk ve gözenek gibi kaynak kusurları çentik etkisi meydana getirmekte ve kaynak hattında dayanımın düşmesine neden olmaktadır. En yüksek oluşan çekme dayanımı ana malzeme AZ31B’nin çekme dayanımının % 37.5 i olarak gerçekleşmiştir. Ön ısıtma ile kaynatılan numune hariç diğer numunelerde kopma uzaması ve çekme dayanımları arasında bir korelasyon olduğu görülmüştür. Ön ısıtma işlemine tabi tutulan numune de kopma uzamasının azalmasının nedeni, ısıtma işlemi ile birlikte artan ısı girdisine paralel olarak karıştırma bölgesinde Al<sub>12</sub>Mg<sub>17</sub> ve Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> intermetalik bileşiklerde artış olduğu ön görülmektedir. Kırılgan yapıdaki bu intermetalik bileşikler çekme dayanımı ve kopma uzamasını olumsuz etkilemektedir. Kuru buz ile soğutarak yapılan birleştirmede kopma uzamasının yüksek olması intermetalik bileşik oluşumunun en az seviyede olduğunu göstermektedir.

Birleştirilen numunelerin kaynaklı hattı merkez noktasının sağ ve sol tarafından mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve ölçümlerden elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 6’da verilmiştir. Sertlik değerleri magnezyum tarafında daha düşük ölçülürken, en yüksek mikro sertlik değerleri kaynak hattının 0.5 mm sağında ve 1 mm solunda elde edilmiştir. Numunelerin tamamı

Numunelerin sertlik değerlerinin, kopma uzamaları ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Kuru buz soğutma ile kaynatılan ve kopma uzaması en yüksek olan numunede en düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. SKK karıştırma kaynağında oluşan ara katmanlı yapılar düzensiz sertlik dağılımının ana nedenini oluşturmaktadır [35]. Özellikle ara katmanlı yapılarda mikro sertlik değerlerinin yüksek olmasının sebebi Al<sub>12</sub>Mg<sub>17</sub> ve Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> gevrek intermetalik bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir [31, 36, 37]. Şekil 7’de SKK işlemi sırasında ölçülen ortalama ilerleme ve aksel kuvvet değerleri verilmiştir. Şekil 7’de sunulmuş olan grafikten görüleceği üzere en düşük kuvvet değerleri ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş numune de görülürken, en yüksek kuvvet değerleri kuru buz ile soğutmanın yapıldığı birleştirme işlemine gözlemlenmiştir. Ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş numunenin plastik şekil değiştirmesi daha kolay olmasından dolayı kuvvet değerleri daha düşük gerçekleştiği, soğutulan numunenin plastik şekil değiştirmesinin daha zor hale gelmesi ise kuvvet değerlerinin daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Magnezyum tarafına karıştırıcı takımın 1 mm kaydırılması ise kuvvet değerinde çok az bir miktarda artma meydana getirmiştir.



Şekil 7. SKK işlemi sırasında oluşan ilerleme ve eksenel kuvvet değerleri (Feed force and axial force during the FSW process)

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip AA7075-T6 ve AZ31B alaşımları, sabit devir ve tabla ilerleme hızı kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde ön ısıtma ve kuru buz ile soğutma tekniklerinin kullanıldığı dört farklı yöntem kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Gözle muayene ve penetrant testi sonucu başarılı bir birleştirme yapıldığı ve kaynak hattı üzerinde sıcak çatlak oluşumu görülmemiştir. Ancak karıştırıcı takım ucunda oluşan malzeme yapışmasının kaynak yüzeyini bozduğu görülmüştür. Karıştırıcı takımın magnezyum tarafına kaydırıldığı durumda malzeme yapışması artmıştır.
- Karıştırıcı takımın merkezden hareket ettiği ve magnezyum tarafında kaydırıldığı deneylerde, numunelerin kaynak köklerinde tünel oluşumu gözlemlenmiştir. Tünel oluşumunun ağırlıklı olarak magnezyum tarafında yoğunlaştığı görülmüştür.
- Ön ısıtma ve kuru buz uygulanan deneylerde, numunelerde tünel oluşumu yok olmuş ancak numunelerin kaynak bölgesinde yer yer gözenek ve boşluklar oluştuğu görülmüştür.
- Birleştirme sırasında meydana gelen tünel, gözenek ve boşluk oluşumları numunelerin çekme dayanımlarının düşmesine neden olmuştur. En düşük çekme dayanımı  $48.33 \text{ N/mm}^2$  ile karıştırıcı takımın merkez noktasından hareket ettiği birinci yöntemde, en yüksek çekme dayanımı ise kuru buz ile soğutmanın yapıldığı deneyde  $90.00 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür.
- Birleştirilen numunelerin kaynak hattının merkez noktasının  $0.5 \text{ mm}$  sağında ve solunda en yüksek mikro sertlik değerleri elde edilmiştir. Ön ısıtma işleminden sonra kaynatılan numunede en yüksek sertlik ve en düşük kopma uzaması elde edilirken, kuru buz ile

soğutmanın yapıldığı numunede en düşük sertlik ve en yüksek kopma uzaması elde edilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler değerlendirildiğinde birleştirilen numunelerde temel malzemelerin mukavemet değerlerine ulaşamadığı görülmüştür. Alüminyum ve magnezyum gibi farklı özelliklere sahip malzemelerin sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri üzerine daha fazla araştırma çalışması yapılması gerekmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “BAP 59/2016-01” kodlu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz. Araştırmacılar; test numunelerinin hazırlanmasında Poyraz CNC firmasına ve Şakir Şeker’e, mikro sertlik ölçümlerinde ANKAS Metal firmasına ve Kazım Filik’e, tahribatsız muayene testlerinin yapılmasında Emek Boru ve Tamer Küsen’ e vermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dorbane A., Mansoor B., Ayoub G., Shunmugasamy V.C. and Imad A., “Mechanical, microstructural and fracture properties of dissimilar welds produced by friction stir welding of AZ31B and Al6061”, *Mater. Sci. Eng. A.*, 651:720–733, (2016)
- [2] Liu L., Ren D. and Liu F., “A review of dissimilar welding techniques for magnesium alloys to aluminum alloys”, *Materials (Basel)*, 7: 3735–3757, (2014)
- [3] Liu P. and Li Y., Geng H., Wang J., “Microstructure characteristics in TIG welded joint of Mg/Al dissimilar materials”, *Mater. Lett.*, 61: 1288–1291, (2007)
- [4] Ben-Artzy A., Munitz A., Kohn G., Bronfin B. and Shtechman A., “Joining of light hybrid constructions made of magnesium and aluminum alloys”, *TMS Annual Meeting*, 295–302, (2002)
- [5] Chi C.T., Chao C.G., Liu T.F. and Lee C.H., “Aluminum element effect for electron beam welding of similar and dissimilar magnesium–aluminum–zinc alloys”, *Scr. Mater.*, 56: 733–736, (2007)
- [6] Bannour S., Abderrazak K., Mattei S., Masse J.E., Autric M., Mhiri H., “The influence of position in overlap joints of Mg and Al alloys on microstructure and hardness of laser welds”, *J. Laser Appl.*, 25: 032001- 032008, (2013)
- [7] Thomas W., Nicholas E., Needham J., Murch M., Temple-Smith P. and C. Dawes, Friction stir butt welding, *International Patent No.* PCT/GB92/02203, *GB Patent No.* 9125978.8, 1991, *U.S. Patent No.* 5,460,317, (1995)
- [8] Cam G., “Friction stir welded structural materials: beyond Al-alloys”, *International Materials Reviews*, 56(1): 1-48, (2011)
- [9] Mohammadi J., Behnamian Y., Mostafaei A., Izadi H., Saeid T., Kokabi A.H. and Gerlich A.P., “Friction stir welding joint of dissimilar materials between AZ31B magnesium and 6061 aluminum alloys: Microstructure studies and mechanical characterizations”, *Materials Characterization*, 101: 189–207, (2015)
- [10] Zhao Y., Lu Z., Yan K. and Huang L., “Microstructural characterizations and mechanical properties in

- underwater friction stir welding of aluminum and magnesium dissimilar alloys”, *Materials and Design*, 65: 675–681, (2015)
- [11] Venkateswaran P. and Reynolds A.P., “Factors affecting the properties of friction stir welds between aluminum and magnesium alloys”, *Material. Sci. and Eng.*, A545: 26– 37, (2012)
- [12] Jagadeesha C.B., “Dissimilar friction stir welding between aluminum alloy and magnesium alloy at a low rotational speed”, *Material. Sci.and Eng.*, A616: 55–62, (2015)
- [13] Masoudian A., Tahaei A., Shakiba A., Sharifianjazi F., and Mohandesi J.A., “Microstructure and mechanical properties of friction stir weld of dissimilar AZ31-O magnesium alloy to 6061-T6 aluminum alloy”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 24: 1317–1322, (2014)
- [14] Tabasi M., Farahani M., Besharati Givi M. K., Farzami M., and Moharami A., “Dissimilar friction stir welding of 7075 aluminum alloy to AZ31 magnesium alloy using SiC nanoparticles”, *Int J Adv Manuf Technol.* , 86(1-4): 705 – 715, (2015)
- [15] Ji S., Meng X., Liu Z., Huang R. and Li Z., “Dissimilar friction stir welding of 6061 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy assisted with ultrasonic”, *Mater Lett.*, 201: 173–176, (2017)
- [16] Hou Z., Sheikh-Ahmad J., Jarrar F. and Ozturk F., “Residual stresses in dissimilar friction stir welding of AA2024 and AZ31: experimental and numerical study”, *J Manuf Sci Eng.*, 140: 1–10, (2018)
- [17] Hernández-García D., Saldaña-Garcés R., García-Vázquez F., Gutiérrez-Castañeda E.J., Deaquino-Lara R. and Verdera D., “Friction stir welding of dissimilar AA7075-T6 to AZ31B-H24 alloys”, *MRS Advances*, 2(64): 1-9, (2017)
- [18] Ratna Sunil B., Pradeep Kumar Reddy G., Mounika A.S.N, Navya Sree P., Rama Pinneswari P., Ambica I., Ajay Babu R. and Amarnadh P., “Joining of AZ31 and AZ91 Mg alloys by friction stir welding”, *J Magnes Alloy*, 3 (4): 330–334, (2015)
- [19] Çevik B., “Sürtünme karıştırma kaynak parametrelerinin kalıntı gerilmelere ve birleştirmenin mekanik özelliklerine etkisi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014)
- [20] Çevik B., Özçatalbaş Y. and Gülenç B., “Friction stir welding of 7075-T651 aluminium alloy”, *Practical Metallography*, 53(1): 6-23, (2016)
- [21] Buffa G., Campanella D. and Fratini L., “Enhancement of mechanical properties of FSWed AA7075 lap joints through in-situ fabrication of MMC”, *J. Manuf. Process.*, 28: 422–427, (2016)
- [22] Mofid M.A., Abdollah-Zadeh A. and Gür C.H., “Investigating the formation of intermetallic compounds during friction stir welding of magnesium alloy to aluminum alloy in air and under liquid nitrogen”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 71: 1493–1499, (2014)
- [23] Mofid M.A., Abdollah-zadeh A., Malek Ghaini F., “The effect of water cooling during dissimilar friction stir welding of Al alloy to Mg alloy”, *Mater. Des.*, 36: 161–167, (2012)
- [24] İpekoğlu G. and Çam G., “Effects of initial temper condition and postweld heat treatment on the properties of dissimilar friction-stir-welded joints between AA7075 and AA6061 aluminum alloys”, *Metallurgical and Materials Trans. A*, 45(7): 3074-3087, (2014)
- [25] İpekoğlu G., Erim S. and Çam G. “Effects of temper condition and post weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of friction stir butt-welded AA7075 Al alloy plates”, *The Int. Journal of Adv. Man. Tech.*, 70(1-4): 201-213, (2014)
- [26] Simoncini M. and Forcellese A., “Effect of the welding parameters and tool configuration on micro- and macro-mechanical properties of similar and dissimilar FSWed joints in AA5754 and AZ31 thin sheets”, *Materials and Design*, 41:50–60, (2012)
- [27] Yang Y. K., Dong H., Cao H., Chang Y. A., and Kou S. “Liquation of Mg alloys in friction-stir spot welding”, *Welding Journal*, 87: 167-177, (2008)
- [28] Yamamoto N., Liao J., Watanabe S. and Nakata K., “Effect of intermetallic compound layer on tensile strength of dissimilar friction-stir weld of a high strength Mg alloy and Al alloy”, *Materials Transactions*, 50 (2): 2833-2838, (2009)
- [29] Firouzdor V. and Kou S., “Al-to-Mg friction stir welding: effect of material position, travel speed and rotation speed”, *Metal. and Mat. Trans. A*, 41A: 2914-2935, (2010)
- [30] Azizieh M., Alavijeh A. S., Abbasi M., Balak Z. and Kim H.S., “Mechanical properties and microstructural evaluation of AA1100 to AZ31 dissimilar friction stir welds”, *Materials Chemistry and Physics*, 170: 251-260, (2016)
- [31] Firouzdor V. and Kou S., “Al-to-Mg friction stir welding: effect of positions of Al and Mg with respect to the welding tool”, *The Welding Journal*, 88: 213-224, (2009)
- [32] Yutaka S. S., Park S. H. C., Masato M. and Hiroyuki K., “Constitutional liquation during dissimilar friction stir welding of Al and Mg alloys”, *Scripta Mater*, 50(9): 1233–1236, (2004)
- [33] Yang Y. K., Dong H. and Kou S., “Liquation tendency and liquid-film formation in friction stir spot welding”, *Welding Journal*, 87 (8): 202-211, (2008)
- [34] Sarsılmaz F., “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA7075/AA6061 kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [35] Yan Y., Zhang D., Qiu C. and Zhang W., “Dissimilar friction stir welding between 5052 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20: 619–623, (2010)
- [36] Cao X. and Jahazi M., “Friction stir welding of dissimilar AA 2024-T3 to AZ31B-H24 alloys”, *Materials Science Forum*, 638-642: 3661-3666, (2010)
- [37] Morishige T., Kawaguchi A., Tsujikawa M., Hino M., Hirata T. and Higashi K., “Dissimilar welding of Al and Mg alloys by FSW”, *Materials Transactions*, 49(5): 1129-1131, (2008)



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Kriyojenik işlem görmüş EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) alüminyum alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu

## *Optimization of cutting parameters for surface roughness in milling of cryogenic treated EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) aluminum alloy*

Yazar(lar) (Author(s)): Gürcan SAMTAŞ<sup>1</sup>, Salih KORUCU<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-4111-7059

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-4391-0771

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Samtaş G. ve Korucu S., “Kriyojenik işlem görmüş EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) alüminyum alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 665-673, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.457957

# Kriyojenik İşlem Görmüş EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) Alüminyum Alaşımının Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü İçin Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Gürcan SAMTAŞ<sup>1\*</sup>, Salih KORUCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Müh. Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Ankara Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 17.04.2018 ; Kabul/Accepted : 27.07.2018)

## ÖZ

Alüminyum alaşımları günümüzde, yüksek dayanım ve ağırlık oranı, iyi korozyon ve yorulma direnci nedeniyle, otomotiv ve havacılık sanayinde, plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 80x80x30 mm ebatlarında EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) alüminyum alaşımına kriyojenik işlem uygulanmış, kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlarla yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirilmiş ve yüzey frezeleme işlemi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde Taguchi L<sub>9</sub> ortogonal dizini ile üç farklı kesici uç (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN kaplamalı, TiAlN kaplamalı Nano, TiB<sub>2</sub> kaplamalı), kesme hızı (310, 450, 600 m/dak), ilerleme oranı (0.15, 0.25, 0.35 mm/diş) ve üç farklı kesme derinliği (0.5, 1, 1.5 mm) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerler, sinyal-gürültü oranı (S/N), varyans analizi (ANOVA), üç boyutlu grafikler ve regresyon metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Taguchi analizi sonucu minimum yüzey pürüzlülüğü için elde edilen optimum kesme şartları; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN kaplamalı kesici uç, 1 mm kesme derinliği, 600 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/diş ilerleme oranı olarak bulunmuştur. Bu kesme şartları için yüzey pürüzlülük değerleri hesaplamalarda 0.47 µm olarak bulunmuş, doğrulama deneylerinde 0.32 µm olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** EN AW 5754, yüzey pürüzlülüğü, kriyojenik işlem, Taguchi metodu.

## Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Milling of Cryogenic Treated EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) Aluminum Alloy

### ABSTRACT

Aluminum alloys are now widely used in plastic injection molds in the automotive and aerospace industries due to their high strength and weight ratio, good corrosion and fatigue resistance. In this study, EN AW 5754 (AlMg<sub>3</sub>) 5754 aluminum alloy with dimensions of 80x80x30 mm was subjected to cryogenic treatment, face milling was performed with coated and uncoated inserts, and then the effects of cutting parameters on surface roughness during face milling were examined. The experiments were conducted with Taguchi L<sub>9</sub> orthogonal array, using three different cutting inserts (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN coated, TiAlN coated Nano, TiB<sub>2</sub> coated), cutting speeds (310, 450, 600 m / min), feed rates (0.15, 0.25, 0.35 mm / tooth) and depths of cut (0.5, 1, 1.5 mm). The values obtained at the end of the experiments were evaluated using signal-to-noise ratio (S/N), variance analysis (ANOVA), three-dimensional graphs and regression method. Taguchi analysis has revealed that optimum cutting conditions for the minimum surface roughness are the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN coated insert, 1 mm depth of cut, 600 m/min cutting speed and 0.15 mm/tooth feed rate. The surface roughness values for these cutting conditions were found as 0.47 µm in the calculations and 0.32 µm in the verification experiments.

**Keywords:** EN AW 5754, surface roughness, cryogenic process, Taguchi method.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojik gelişmelerle birlikte alüminyumun; dayanıklılık, hafiflik, yüksek korozyon direnci, işlenebilirlik, şekillendirilebilirlik, tekrar kullanılabilirlik gibi özellikleri gibi avantajları sebebiyle sanayi sektöründeki kullanım alanları hızla artmaktadır. Ayrıca

alüminyum alaşımları (AA), yüksek dayanım /ağırlık oranları, son yıllarda iyi aşınma /yorulma direnci ve işlenebilirlik açısından yüksek ilerleme oranları nedeniyle havacılık, otomotiv, plastik enjeksiyon kalıpları ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. EN AW 5754 AA'nın korozyona, özellikle endüstriyel atmosfere ve deniz suyuna karşı dayanımı yüksektir. Özellikle hidrolik ekipmanlar, otomotiv yan sanayii, gemi ve inşaat ekipmanları ve

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : grcann@gmail.com



kimya ve gıda sanayiinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

Frezeleme işlemlerinde doğru ölçülerin elde edilmesine ilişkin belli problemlerin ortaya çıkmasının yanı sıra, en büyük problemlerden biri deney numunesine uygun yüzey ve yüzey pürüzlülüğü elde etmektir. Kaliteli yüzey elde etmek, ticari ve teknolojik açıdan birçok nedenden ötürü önemlidir [3]. Özellikle, yüzey pürüzlülüğü ürün kalitesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [4]. Bu nedenle, işleme operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu ve öngörüsü, son yıllarda birtakım araştırmacıların çalışma odağı olmuştur [5-7]. Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme hızı, kesici takım geometrisi, deney numunesinin mikro yapısı, deney numunesine uygulanan ısı işlemler, kesme takımlarına uygulanan ısı işlemler ve takım tezgahının rijitliği de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir [8, 9]. Bu parametrelerin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilebilir [10,11]. Son zamanlarda, Taguchi yöntemi, çeşitli endüstriyel alanlarda ve akademik araştırma çalışmalarında büyük ölçüde kullanılmaktadır [12-20].

Al-Zn alaşımları olarak bilinen 7000 serisi alüminyum uçak uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır [21]. Bu serilere uygulanan özellikle küresel parmak frezeleme işlemleri serbest formlu yüzey bitirme operasyonlarında kullanılır. Vakondios vd. 7075-T6 AA'ya küresel parmak frezeleme işlemleri ile frezeleme stratejilerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmış ve freze stratejileri için oluşturulan tüm modellerin istatistiksel geçerliliğini deneysel olarak doğrulanmışlardır [22]. Kuram ve Özçelik, 7075 AA malzeme ve küresel uçlu parmak freze kesici takımları kullanarak mikro freze işlemlerini yürütmüşlerdir. Ayrıca, Taguchi tabanlı gri ilişki analizi kullanarak kesme parametrelerini optimize etmişlerdir [23]. Dinim vd., en iyi yüzey kalitesi için uygun kesme parametrelerini araştırmış ve 6061-T6511 AA malzeme üzerine, kaplamalı kesici takımlar ile parmak frezeleme işlemini uygulamışlardır [24]. Yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel olarak inceleyen Kadırgama vd. Tepki Yüzey Metodu (RSM) kullanarak 6061-T6 AA'nın işlenmesinde, minimum yüzey pürüzlülüğü için matematiksel tahmin modeli elde etmişlerdir. Bu çalışma iki boyutlu RSM grafikleriyle desteklenmiştir [25]. Baharudin vd. 6061 AA malzemesinde yüzey frezeleme işlemini HSS kesici uçlarla yürütmüşler ve ölçümlerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini Taguchi yöntemiyle optimize etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada,

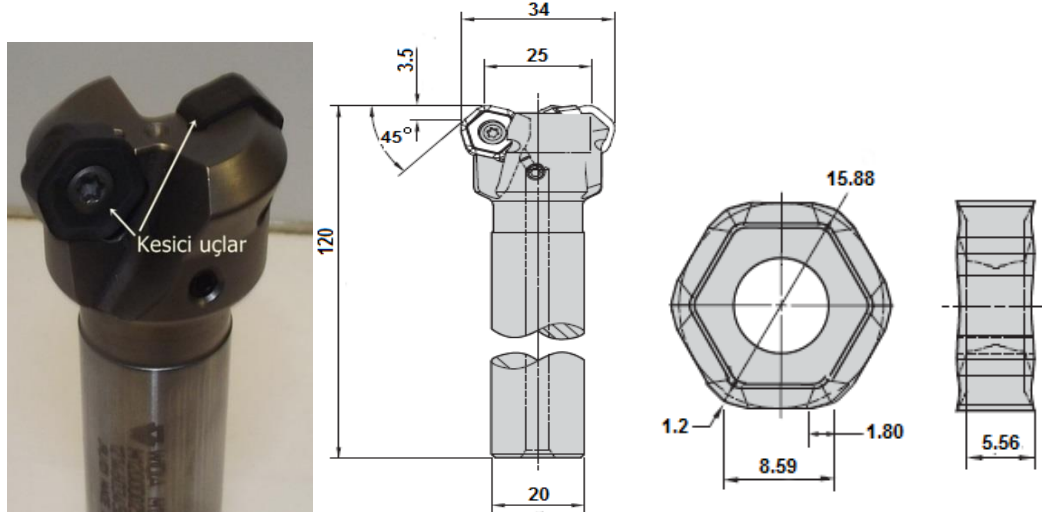
yüzey pürüzlülüğü için 884 dev/dak iş mili hızı, 243 mm/dk. ilerleme oranı ve sıfır derece aksel talas açısı gibi optimize edilmiş parametreler kullanılmış ve çalışma S/N grafiği ile desteklenmiştir [26]. Özel bir işlenebilirlik verileri mevcut olmasa da, 5083 AA, tornalama, frezeleme, delme ve taşlama gibi klasik yöntemlerle iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir [27]. Pınar, 5083 AA malzeme üzerine cep işlemede minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için, kesme parametreleri ve seviyeleri kullanılarak oluşturulan deneysel tasarımla yürütülen deneyler ile yüzey pürüzlülüğü üzerindeki kesme parametrelerinin etkilerini araştırmıştır. Ayrıca L<sub>27</sub> ortogonal diziyeye göre yapılan deneyler ANOVA ve sinyal-gürültü oranları ile değerlendirilmiştir [28].

Bu çalışmada, EN AW 5754 AA'ya kriyojenik işlem uygulanmış ve bu malzemenin frezelenmesinde kesici uç, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme oranı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Yürütülen deneylerde Taguchi L<sub>9</sub> ortogonal dizisi kullanılmış, yapılan optimizasyonla en düşük yüzey pürüzlülüğünü veren en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca deney sonuçları; sinyal gürültü oranı (S/N), varyans analizi (ANOVA) ve üç boyutlu grafikler kullanılarak yorumlanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

### 2.1. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Bu çalışmada 80x80x30 mm ebatlarında EN AW 5754 AA, deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deneyler yapılmadan önce numunelere, dakikada 1 °C kriyojenik işlem fırını değişme sıcaklığında, -145 °C'de 12 saat kriyojenik işlem uygulanmıştır. Alüminyum alaşımlarına literatür taraması dikkate alındığında, değişik sıcaklıklarda kriyojenik ısı işlem uygulanabilmektedir [29-33]. Uygulanan kriyojenik ısı işlem sonrası deney numunesinin sertliği 54.9 Brinell olarak ölçülmüştür. Deneylerde WIDIA (Germany) kesici takım firmasına ait TN5515 kodlu CVD tekniği ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN kaplanmış, TN6525 kodlu PVD tekniği ile TiAlN kaplanmış nano ve TN6501 kodlu PVD tekniği ile TiB<sub>2</sub> kaplanmış 12 kesme kenarına sahip kesici uçlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak WIDIA firmasına ait iki ağızlı Victory M1200 mini takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kullanılan takım tutucu ve kesici uçlar detayı (Details of tool holder and inserts used)

Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir

araştırmaktır [36]. Taguchi yönteminde kullanılan işlem parametrelerinin kalite özelliklerini belirlemek için bazı

Çizelge 1. EN AW 5754 alüminyum alaşımının özellikleri [34, 35] (Properties of EN AW 5754 aluminum alloy)

Kimyasal Bileşimi (%)										
Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Mn+Cr	Diğer
Denge	0.40	0.40	0.10	0.50	3.6	0.20	0.30	0.15	0.60	0.15
Fiziksel Özellikleri										
Yoğunluk	Ergime noktası	Isıl genişleme	Elastik modülü	Isıl iletkenlik	Elektrik özdirenci					
2.66 g/cm <sup>3</sup>	600 °C	24x10 <sup>-6</sup> / K	68 GPa	147 W/m.K	0.049x10 <sup>-6</sup> Ωm					
Mekanik Özellikler										
Akma Mukavemeti (Min-Maks.)	Çekme mukavemeti (Min-Maks.)	Uzama (%50)	Brinell sertliği							
80-100 MPa	190-215 MPa	24	44 HB							

Kesme parametrelerinin belirlenmesinde kesici takım üreticisinin katalog değerleri dikkate alınmıştır. Frezeleme işlemlerinde, DELTA S2 1050A (Fanuc Oimate MC, iş milinin maksimum hızı 8000 dev/dk., çalışma basıncı 5.5 bar, motor gücü 12 kW) üç eksenli dikey freze tezgâhı kullanılmıştır. Çalışmada, yüzey pürüzlülük ölçümleri Taylor Hobson Surtronic S25 yüzey pürüzlülük cihazı ile yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri (Ra), deney numunesinin dört farklı noktasından 4 mm’lik örnekleme uzunluğunda parça kenarına dik olacak şekilde ölçülmüştür.

## 2.2. Taguchi Metodu (Taguchi Method)

Taguchi yöntemi, süreç değişkenliklerinin azaltılmasını içeren işlem parametrelerini optimize etmek için kullanılan basit ve sağlam bir tekniktir. Tekniğin amacı, farklı işlem parametrelerinin süreç performans özelliklerinin ortalama ve varyansını nasıl etkilediğini ve hangi faktörün önemli ölçüde katkıda bulunduğunu

fonksiyonlar kullanır. Bu fonksiyonların değerleri de bir sinyal-gürültü (S/N) oranına ( $\eta$ ) dönüştürülür. Genel olarak, S/N oranı analizinde; “Nominal en iyi”, “En büyük en iyi” ve “En küçük en iyi” olmak üzere üç farklı kalite özelliği vardır. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması istenildiğinden “En küçük en iyi” prensibine dayanan formül kullanılmıştır (Eşitlik 1).

$$\eta = \frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Burada, n gözlemlenen değer sayısıdır. y ise, gözlemlenen veridir [37].

Bu çalışmada, kontrol faktörleri olarak seçilen kesme parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Kesme parametreleri ve seviyeleri (Cutting parameters and their levels)

Sembol	Kesme parametreleri	Seviyeleri		
		1	2	3
A	Kesici uç (kt)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiCN-TiN	TiAlN Nano	TiB <sub>2</sub>
B	Kesme derinliği (a, mm)	0.5	1	1.5
C	Kesme hızı (V, m/dak)	310	450	600
D	İlerleme oranı (f, mm/diş)	0.15	0.25	0.35

Taguchi birkaç özel ortogonal dizi oluşturmuş ve sonuçlarını analiz etmiştir. Ortogonal dizi seçimi, optimizasyon için incelenecek faktör sayısına, incelenecek etkileşimlerin sayısına, her faktör için gerekli seviyelerin sayısına, deneyin amacına ve deneysel bütçeye ve kaynakların kullanılabilirliğine bağlı olduğu için kritik önem taşır. Taguchi yönteminin ilk adımı, kontrol faktörleri olarak seçilen kesme parametrelerine dayalı uygun bir ortogonal dizi seçmektir. Optimum kesme parametrelerini belirlemek ve bu belirlenmiş parametrelerin etkilerini analiz etmek

Yürütülen deneyler sonucunda ölçülen değerlerin optimizasyonu ve kalite özelliklerinin belirlenmesi S/N oranları ile sağlanmaktadır. S/N oranları, sistemin kalite karakteristiğinin değişkenliğini yansıtır ve ortalamanın ayarlanmasına bağlı değildir. Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanan S/N oranları ve ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 3’de gösterilmiştir. Yapılan 9 deneyden sonra yüzey pürüzlülüğünün ortalama değeri, 0.48 µm ve aynı şekilde ortalama S/N oranı ise, 6.32 dB olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.** Yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları (Surface roughness values and S/N ratios)

Deney no	Kontrol faktörleri				Yüzey pürüzlülük değerleri (µm)					S/N oranı (dB)
	A	B	C	D	Ra <sub>1</sub>	Ra <sub>2</sub>	Ra <sub>3</sub>	Ra <sub>4</sub>	Ra <sub>m</sub>	S/N
	Kesici uçlar	Kesme derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dk.)	İlerleme oranı (mm/diş)						
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiCN-TiN	0.5	310	0.15	0.32	0.40	0.42	0.60	<b>0.44</b>	7.131
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiCN-TiN	1	450	0.25	0.32	0.46	0.30	0.46	<b>0.39</b>	8.179
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiCN-TiN	1.5	600	0.35	0.36	0.44	0.40	0.48	<b>0.42</b>	7.535
4	TiAlN-Nano	0.5	450	0.35	0.56	0.34	0.50	0.70	<b>0.53</b>	5.514
5	TiAlN-Nano	1	600	0.15	0.38	0.44	0.50	0.46	<b>0.45</b>	6.936
6	TiAlN-Nano	1.5	310	0.25	0.60	0.44	0.56	0.70	<b>0.58</b>	4.731
7	TiB <sub>2</sub>	0.5	600	0.25	0.52	0.46	0.62	0.46	<b>0.52</b>	5.680
8	TiB <sub>2</sub>	1	310	0.35	0.48	0.78	0.34	0.46	<b>0.52</b>	5.680
9	TiB <sub>2</sub>	1.5	450	0.15	0.58	0.56	0.36	0.60	<b>0.53</b>	5.514

SRa<sub>m</sub> (Yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması)= 0.48 µm

SRa<sub>m</sub>-S/N (Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin S/N oranları ortalaması)= 6.32 dB

**Çizelge 4.** S/N oranları ve yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması (Average of S/N ratios and surface roughness values)

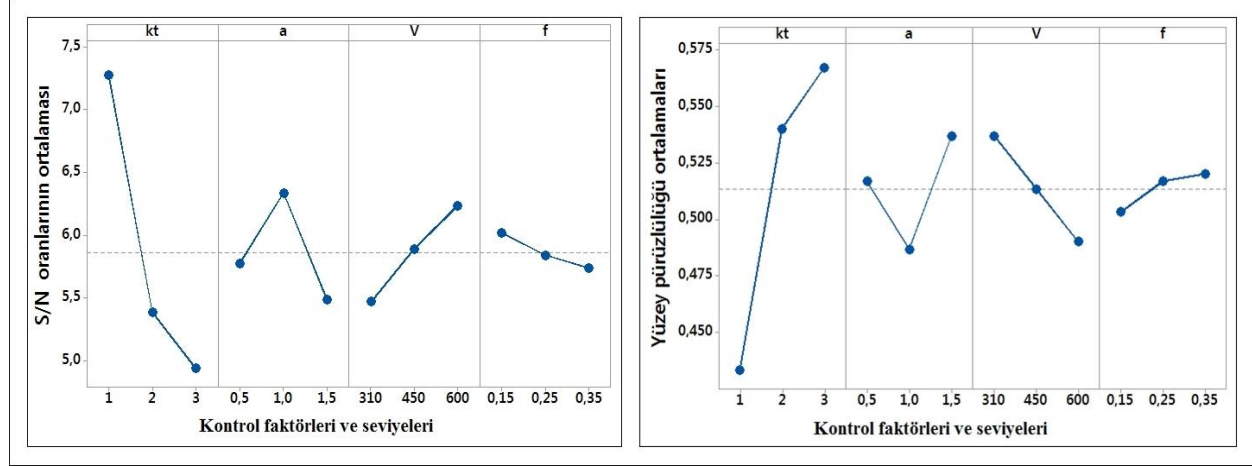
Kontrol faktörleri	Seviye			Max-Min
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
S/N oranları (dB)				
A	7.270	5.384	4.936	2.335
B	5.774	6.334	5.482	0.852
C	5.467	5.890	6.233	0.766
D	6.014	5.840	5.735	0.279
Yüzey pürüzlülüğü (µm)				
A	<b>0.4333</b>	0.5400	0.5667	0.1333
B	0.5167	<b>0.4867</b>	0.5367	0.0500
C	0.5367	0.5133	<b>0.4900</b>	0.0467
D	<b>0.5033</b>	0.5167	0.5200	0.0167

için en uygun dizi [L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>)] seçilmiştir [38]. Tüm parametrelerinin etkileşimlerini kullanarak 81 adet deney yapmak yerine Taguchi'nin L<sub>9</sub> ortogonal dizisi kullanılarak sadece 9 deney gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4'te kontrol faktörleri olarak ifade edilen kesme parametreleri, seçilen ortogonal diziyeye göre farklı seviyeler ve olası etkileri göz önünde bulundurularak ayırt edilmiştir. Bu seviyeler deneysel çalışmada yüzey

pürüzlülüğünün analizi için hesaplanan sinyal gürültü oranlarını ve yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlerin seviyelere göre ortalaması alınarak hesaplanan değerleri göstermektedir. Optimum değer hesaplamasında bir diğer gereklilik de optimum seviyeleri belirlemektir. Optimum seviyeler,  $L_9$

ortogonal dizi tarafından üretilen kombinasyonların sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin farklı seviyelerini değerlendirerek belirlenebilir. Bu seviyeler, yüzey pürüzlülüğü değerlerini ve S/N oranları ana etki grafiğini çizmek için kullanılır (Şekil 2).



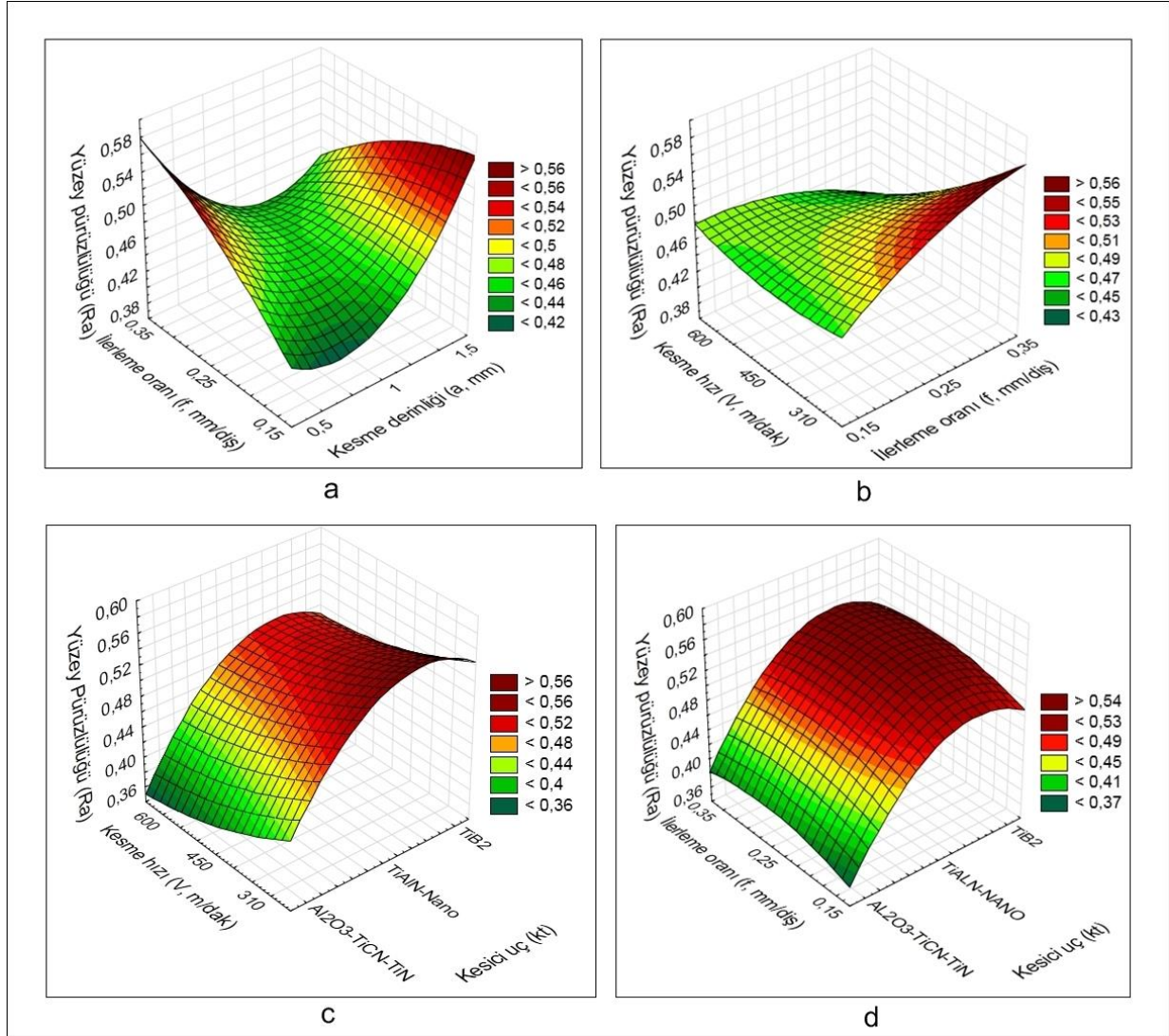
Şekil 2. Kontrol faktörleri için ortalama etki grafiği (Mean effect plot for control factors)

Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir. Çalışmada "En küçük en iyi" karakteristik seçildiğinden, kontrol faktörlerinin optimal kombinasyonunu belirlemek ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için en düşük ortalamalar alınmıştır. Benzer şekilde, yüksek S/N oranları da optimum kombinasyonu belirlemek için kullanılabilir. Buna göre yüzey frezeleme için kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu  $kt_1 a_2 V_3 f_1$  ( $kt= Al_2O_3-TiCN-TiN$  kaplamalı kesici uç,  $a = 1$  mm kesme derinliği,  $V = 600$  m/dak kesme hızı,  $f = 0.15$  mm/diş ilerleme oranı) olarak belirlenmiştir.

### 3. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF EXPERIMENTAL RESULTS)

Kontrol faktörlerine ve varyasyonlarına bağlı olarak deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü grafikleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3a'da, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı görülmektedir. Ancak 1 mm kesme derinliğinde pürüzlülük bir düşme göstermiş, daha sonra tekrar yükselmiştir. Çünkü talaş miktarının artması az da olsa kesici takımın talaş yığılmasına neden olmuş bu da pürüzlülük değerini arttırmıştır. Aynı şekilde, ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. Şekil 3a'da, en iyi yüzey pürüzlülüğü, 0.15 mm/diş ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde görülmüştür. Şekil 3b'de kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğe etkisini gösteren grafik yer almaktadır. Burada, ilerleme oranı arttıkça pürüzlülük değerlerinin de arttığı görülmektedir. Ancak, 600 m/dk. kesme hızında ve 0.35

mm/diş ilerleme oranında ani bir düşüş yaşanmıştır. Şekil 3b'de 0.15 mm/diş ilerleme oranında kesme hızlarını artması, pürüzlülük değerinde bir değişime neden olmamıştır. Burada, 450 m/dk. kesme hızında ve 0.15 mm/diş ilerleme oranında pürüzlülük değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Şekil 3c'de kesme hızı ve kesici uçların yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada en düşük yüzey pürüzlülüğü  $Al_2O_3-TiCN-TiN$  kaplamalı kesici uç ve 600 m/dk. kesme hızında olmuştur. Diğer kesici uçlarda yüzey pürüzlülüğünde artışlar gözlemlenmiştir.  $Al_2O_3$  katman, aşındırıcı aşınmaya karşı direnç kazandırmak içindir. TiCN kaplamalar ise iyi bir aşınma direnci sağlar ve sert malzemelerin işlenmesinde iyi özelliklere sahiptir. TiN kaplama, yüzeyde düşük bir sürtünme katsayısı sağlayarak talaş yığılmasını engeller [39]. Bu üç kaplamanın tek bir kesici takımında kullanılması aşınmaya karşı yüksek direnç oluşturmuştur. Bu da daha iyi bir kesme şartları dolayısıyla daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Diğer taraftan TiAlN kaplamalar yüksek hızlarda yürütülen talaş kaldırma işlemlerde daha iyi sonuç vermektedir. Çizelge 3 incelendiğinde bu kesici takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri düşük kesme hızında yükseldiği görülmektedir.  $TiB_2$  yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete ve yüksek aşınma direncine sahip sert bir kaplamadır. Ancak düşük kesme hızlarında daha az mukavemet göstermektedir. Şekil 3d'de ilerleme oranı ve kesici uçların yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Burada,  $Al_2O_3-TiCN-TiN$  kaplamalı kesici uç ve 0.15 mm/diş ilerleme oranında yüzey pürüzlülük değerinin düştüğü görülmektedir. Şekil 3c'ye benzer şekilde Şekil 3d'de diğer kesici uçlarda yüzey pürüzlülük değerinde artışlar görülmüştür.



Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme parametrelerinin etkisi (Effect of the cutting parameters on surface roughness)

### 3.1. ANOVA Kullanılarak Veri Analizi (Data Analysis Using ANOVA)

Kesici uç, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri ANOVA metodu ile

analiz edilmiş, deney sonuçları %95'lik bir güven düzeyinde değerlendirilmiştir (Çizelge 5). Çizelge 5'de; kt kesici uç, a kesme derinliği (mm), V kesme hızı (m/dk.) ve f ilerleme oranıdır (mm/diş).

Çizelge 5. ANOVA sonuçları (Results of ANOVA)

Faktörler	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F	Faktör etkisi (%)
Yüzey pürüzlülüğü (Ra <sub>m</sub> -µm)					
kt	2	0.029867	0.014933	-	79.86
a	2	0.0038	0.001900	-	10.16
V	2	0.003267	0.001633	-	8.73
f	2	0.000467	0.000233	-	1.25
Hata (e)	0	-	-	-	-
Toplam	8	0.0374			

Çizelge 5’de ANOVA sonuçlarına yer verilmiştir. Çalışmada 4 ana etki ele alınmış ve her bir hücrede tek gözlem olduğundan dolayı hataya ilişkin serbestlik derecesi sıfır çıkmıştır. Çizelge 5’de kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri; kesici uç (kt) %79.86, kesme derinliği (a) %10.16, kesme hızı (V) %8.73 ve ilerleme oranı (f) %1.25 olarak elde edilmiştir. Çizelgeye göre bu çalışma için yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktör %79.86 ile kesici uç olmuştur. Bu faktörü %10.16 oranla kesme derinliği takip etmektedir.

### 3.2. Deneysel Sonuçlar için Regresyon Metodu (Regression Method for Experimental Results)

Bu çalışmada, polinomial (polynomial) regresyon modeli kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme parametreleri arasındaki ilişki düzeyi belirlenmiştir. Çoklu regresyon analizi, kontrol faktörlerinin her kombinasyonu ile deneysel tasarımlar yoluyla elde edilen sürekli bağımlı değişkenlerin tahmin denklemlerini türetmek için kullanılmaktadır. İkinci dereceden regresyon modeli için öngörülen eşitlik aşağıda gösterilmiştir:

$$Ra_r = 0.4026 + 0.249kt - 0.0492kt^2 - 0.3916a + 0.20333a^2 - 0.000455V + 0.00000031746V^2 + 0.8f - 1.41666f^2 \quad (2)$$

$Ra_r$ , yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerini kullanarak oluşturulan tahmin denklemini ifade etmektedir. Regresyon sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü için elde edilen denklemin  $R^2$  değeri 1 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.** Yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranları kombinasyonlarının karşılaştırılması (Comparison of surface roughness and S/N ratios combinations)

	Seviye	$Ra$ ( $\mu m$ )	S/N (dB)
Başlangıç kombinasyonu	$A_2B_3C_1D_2$	0.58	4.731
Optimal kombinasyon (deneysel)	$A_1B_2C_3D_1$	0.32	9.897
Optimal kombinasyon (tahmin)	$A_1B_2C_3D_1$	0.47	6.558

Çizelge 6’da yüzey pürüzlülüğü değerleri deney ve tahmin vasıtasıyla elde edilen optimal kombinasyonlara göre karşılaştırılmıştır. Burada  $A_2B_3C_1D_2$  kombinasyonu, başlangıç kombinasyonu olarak 9 adet deneyden seçilmiştir. Çizelge 6’ya göre yüzey pürüzlülüğü değerleri  $0.58 \mu m$ ’dan  $0.32 \mu m$ ’a düşürülmüş ve optimal kombinasyonu sayesinde geliştirilen doğruluk verimliliği, %44.83’e  $((0.58-0.32)/0.58)$  kadar arttırılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, EN AW 5754 AA’ya  $-145^\circ C$ ’de 12 saat kriyojenik işlem uygulanmış ve bu malzemeye dört farklı kesme parametresi kullanılarak yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Taguchi  $L_9$  ortogonal dizisi kullanılmış 81 deney yerine 9 deney yapılmış analiz sonucu optimal yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Optimal kombinasyonlarla yürütülen

### 3.3. Doğrulama Deneyleri (Confirmation Experiments)

Doğrulama deneylerinin amacı, analiz aşamasında elde edilen sonuçların geçerliliğini doğrulamaktır. Doğrulama deneyleri, faktörlerin ve düzeylerinin spesifik kombinasyonunu test etme amacına hizmet eder ve kontrol faktörleri tarafından üretilen toplam etki tarafından tanımlanır. Taguchi optimizasyon tekniğinde, optimize koşulun doğrulanması için en az bir doğrulama deneyinin yapılması gereklidir [37]. Doğrulama deneylerinden önce tahmin denklemi ve optimum şartlar kontrol faktörünün pürüzlülük değeri tahmin edilir. Kontrol faktörlerinin bireysel etkileri göz önünde bulundurularak;  $A_1B_2C_3D_1$  ( $A_1 = Al_2O_3-TiCN-TiN$  kaplamalı kesici uç,  $B_2 = 1$  mm kesme derinliği,  $C_3 = 600$  m/dak kesme hızı,  $D_1 = 0.15$  mm/dış ilerleme oranı) minimum yüzey pürüzlülüğü değeri ( $Ra_c$ ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$Ra_c = A_1 + B_2 + C_3 + D_1 - 3Ra_m \quad (3)$$

Burada  $A_1$ ,  $B_2$ ,  $C_3$  ve  $D_1$  Çizelge 4 dikkate alınarak elde edilen değerler ve  $Ra_m$ , yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasıdır. Bu değerler dikkate alındığında minimum yüzey pürüzlülük değeri ( $Ra_c$ ),  $0.47 \mu m$  olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada yürütülen deneysel çalışmaların performansını değerlendirmek için optimal koşullar kullanılarak üç doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Optimal seviyeler dikkate alınarak ( $A_1B_2C_3D_1$ ) yürütülen doğrulama deneylerinde yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla  $0.34$ ,  $0.30$  ve  $0.32 \mu m$  olarak elde edilmiş ve bunların ortalamaları da  $0.32 \mu m$  olarak hesaplanmıştır.

doğrulama deneyleriyle en uygun pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır. Bu bağlamda çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Uygulanan kriyojenik ısıl işlem sonrası deney numunesinin yüzey sertliği  $54.9$  Brinell olarak ölçülmüştür. Bu alaşımın katalog bilgilerinde belirtilen sertlik değeri  $44$  HB’dir [34]. Alüminyum alaşımları, plastik deformasyon sürecindeki dislokasyon hareketinden kaynaklanan çok sayıda kayma sistemine sahip yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahiptir. Düşük sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik yapısı, kafes yapısını değiştirmeden dislokasyonların hareketini aktive eder ve böylece bu malzemelerin sünekliğinin düşük sıcaklıklarda artmasına veya korunmasına neden olur. Ancak bu durum kriyojenik şartlar altında değişkendir. Yapılan bir çalışmada; 5000 serisi alüminyum alaşımlarının sertleşme özelliğinde, 6000 serisi alüminyumlara

göre kriyojenik şartlar altında %9'luk bir artış gözlemlenmiştir[40]. Malzemenin sertleşmesindeki artış, kriyojenik işlem sonrası dislokasyon hareketlerini kısıtlayan bir yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Deneysel sonuçlarına göre yüzey frezeleme parametrelerinin optimum kombinasyonu  $kt_1 a_2 V_3 f_1$  ( $kt_1 = \text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiCN-TiN}$  kaplamalı kesici uç,  $a = 1$  mm kesme derinliği,  $V = 600$  m/dak kesme hızı,  $f = 0.15$  mm/diş ilerleme oranı) olarak bulunmuştur.
- ANOVA sonuçlarına göre kesici ucun %79.86 oranla yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Bu faktörü %10.16 oranla kesme derinliği takip etmiştir.
- $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiCN-TiN}$  kaplamalı kesici ucun yüzey pürüzlülüğü üzerinde pozitif etkileri olduğu deneysel çalışmalardan elde edilmiştir.
- Yürütülen deneyler sonucunda seçilen başlangıç pürüzlülük değeri  $0.58 \mu\text{m}$ 'dan optimum koşullarla yürütülen doğrulama deneyleriyle  $0.32 \mu\text{m}$ 'a düşürülmüştür.

Bu çalışmada Taguchi yöntemi, kesme parametrelerinin optimum kombinasyonlarını belirlemek, endüstride yaygın olarak kullanılan ve kriyojenik işlem uygulanmış EN AW 5754 AA'nın yüzey frezelemesinde işleme maliyetlerini ve süresini en aza indirmek için başarıyla uygulanmıştır. Çalışmada sunulan metot, alüminyum alaşımlarının çeşitli işleme operasyonlarına uygulanabilir niteliktedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

2017.06.06.564 ve 2012.06.06.120 numaralı projelere vermiş oldukları destekten dolayı Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Durmuş H., "Optimization of multi-process parameters according to the surface quality criteria in the end milling of the AA6013 aluminum alloy", *Materials and Technology*, 46 (4): 383–388, (2012).
- [2] Rawangwong S., Chatthong J., Boonchouytan W. and Burapa R., "Influence of cutting parameters in face milling semi-solid AA-7075 using carbide tool affected the surface roughness and tool wear", *Energy Procedia*, 56 (1): 448–457, (2014).
- [3] Escalona P.M. and Maropoulos P.G., "A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools", *Journal of Manufacturing Systems*, 36: 216–223, 2015.
- [4] Kechagias J., Petropoulos G., Iakovakis V. and Maropoulos S. (2009), "An investigation of surface texture parameters during turning of an inforced polymer composite using design of experiments and analysis", *Int. J. Experimental Design and Process Optimization*, 1 (2/3): 164–177, (2009).
- [5] Danilevsky V., "Manufacturing Engineering", No. 121, TMMOB Publishing, Ankara, (1987).
- [6] Boothroyd G., "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 5th ed.", McGraw- Hill, New York, (1981).
- [7] Yang J.L. and Chen J.C., "A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations", *Journal Industrial Technology*, 17 (1): 1–8, (2001).
- [8] Benardos P.G. and Vosniakos G.C., "Predicting surface roughness in machining: a review", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (6): 833–844, (2003).
- [9] Risbood K.A., Dixit U.S. and Sahasrabudhe A.D., "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process", *Journal of Materials Processing Technology*, 132 (1–3): 203–214, (2003).
- [10] Khattree R. and Rao C.R., "Statistics in Industry, Handbook of Statistics V.22", Gulf Professional Publishing, Netherlands, (2003).
- [11] Davim J.P., "Sustainable Manufacturing", John Wiley and Sons, Hoboken, (2010).
- [12] Lin Y.C., Chen Y.F., Wang D.A. and Lee H.S., "Optimization of machining parameters in magnetic force assisted EDM based on Taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (7): 3374–3383, (2009).
- [13] Zhang J.Z., Chen J.C. and Kirby E.D. (2007), "Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method", *Journal of Materials Processing Technology*, 184 (1–3): 233–239, (2007).
- [14] Mandal N., Doloi B., Mondal B. and Das R., "Optimization of flank wear using zirconia toughened alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and regression analysis", *Measurement*, 44 (10): 2149–2155, (2011).
- [15] Asiltürk İ. and Neşeli S., "Multi response optimization of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis", *Measurement*, 45 (4): 785–794, (2012).
- [16] Günay M. and Yücel E., "Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron", *Measurement*, 46 (2): 913–919, (2013).
- [17] Kurt M., Bağcı E. and Kaynak Y., "Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes", *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40 (5–6): 458–469, (2009).
- [18] Babu GHV P., Murthy BSN., Rao K.V., Kumar K.A., "Taguchi based optimization of process parameters in orthogonal turn milling of ASTM B319", *Materials Today Proceedings*, 4 (2, Part A): 2147–2156, (2017).
- [19] Vardhan M. V., Sankaraiyah G., Yohan M., Rao H. J., "Optimization of parameters in CNC milling of P20 steel using Response Surface Methodology and Taguchi Method", *Materials Today Proceedings*, 4 (8): 9163–9169, (2017).
- [20] Aravind S., Shunmugesh K., Biju J., Vijayan J.K., 2017, "Optimization of micro-Drilling parameters by Taguchi Grey Relational Analysis", *Materials Today Proceedings*, 4 (2, Part B): 4188–4195, (2017).

- [21] Meyers A.R. and Slattery T.J., “**Basic Machining Reference Handbook**”, Industrial Press, New York, (2001).
- [22] Vakondios D., Kyratsis P., Yaldız S. and Antoniadis A., “Influence of milling strategy on the surface roughness in ball end milling of the aluminum alloy AL7075-T6”, *Measurement*, 45 (6): 1480–1488, (2012).
- [23] Kuram E. and Özçelik B., “Multi-objective optimization using Taguchi based grey relational analysis for micro-milling of Al 7075 material with ball nose end mill”, *Measurement*, 46 (6): 1849–1864, (2013).
- [24] Dimin S. F., Anand T.J.S., Jamli R., Kamely A., “Surface quality investigation of Al 6061-T6511 using TiAlN coated milling tool”, *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 10 (4): 55-59, (2010).
- [25] Kadirgama K., Noor M.M., Rahman M.M., Rejad M. R. M., Haron C.H.C., “Surface roughness prediction model of 6061-T6 aluminium alloy machining using statistical method”, *European Journal Scientific Research*, 25 (2): 250-256, (2009).
- [26] Baharudin B.T.H.T., İbrahim M.R., İsmail N., Leman Z., Ariffin M.K.A. and Majid D.L., “Experimental investigation of HSS face milling to AL6061 using Taguchi method”, *Procedia Engineering*, 50: 933–941, (2012).
- [27] Kechagias J.D., Ziogas C.K., Pappas M.K. and Ntziatzias I.E., “Parameter optimization during finish end milling of Al alloy 5083 using robust design”, *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2011)*, London, UK, (2011).
- [28] Pınar A.M., “Optimization of process parameters with minimum surface roughness in the pocket machining of AA5083 aluminum alloy via Taguchi method”, *Arabian Journal Science and Engineering*, 38 (3): 705–714, (2013).
- [29] Chen P., Malone T., Bond R. and Torres P., “Effects of cryogenic treatment on the residual stress and mechanical properties of an aerospace aluminum alloy”, *Proceedings of the 4th Conference on Aerospace Materials, Processes, and Environmental Technology*, (2001).
- [30] Pavan K.M., Sachin L.S., Mayur S., Chandrashekara A. and Ajaykumar B.S., “Effect of cryogenic treatment on the mechanical and microstructural properties of aluminum alloys – a brief study”, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 2 (5): 95-99, (2014).
- [31] Trieu H.H., Morris L.H., Kaufman M.E., Hood R. and Jenkins L.S., “Investigation of cryogenic treatment of UHMWPE”, *Proceedings of the Sixteenth Southern Biomedical Engineering Conference*, 90-91, (1997).
- [32] Lulay K.E., Khan K. and Chaaya D., “The Effect of Cryogenic Treatments on 7075 Aluminum Alloy”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 11(5): 479-480, (2002).
- [33] Joshi P., Singh J., Dhiman P., Shekhar H. and Kumar V., “Effect of cryogenic treatment on various materials: A review”, *HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research*, 14: 1-11, (2015).
- [34] [www.aalco.co.uk](http://www.aalco.co.uk), “Properties of 5754 H111 Aluminum Alloy”, (2018).
- [35] [www.seykoc.com.tr](http://www.seykoc.com.tr), “Alüminyum 5754 H111 alaşımının özellikleri”, (2018).
- [36] Krishnaiah K. and Shahabudeen P., “*Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*”, PHI Learning Private Limited, New Delhi, (2012).
- [37] Roy R.K., “*A Primer on the Taguchi Method, Competitive Manufacturing Series*”, Van Nostrand Reinhold, New York, (1990).
- [38] Fowlkes W.Y. and Creveling C.M., “*Engineering Methods for Robust Product Design: Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*”, Prentice Hall, New Jersey, (1995).
- [39] [www.kapco.com.tr](http://www.kapco.com.tr), “Kesici Uç Kaplama Türleri ve Özellikleri”, (2018).
- [40] Park D.H., Choi S.W., Kim J.H. and Lee J.M., “Cryogenic mechanical behavior of 5000- and 6000-series aluminum alloys: Issues on application to offshore plants” *Cryogenics*, 68: 44-58, (2015).





POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# İşletmeler için personel yemek talep miktarının yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi

## *An estimation of personnel food demand quantity for businesses by using artificial neural networks*

Yazar(lar) (Author(s)): M. Hanefi CALP

ORCID: 0000-0001-7991-438X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Calp, M. H., “İşletmeler için personel yemek talep miktarının yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 675-686, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.444380

# İşletmeler için Personel Yemek Talep Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**M. Hanefi CALP**

Yazılım Mühendisliği Bölümü, OF Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61830, Trabzon, Türkiye  
(Geliş/Received : 27.04.2018 ; Kabul/Accepted : 10.07.2018)

## ÖZ

Günümüzde kamu veya özel kurumların birçoğu, bünyelerinde çalışan personeller için profesyonel yemek hizmeti vermektedir. Söz konusu hizmetin planlanması konusunda, kurumlarda çalışan personel sayısının genel olarak fazla olması ve personellerin şahsi veya kuruma ait sebeplerle kurum dışında olmalarından dolayı birtakım aksamlar yaşanmaktadır. Bu yüzden, günlük yemek talebinin belirlenmesi zorlaşmakta ve bu durum kurumlar için maliyet, zaman ve emek kaybına sebep olmaktadır. Bu kayıpları ortadan kaldırmak veya en azından minimuma indirmek amacıyla istatistiksel veya sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, işletmeler için yapay sinir ağları kullanılarak günlük yemek talebini tahmin eden yapay zekâ tabanlı bir model önerilmiştir. Veriler, günlük yemek çıkaran ve farklı kademelerde görev alan 110 kişilik bir personel kapasitesine sahip özel bir işletmenin yemekhane veritabanından elde edilmiş olup son 2 yıllık (2016-2018) veriyi kapsamaktadır. Model, MATLAB paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin performansı, Regresyon değerleri, Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY-MAPE) ve Ortalama Karesel Hata (OKH-MSE) dikkate alınarak belirlenmiştir. Ağın eğitiminde, ileri beslemeli geri yayımlı ağ mimarisi kullanılmıştır. Denemeler sonucunda elde edilen en iyi model, sırasıyla eğitim R oranı: 0,9948, test R oranı: 0,9830 ve hata oranı ise 0,003783 olup çok katmanlı (8-10-10-1) bir yapıya sahiptir. Deneysel sonuçları, modelin hata oranının düşük, performansının yüksek olduğunu ve talep tahmini için yapay sinir ağları kullanımının olumlu etkisini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İşletme, yapay sinir ağları, yemek, talep, tahmin.

## An Estimation of Personnel Food Demand Quantity for Businesses by Using Artificial Neural Networks

### ABSTRACT

Today, many public or private institutions provide professional food service for personnels working in their own organizations. Regarding the planning of the said service, there are some obstacles due to the fact that the number of the personnel working in the institutions is generally high and the personnel are out of the institution due to personal or institutional reasons. Because of this, it is difficult to determine the daily food demand, and this causes cost, time and labor loss for the institutions. Statistical or heuristic methods are used to remove or at least minimize these losses. In this study, an artificial intelligence model was proposed, which estimates the daily food demand quantity using artificial neural networks for businesses. The data are obtained from a refectory database of a private institution with a capacity of 110 people serving daily meals and serving at different levels, covering the last two years (2016-2018). The model was created using the MATLAB package program. The performance of the model was determined by the Regression values, the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and the Mean Squared Error (MSE). In the training of the ANN model, feed forward back propagation network architecture is used. The best model obtained as a result of the experiments is a multi-layer (8-10-10-1) structure with a training R ratio of 0,9948, a testing R ratio of 0,9830 and an error rate of 0,003783, respectively. Experimental results demonstrated that the model has low error rate, high performance and positive effect of using artificial neural networks for demand estimating.

**Keywords:** Business, artificial neural networks, food, demand, estimation

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İşletmeler, kurum faydasını gözetmek adına çeşitli alanlarda veya konularda birtakım kararlar alabilmektedir. Bu kararlar, ya anlık ya da gelecek döneme ait olmaktadır. Kararların etkili bir şekilde alınması, işletmelerin daha kaliteli hizmet vermesi ve daha fazla kar etmesini sağlamaktadır. Bu durum, hem işletmeler hem de hizmet alanlar açısından hayati önem

taşımaktadır. Bu noktada, özellikle gelecek döneme ait alınan kararlarda hata yapılması olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Belirsiz durumların bulunması, işletmelerin veya kurumların geleceklerini tehlikeye atmaktadır. Bunun için önceden planlama, analiz ve tahmin faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İşletmelerin üretim sürecinde karar almalarını olumlu yönde etkileyen en önemli etken, üretilecek mal veya hizmetin gelecekteki satış miktarının (talebin) yüksek doğrulukta tahmin edilmesidir. Talep tahmini üzerine yapılan çalışmalarda gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki fark arttıkça ihtiyaçtan daha çok üretim

Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mhcalp@ktu.edu.tr

yapılmakta ve işletmeler yüksek oranda zarar edebilmektedir [1,2].

Talep tahmini için geliştirilen yöntemlerin, basit bir algoritma veya veriye göre değişebilen özel bir model olması mümkündür. Literatürde birçok farklı sınıflandırma bulunsa da bu yöntemler nicel ve nitel olmak üzere iki başlıkta ifade edilebilir. Nicel yöntemlerde girdi için kullanılan veriler çeşitli zamanlarda gerçekleştirilen ölçümlerdir. Nitel yöntemlerde ise bu durum, uzman kişilerin alandaki beklenen gelişmeler hakkındaki fikirleridir. Aslında, her iki yöntemin de birlikte kullanıldığı durumlar vardır. Söz konusu durumlar, nicel yöntemler kullanılarak elde edilen birtakım verilerin alandaki uzmanlar tarafından incelenmesi ile mümkündür. Bu noktada, Delphi Yöntemi, Pazar Araştırması ve Uzman Panelleri nitel yöntemlere örnek olarak verilebilir. Nicel Yöntemlere örnek olarak, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritmalar, Destek Vektör Makineleri, Hareketli Ortalamalar Yöntemi, Üstel Düzleştirme Yöntemi, Ekonometrik Modeller, Basit Regresyon Analizi, Çoklu Regresyon Analizi verilebilir [3].

Bu çalışmada, işletmelerde üretilen günlük yemek miktarını veya personel talebini yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edebilen bir model önerilmiştir. Çalışmanın amacı, işletmeler veya kurumların gelecekte üretecekleri yemek miktarlarını önceden tahmin ederek gereğinden fazla harcanacak emeğin, paranın ve zamanın önüne geçmek veya en azından bu zararları minimize etmektir. Çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, öncelikle bu konuda yeterli sayıda çalışmanın olmamasından doğan açığı kapatması, daha sonra konuyla ilgili talep tahmin çalışmaları incelendiğinde tahmin performansının yüksek ve hata oranının da oldukça düşük olmasıdır. Ayrıca model, gerçek veriler kullanılarak daha çok çeşitli menü ve modelin performansında önemli etkisi olabilecek etkenler dikkate alınarak geliştirilmiştir.

Çalışma, akış bakımından şu şekilde planlanmıştır: İkinci bölümünde, yapay sinir ağları kısaca açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, materyal ve metot başlığı altında; verilerin elde edilmesi, hazırlanması, normalize edilmesi, eğitim ve test süreci ve modelin oluşturulması süreçleri adım adım anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, elde edilen bulgular verilmiş ve verilen bulgular tartışılmıştır. Son olarak beşinci bölümde ise, sonuç ve öneriler başlığı altında birtakım çıkarım ve tavsiyelere yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde, günlük yemek talebinin tahmin edilmesi ile ilgili çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktada, bu bölümde günlük yemek tahmini konusunda Kılıç tarafından gerçekleştirilen çalışma verildikten sonra, daha çok genel anlamda talep tahmini konusunda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Kılıç, Pamukkale Üniversitesi'nin yemekhane verilerini kullanarak günlük yemek miktarını yapay sinir ağları ile tahmin etmeyi

amaçlayan bir model önermiştir. Önerilen sinir ağı modeli, çok katmanlı olup eğitim için Radyal Tabanlı Fonksiyon kullanılmıştır. Geliştirdiği modelle tasarlanan yemekhane günlük talep tahmin sisteminin iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu çalışma ile, diğer talep tahminleri gibi yemekhane talep tahmininde de yapay sinir ağları ve diğer yöntemlerin başarılı bir şekilde kullanılabilceğini ortaya koymuştur [1].

Köksal ve Uğursal, konut kullanımındaki enerji tüketimini modellemek için koşullu talep analizi (KTA) yönteminin kullanımını araştırmışlardır. KTA'nın bölgesel düzeyde enerji tüketimini modellemek için kullanıldığı birkaç çalışma olduğunu, ancak KTA yönteminin, ulusal düzeyde konut enerji tüketimini modellemek için kullanılmadığını belirtmişlerdir. Tahmin performansı ve KTA modelinin konut kullanımındaki enerji tüketimini karakterize etme yeteneği, daha önce geliştirilen model ve bir sinir ağı ile karşılaştırılmıştır. Modellerin tahminlerinin karşılaştırılması, KTA'nın konut sektöründeki enerji tüketimini ve diğer iki modeli doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, sınırlı sayıda değişkene bağlı olarak, KTA modelinin değerlendirilme kabiliyetinin sinir ağı modelinden daha düşük olduğunu bulmuşlardır [4].

Murat ve Ceylan, sosyo-ekonomik ve ulaşım ile ilgili göstergeleri kullanarak ulaşım enerji talebi tahmini için denetimli sinir ağlarına dayalı yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımı önermişlerdir. Kısaca, YSA ulaşım enerjisi talebi modeli geliştirmişlerdir. Tahmin işleminde, ileri beslemeli geri yayımlı bir sinir ağı kullanılmışlardır. YSA, Sosyo-ekonomik göstergelerin ulaşım enerji talebi üzerindeki etkisini araştırmak için 1970'den 2001'e kadar olan mevcut enerji verileriyle birlikte, gayri safi milli hasıla, nüfus ve toplam yıllık ortalama araç kilometresine göre analiz edilmiştir. Test süresindeki enerji verileri ile model tahminleri karşılaştırılarak model yüksek doğruluğunu ortaya koymuşlardır. Test iki senaryo ile yapılmıştır. YSA'nın hem bağımlı hem de bağımsız değişkenler için tarihsel verilerdeki dalgalanmaları yansıttığı anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlarla, ulaşım enerji tahmini problemi için benimsenen metodolojinin uygunluğunu ortaya koymuşlardır [5].

Geem ve Roper, Güney Kore için enerji talebini etkin bir şekilde tahmin etmek için yapay bir sinir ağı modeli önermişlerdir. Söz konusu model, ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı, hata geri yayılım algoritması, momentum süreci ve ölçeklenmiş veriler içeren bir yapıya sahiptir. Model, gayri safi yurtiçi hasıla, ithalat ve ihracat tutarları ve nüfus gibi dört bağımsız değişken içerir. Veriler, çeşitli yerel ve uluslararası kaynaklardan elde edilmiştir. Önerilen modelin, herhangi bir aşırı uyum sorunu olmaksızın doğrusal bir regresyon modelinden veya üstel modelden (kök ortalama karesi hatası (RMSE) açısından) daha iyi tahmin ettiği belirtilmiştir. Sonuçlar, kalıcı olarak büyümek yerine, enerji talepleri belirli noktalarda zirveye çıktığını ve

sonra yavaş yavaş azaldığını, bu eğilimin, regresyon veya üstel model ile elde edilen sonuçlardan oldukça farklı olduğunu göstermiştir [6].

Doğan ve diğ., su kaynaklarının değişkenlerini tahmin etmek için YSA'nın giderek daha fazla kullanıldığını ve ileri beslemeli nöral ağ modelleme tekniği, su kaynakları uygulamalarında en çok kullanılan YSA tipi olduğunu belirterek çalışmalarında biyolojik oksijen talebi (BOT) tahmininin doğruluğunu geliştirmek için YSA modelinin yeteneklerini araştırmışlardır. Bunun için 2001 yılında Melen Havzası'ndaki 11 örnekleme sahasından veriler toplanmıştır. BOT'u tahmin etmek ve bir YSA modeli geliştirmek için mevcut veri seti bir eğitim setine ve bir test setine ayrılmıştır. En uygun miktarda gizli katman düğümüne ulaşmak için, 2, 3, 5, 10 nodları test edilmiştir. Bu aralıkta, 8 girişli ve 3 düğümlü 1 gizli katmanlı olan YSA mimarisi en yüksek performansa sahip olarak elde edilmiştir. Sonuçların karşılaştırması, YSA modelinin BOT tahmini için makul tahminler verdiğini ortaya koymuştur [7].

Karahan, doktora tezinde Malatya şehrinde üretilen kuru kayısı meyvesinin talep miktarını çok katmanlı yapay sinir ağı kullanarak tahmin etme üzerine bir çalışma yapmıştır. Kuru kayısı meyvesinin talep miktarını doğrudan etkileyecek değişkenleri geçmiş talep miktarı bilgileri, ABD doları kur bilgisi (aylık): ortalama ürün satış fiyatı (aylık): satış yapılan pazar sayısı ve mevsimsel faktörler olarak belirlemiştir. Bu faktörler, aynı zamanda modelin girişlerini oluşturmaktadır. Önerilen modelin çıkışı ise, belirlenen tarihteki kuru kayısı talep miktarıdır. Model için 2004-2011 yılları arasındaki toplam 84 aylık veriyi almıştır. Eğitim için 70 ve test için kalan 14 aylık veri miktarını rastgele seçerek çalışmada kullanmıştır. Çalışmanın performansını test etmek için hata ölçüm fonksiyonu olan RMSE kullanmıştır. Modeli kullanarak 2011 yılının ilk 6 ayı talep miktarını tahmin etmiştir. Sonuçlarla, önerdiği modelin performans kalitesinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur [8].

Sönmez ve diğ., Türkiye'nin ulaştırma enerji talebini tahmin etmek için yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak üç farklı matematiksel model önermişlerdir. Parametre olarak, gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus ve toplam yıllık araç-km değişkenleri alınmıştır. Ulaşım enerji talebi tahminleri için doğrusal, üstel ve ikinci dereceden matematiksel ifadeler kullanılmıştır. Eğitim ve test aşamaları için 1970-2013 arasındaki 44 yıllık tarihsel verilerden yararlanılmıştır. Modellerin performansları altı farklı global hata ölçüm yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Geliştirilen modeller, Türkiye'nin ulaştırma enerji talebini 2014'ten 2034'e kadar olan 21 yıllık bir dönemde tahmin etmek için iki olası senaryoda kullanılmıştır. Yapay arı kolonisi algoritması, Türkiye'de ulaştırma enerji planlaması ve politika gelişmeleri için optimizasyon yönteminin uygunluğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, senaryolardan elde edilen sonuçlar, Türkiye'nin enerji talebinin 2034 yılına kadar 2013 yılının iki katı olacağını göstermiştir [9].

Zeng ve diğ., çalışmada, enerji tüketimini tahmin etmek için uyarlamalı diferansiyel evrim algoritması tarafından desteklenen geri yayımlı sinir ağı modeli olan ADE-BPNN adlı hibrit bir akıllı yaklaşımın uygulanmasını amaçlamışlardır. Önerdikleri hibrit model, gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, ithalat ve ihracat verilerini girdi olarak kullanılmaktadır. Adaptif mutasyon ve çaprazlama ile geliştirilmiş bir diferansiyel evrim, BPNN'nin tahmin performansını artırmak için uygun küresel başlangıç bağlantı ağırlıklarını ve eşikleri bulmak için kullanılmıştır. Önerilen ADE-BPNN modelinin uygulanabilirliği ve doğruluğunu ortaya koymak için karşılaştırmalı bir örnek ve iki genişletilmiş örnek kullanılmıştır. Test veri setlerinin hataları, ADE-BPNN modelinin geleneksel geri yayımlı sinir ağı modeli ve diğer popüler mevcut modellerle karşılaştırıldığında enerji tüketimini etkili bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Ayrıca, ABD'deki elektrik enerjisi tüketimi ve Çin'deki toplam enerji tüketimi tahmini ve etkili enerji tüketimi tahmininin iyileştirilmesi için her bir girdi değişkeninin göreceli önemini niceliksel olarak araştırmak üzere ortalama etki değeri bazlı analiz gerçekleştirilmiştir [10].

Moradi ve diğ., doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile kloramin bozulma oranını etkileyen, kimyasal ve mikrobiyolojik faktörlere dayalı olarak tam ölçekli içme suyu kaynaklarında kloramin talebinin tahmin edilmesine olanak sağlayan bir model geliştirmişlerdir. Model, su örneklerinin organik karakterine (spesifik ultraviyole absorbansı (SUVA)) ve kloraminin mikrobiyolojik (Fm) çürütmesine dair bir laboratuvar ölçümüne dayanmaktadır. Kloramin artığının tahmin edilmesi için modelin uygulanabilirliği (ve dolayısıyla kloramin talebi): Avustralya'daki farklı su arıtma tesislerinden gelen çeşitli sularda deneysel ve tahmin edilen veriler arasındaki istatistiksel test analizi ile test edilmiştir. Sonuçlar, modelin gerçek içme suyu sistemlerinde çeşitli zamanlarda kloramin talebini simüle edebildiğini ve tahmin edebildiğini göstermiştir. Avustralya'da üç su kaynağı için modelin kinetik parametreleri olarak tahmin edilen hızlı ve yavaş bozulma oranı sabitlerinin önemi tartışılmıştır. Aynı su kaynağı ile kinetik parametrelerin aynı kaldığı bulunmuştur. Ayrıca, önerilen modelleme yaklaşımının, kloramin dezenfeksiyonunu yönetmek için su arıtma operatörleri tarafından bir karar destek aracı olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir [11].

Ahmed, yaptığı çalışmada, ileri beslemeli bir sinir ağı modeli ve Bangladeş Surma nehrinde biyokimyasal oksijen talebinden ve kimyasal oksijen talebinden çözünmüş oksijeni öngören radyal temel işlevli sinir ağı modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Sinir ağı modeli, üç yıllık bir çalışma sırasında toplanan deneysel veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Giriş kombinasyonları çözünmüş oksijen ile korelasyon katsayısına göre hazırlanmıştır. YSA modellerinin performansı korelasyon katsayısı (R): ortalama karesel hata (MSE) ve etkinlik katsayısı (E) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Surma nehrinin çözünmüş oksijeninin tahmininde YSA modelinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği bulunmuştur. Optimal RBFNN'nin biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacı ile test dizisi tahminleri için MSE = 0.465, E = 0.905 ve R = 0.904 elde edilmiştir. RBFNN ve FFNN ile modellenen değerler deneysel verilerle karşılaştırılarak önerilen sinir ağı modelinin makul sonuçlar verdiğini göstermiştir [12].

Ay ve Kişi, çalışmalarında, çözünmüş oksijen konsantrasyonunu modellemek için çok katmanlı bir perceptron, radyal temel nöral ağ ve iki farklı uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemi yönteminde yer alan ileri kemometrik teknikler geliştirmişlerdir. Ayrıca bu modellerin tahminlerini çoklu doğrusal regresyon ile karşılaştırmışlardır. Bu bağlamda, ABD'de SC Carlisle yakınlarındaki Broad River'da kaydedilen sıcaklık, pH, elektrik iletkenliği, deşarj ve çözünmüş oksijen verilerinin aylık ortalama miktarları kullanılmıştır. Modellerin doğruluğu, determinasyon katsayısı, MSE, MAPE ve RMSE kullanılarak bir değeri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, radyal temelli sinir ağı yönteminin, aylık ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonunu modellemede diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Ayrıca, sıcaklık, pH, elektrik iletkenliği ve deşarjın çözünmüş oksijen konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu bulunmuştur [13].

Khoshravesh, çalışmada, aylık referans

evapotranspirasyon tahmini için diğer iki modelden daha iyi tahminler verdiği ortaya çıkmıştır [14].

### 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

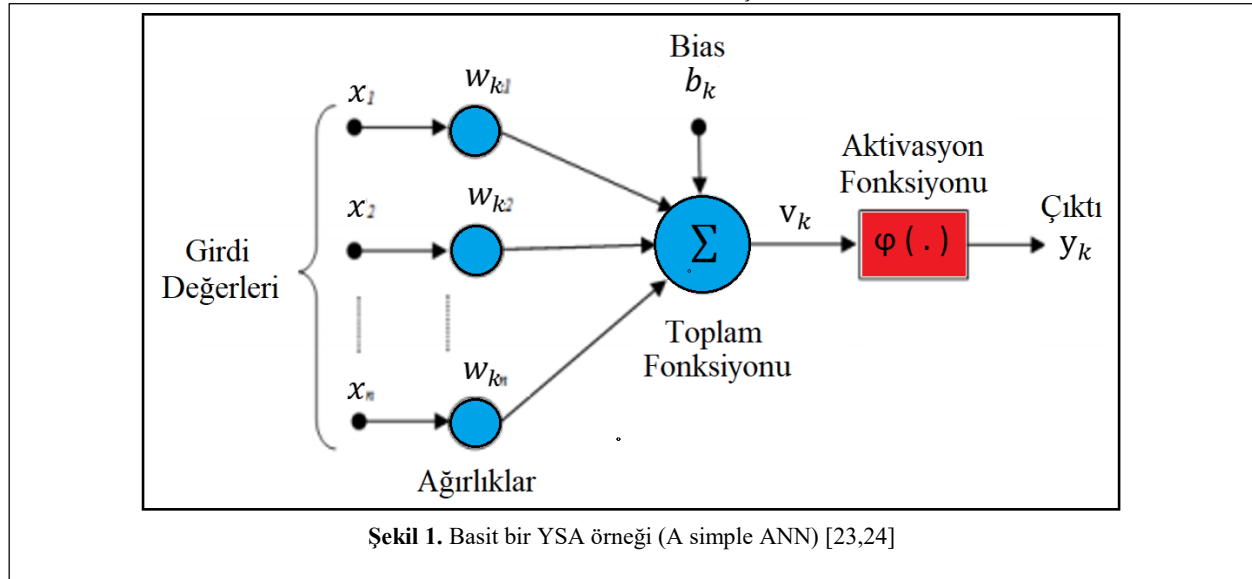
Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle çalışmada kullanılan YSA konusu kısaca açıklanmıştır. Daha sonra sırasıyla, verilerin elde edilmesi, elde edilen verilerin sayısallaştırılması, veriler içerisinde gereksiz veya normalden çok uzak olan verilerin temizlenmesi (gürültüden arındırma): gürültüden arındırılmış verilerin normalize edilmesi ve son olarak tüm veriler belirlenen oranda eğitim ve test olarak ikiye ayrılarak modelin oluşturulması aşamaları adım adım tüm ayrıntılarıyla verilmiştir.

#### 3.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

YSA, biyolojik sinir hücresi (nöron) yapısı dikkate alınarak modellenen ve süreç içerisinde kendi kendine öğrenme yeteneğine sahip bir algoritmadır. YSA, robot teknolojisi, desen tanıma, tıp, güç sistemleri, sinyal işleme, tahmin ve özellikle sistem modelleme gibi birçok farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir [15-22]. Basit bir YSA örneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de görülen YSA modeli, matematiksel olarak Eşitlik 1'deki gibi tanımlanabilir.

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j$$

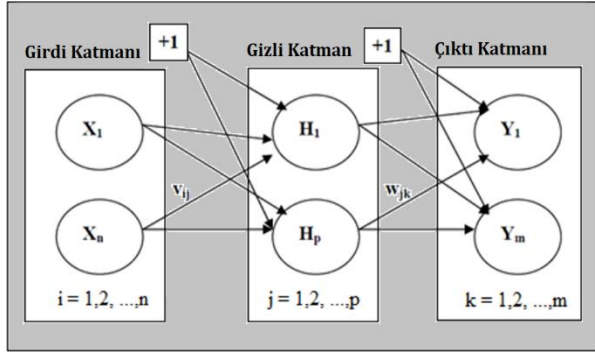


evapotranspirasyonu, Ardestan, Esfahan ve Kashan'da çok değişkenli fraksiyonel polinom (MFP): sağlam regresyon ve Bayes regresyon gibi üç farklı regresyon modeli ile tahmin edilmiştir. Sonuçlar en iyi modeli seçmek için Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) -Penman – Monteith (FAO-PM) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, aylık olarak tüm modellerin FAO-PM ( $R^2 > 0.95$  ve  $RMSE < 12.07$  mm ay<sup>-1</sup>) için hesaplanan değerler ile daha yakın bir anlaşma sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, MFP modeli, tüm istasyonlarda referans

$$\begin{aligned} y_k &= \varphi(u_k + b_k) \\ v_k &= u_k + b_k \\ y_k &= \varphi(v_k) \end{aligned} \quad (1)$$

YSA, nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmelerinden oluşmaktadır [23,25]. Ayrıca, kendisine verilen çeşitli örnek verilerden çıkarım veya genelleme yaparak öğrenir ve böylece yeni bilgiler türetebilir. YSA tekniği, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılır. Veriler, eğitim ve test kümesi olarak ikiye bölünür. Eğitim sürecinin amacı, sinir

ağındaki ağırlıkları ayarlayarak hata düzeyini düşürmek veya minimize etmektir. Bu süreç, amaçlanan çıktı elde edilinceye kadar devam eder. Eğitim işleminin performans düzeyi, eğitim esnasında kullanılmayan verilerin sinir ağında test edilmesiyle elde edilir [26-30]. Ağı eğitiminde, ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı mimarisi etkilidir. İleri beslemeli sinir ağı, modelin girdi katmanından çıktı katmanına doğru tek yönde ilerlemektedir. İleri beslemeli YSA modeli, öncelikle girdi katmanı, daha sonra bir veya iki gizli katman ve son olarak çıktı katmanından oluşmaktadır (Şekil 2) [31-33].



Şekil 2. İleri beslemeli YSA (Feed forward ANN)

Ağın eğitimi, her bir katmanda yer alan nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarının düzenlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlem, Eşitlik 2’de sunulan hata fonksiyonu ile gerçekleştirilir [33,34] ( $d_j$ : hedeflenen sonuç,  $o_j$ : gerçekleşen sonuç).

$$E^p = \frac{1}{2} \sum_j (d_j^p - o_j^p)^2 \quad (2)$$

Eşitlik 3’te verilen hata fonksiyonunun farkı, ağırlıkların yeniden düzenlenmesi için kullanılmaktadır.

$$\Delta^p w_{ji} = -\eta \cdot \left( \frac{\partial E^p}{\partial w_{ji}} \right) \quad (3)$$

Bu denklemde,  $\eta$  sabiti (öğrenme oranı) için herhangi bir değer atanabilir. Ağırlıkların yeniden düzenlenmesi için Eşitlik 4 kullanılır.

$$w_{ij}(t+1) \cong w_{ij}(t) + \eta \cdot \delta_j \cdot i_j \quad (4)$$

Bu denklemde,  $w_{ij}(t)$ : ağırlık,  $i_j$ :  $i$  düğümünün sonuç değeri veya  $\delta_j$ :  $j$  düğümünün hata terimidir. Çıktı katmanındaki düğüm için hata: ( $\delta_j$ );

$$\delta_j \cong o_j \cdot (1 - o_j) \cdot (d_j - o_j) \quad (5)$$

formülüyle hesaplanır.  $j$  düğümü bir gizli düğüm olmak üzere hata terimi ( $\delta_j$ ) (Eşitlik 6);

$$\delta_j \cong o_j \cdot (1 - o_j) \cdot \sum_k \delta_k \cdot w_{jk} \quad (6)$$

Ağırlık değişimleri, herhangi bir “moment” teriminin ( $\alpha$ ) eklenmesi ile revize edilebilir.

$$w_{ij}(t+1) \cong w_{ij}(t) + \eta \cdot (d_j - o_j) \cdot i_j + \alpha \cdot (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)) \quad (7)$$

### 3.2. Verilerin Elde Edilmesi ve Hazırlanması (Obtaining and Preparing of the Data)

Veriler, günlük yemek çıkararak ve farklı kademelerde görev alan 110 kişilik bir personel kapasitesine sahip özel bir işletmenin yemekhane veritabanından elde edilmiş olup son 2 yıllık (2016-2018) toplam 730 satır veriyi kapsamaktadır. Ancak, bu veriler içerisinde normalden çok uzak veya eksik veri olan kayıtlar (toplam 180 satır) bulunduğu için modelin oluşturulmasında geriye kalan 550 satırlık veri kullanılmıştır. İşletme adı, kurum mahremiyeti açısından çalışma içerisinde “ABC” olarak verilmiştir.

### 3.3. Modelin Oluşturulması (Creating of the Model)

Modeli oluşturmadan önce, girişleri oluşturan başlıklar belirlenmiştir. Yemek hizmeti veren ABC işletmesinin günlük menüsünde Çorba, Ana Yemek, Ek Yemek, Ek Yardımcı Yemek ve İçecek olmak üzere beş (5) çeşit yemek bulunmaktadır. Menüde yer alan her bir yemeğin adı ve sayısı Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. İşletmedeki menüler ve çeşit sayıları (Menus in the business and number of kinds)

Sıra No	Ana Menü Adı	Alt Menü Adı	Çeşit
1	Çorba	Mercimek Çorbası, Ezogelin Çorbası, Domates Çorbası, Yayla Çorbası, Şehriye Çorbası, Tarhana Çorbası, Erişte Çorbası, Ayran Aşı Çorbası, Brokoli Çorbası,	9
2	Ana Yemek	Kuru Fasulye, Bamya, Sulu Köfte, Sebze Dolması, Manti, Türlü, Patlıcan Musakka, Tavuk Pirzola, Çiftlik Kebabı, Kadın Budu Köfte Patates, Pürelili Dana Rostu, Güveç, Ispanak, Balık	14
3	Ek Yemek	Pirinç Pilavı, Bulgur Pilavı, Makarna, Su Böreği	4
4	Ek Yardımcı Yemek	Salata, Tathı, Turşu, Meyve	4
5	İçecek	Su, Ayran, Kola, Soda,	4

Model oluşturulurken günlük talebi ve tahmin sonucunu etkileyeceği düşünülen faktörler özellikle dikkate alınmıştır. Bu faktörler; Çorba, Ana Yemek, Ek Yemek, Ek Yardımcı Yemek, İçecek, Haftanın Günü (Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma, Cumartesi, Pazar): Resmi Tatil (Var, Yok) ve Mevsim (Sonbahar, Kış, İlkbahar, Yaz) olarak belirlenmiştir. Böylece, model sekiz (8) girişten oluşmaktadır.

#### Verilerin normalize edilmesi (Normalizing of the data)

YSA modeli oluşturulmadan önce, gereksiz veri tekrarını önlemek, verileri 0-1 bandında sınırlamak ve böylece oluşturulacak olan YSA modelinin performansını arttırmak amacıyla veriler normalize edilmiştir. Bu çalışmada, elde edilen veriler, öncelikle sayısallaştırılmıştır (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Menülerin sayısallaştırılması ve normalize değerleri (Digitalization of menus and their normalized values)

Sıra No	Ana Menü Adı	Alt Menü Adı	Değer	Normalize Edilmiş Değer
1	Çorba	Mercimek Çorbası	1	0
		Ezogelin Çorbası	2	0,125
		Domates Çorbası	3	0,25
		Yayla Çorbası	4	0,375
		Şehriye Çorbası	5	0,5
		Tarhana Çorbası	6	0,625
		Erişte Çorbası	7	0,75
		Ayran Aşı Çorbası	8	0,875
		Brokoli Çorbası	9	1
2	Ana Yemek	Kuru Fasulye	1	0
		Bamya	2	0,076923
		Sulu Köfte	3	0,153846
		Sebze Dolması	4	0,230769
		Mantı	5	0,307692
		Türlü,	6	0,384615
		Patlıcan Musakka	7	0,461538
		Tavuk Pirzola	8	0,538462
		Çiftlik Kebabı	9	0,615385
		Kadın Budu Köfte Patates	10	0,692308
		Pürelü Dana Rosto	11	0,769231
		Güveç	12	0,846154
		Ispanak	13	0,923077
		Balık	14	1
3	Ek Yemek	Pirinç Pilavı	1	0
		Bulgur Pilavı	2	0,333333
		Makarna	3	0,666667
		Su Böreği	4	1
4	Ek Yardımcı Yemek	Salata	1	0
		Tatlı	2	0,333333
		Turşu	3	0,666667
		Meyve	4	1
5	İçecek	Su	1	0
		Ayran	2	0,333333
		Kola	3	0,666667
		Soda	4	1

Çizelge 3'te verilen değerler, Çizelge 2'deki gibi herbir alt menünün sırasıyla numaralandırılması (sayısallaştırılması) ve daha sonra bu değerlerin normalize edilmesi sonucu elde edilmiştir. Bu noktada, normalize sürecinde min-max yöntemi kullanılmıştır. Burada,  $v_R$  girdinin gerçek değerini,  $v_{min}$  minimum girdi

değerini,  $v_{max}$  ise maksimum girdi değerini ifade etmektedir (Eşitlik 8) [19,33,34].

$$V_n = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (8)$$

Normalize edilen eğitim ve test verilerinin bir kısmı Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Verilerin bir kısmı (Part of the data)

Veri Tipi	Çorba	Ana Yemek	Ek Yemek	Ek Yardımcı Yemek	İçecek	Haftanın Günü	Resmi Tatil	Mevsim	Talep Miktarı
Eğitim Verisi	0,0000	0,1538	0,3333	0,0000	0,3333	0,5000	1,0000	0,6667	0,7222
	0,0000	0,0769	0,3333	0,6667	0,6667	0,8333	0,0000	0,0000	0,0000
	0,1250	0,5385	0,6667	0,3333	0,0000	1,0000	1,0000	0,3333	0,6111
	0,5000	0,4615	1,0000	0,3333	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,9444
	1,0000	0,2308	0,3333	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,6667	0,9074
	0,0000	0,3846	0,0000	0,0000	0,3333	0,5000	1,0000	0,6667	0,7037
	0,1250	0,6154	0,6667	0,3333	0,3333	0,1667	1,0000	0,3333	0,5463
	0,2500	0,7692	0,6667	0,6667	0,3333	0,1667	0,0000	0,6667	0,0000
	0,5000	0,3077	0,6667	0,3333	0,3333	0,1667	1,0000	0,0000	0,8889
	0,6250	0,5385	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	1,0000	1,0000	0,8056
Test Verisi	0,8750	0,4615	0,0000	0,3333	1,0000	0,1667	0,0000	0,3333	0,0000
	0,0000	0,8462	1,0000	0,3333	0,3333	0,5000	1,0000	0,6667	0,9167
	0,3750	0,0000	0,3333	0,3333	1,0000	0,3333	1,0000	0,6667	0,7963
	0,5000	0,0000	0,6667	0,3333	0,3333	0,0000	1,0000	0,3333	0,7222
	1,0000	0,9231	0,6667	0,3333	0,3333	0,0000	1,0000	0,3333	0,7407
	0,8750	0,6923	0,0000	0,6667	0,3333	0,5000	1,0000	0,6667	0,8889
	0,5000	0,6154	0,3333	0,0000	0,3333	0,1667	1,0000	1,0000	0,7685
	0,0000	0,5385	0,3333	0,6667	1,0000	0,3333	1,0000	0,6667	0,9259
	0,7500	0,3846	0,0000	0,3333	0,6667	0,0000	1,0000	0,0000	0,8333
	0,5000	0,0000	0,6667	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	0,7963



**Eğitim ve test süreci** (*The training and testing process*)

Veriler normalize edildikten sonra eğitim ve test işlemine geçilmiştir. Bu işlemler, MATLAB paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gürültülü veriler temizlendikten sonra elde edilen toplam 550 adet gerçek veri içerisinde rastgele belirlenen %70'lik kısmı eğitim, %30'luk kısmı ise test için ayrılmıştır. Daha sonra eğitim ve test süreçleri uygulanmıştır. Önerilen modeli oluşturmak için farklı şekillerde birçok deneme yapılmıştır. Denemeler sonucunda, en iyi model (yüksek

katmana sahip olduğunda tam tersi hata oranının düştüğü görülmektedir. Buna ilaveten, iki gizli katman olmasına rağmen gizli katmanda yer alan nöron sayısı artırıldığında da sinir ağı modelinin performansının önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu durum, modelin ya ezberlediğine veya öğrendiğini unuttuğuna işaret eder.

Veriler eğitildikten sonra yapılan denemeler sonucunda en iyi model; eğitim R oranı: 0,9948, test R oranı: 0,9830 ve hata oranı ise 0,003783 olup çok katmanlı bir yapıya

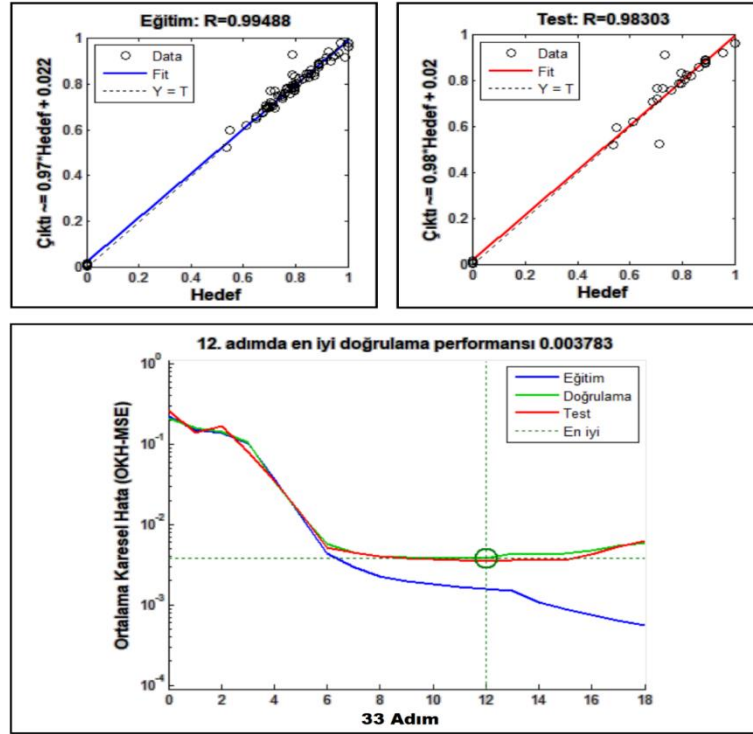
**Çizelge 4.** Farklı modeller ve performans sonuçları (Different models and performance results)

No	Model	Eğitim Fonksiyonu	Aktivasyon Fonksiyonu	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Performans Kriterleri		
						Eğitim R Oranı	Test R Oranı	Ortalama Karesel Hata
1	8-5-1	trainlm	Logsig-Tansig	1	5	0,9675	0,8414	0,06
2	8-5-1	trainlm	Tansig- Tansig	1	5	0,9681	0,8580	0,05
3	8-5-5-1	trainlm	Logsig-Logsig-Tansig	2	5-5	0,9789	0,9581	0,04
4	8-5-5-1	trainlm	Logsig-Tansig Tansig	2	5-5	0,9807	0,9516	0,03
5	8-10-5-1	trainlm	Logsig-Logsig-Tansig	2	10-5	0,9885	0,9722	0,02
6	8-10-5-1	trainlm	Logsig-Tansig Tansig	2	10-5	0,9847	0,9686	0,02
7	8-10-10-1	trainlm	Logsig-Logsig-Tansig	2	10-10	0,9948	0,9830	0,003
8	8-10-10-1	trainlm	Logsig-Tansig Tansig	2	10-10	0,9890	0,9858	0,004
9	8-10-15-1	trainlm	Logsig-Logsig-Tansig	1	5	0,9745	0,9601	0,04
10	8-10-15-1	trainlm	Logsig-Tansig Tansig	1	5	0,9708	0,9658	0,03

R ve düşük hata oranı) belirlenmiştir. Söz konusu denemelerden elde edilen bulguların bir kısmı Çizelge 4'te verilmiştir.

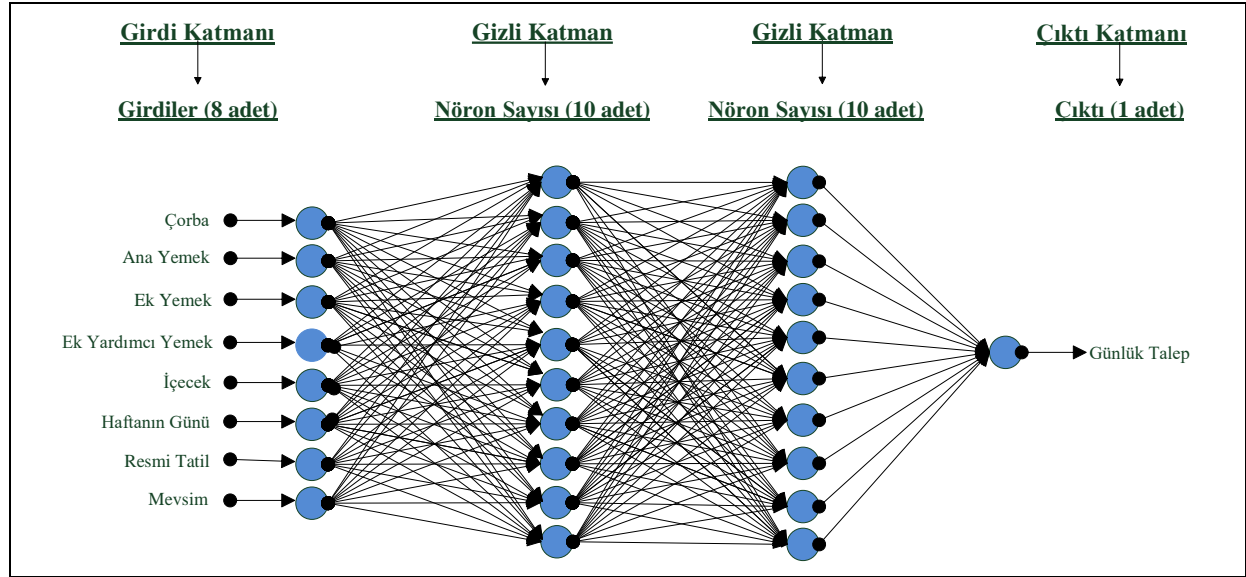
Çizelge 4 incelendiğinde, model tek gizli katmanlı iken oldukça düşük performansa sahip olduğu, ancak iki gizli

(8-10-10-1) sahiptir. Elde edilen değerler, modelin ezberleme durumunun ve performans düzeyinin ölçülmesi için test verileri ile test edilmiştir. Belirlenen modelin eğitim-test R değerleri ve hata grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Modelin eğitim ve test R değerleri ve hata grafiği (Training and testing R values and error graph of the model)

Çok katmanlı bir yapıya sahip olan YSA modeli Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen YSA modeli (Suggested ANN model)

Model oluşturulduktan sonra test verileri kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçları modelin yüksek performansa sahip ve hata oranının oldukça düşük olduğunu ortaya koymuştur. Test edilen modelin deney sonuçları 4. bölümde verilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Model belirlendikten ve ayrıntıları verildikten sonra performansı ölçülerek sonuçlar analiz edilmiştir.

#### DeneySEL Sonuçları (Experimental Results)

Önerilen ağ yapılarının tahmin performanslarını ölçmek için literatürde yaygın olarak Ortalama Mutlak Yüzde Hata-MAPE (Eş.9): Ortalama Karesel Hata-MSE (Eş.10) ve Mutlak Değişim Yüzdesi-R<sup>2</sup> (Eş.11) formülleri kullanılmaktadır. Burada, Eşitlik 9-10'dan düşük; Eşitlik 11'den ise yüksek bir değer elde edilmesi tercih edilmektedir [33,35-37]

$MAPE = \frac{1}{T} \sum \left  \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right  \times 100 \quad (9)$	$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (10)$	$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_t (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_t (\hat{y}_t)^2} \right) \quad (11)$
$(\hat{y}_t = \text{Gerçek değerler}, y_t = \text{Tahmin değerleri}, T = \text{Tahmin sayısı})$		

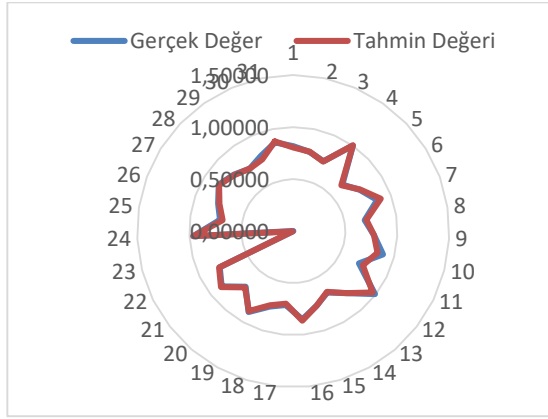
Model (8-10-10-1): 2018 yılının Ocak ayına ait gerçek veriler kullanılarak test edilmiştir. Modelin tahmin performansı, Eşitlik 9-11 arasındaki formüller kullanılarak ölçülmüştür. Deney sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde, çalışmanın ortalama 0,701275'lik bir oranla MAPE, 0,000322'lik bir oranla MSE ve 99,29'luk bir oranla R<sup>2</sup> değerleri ile yüksek performans oranları elde edilmiştir. Modelden elde

**Çizelge 5.** Deney sonuçları (The results of the experiment)

No	Gerçek Değer	Tahmin Değeri	MAPE	MSE	R <sup>2</sup>
1	0,81481	0,80399	0,59647	0,00012	99,40353
2	0,77778	0,78001	0,12556	0,00000	99,87444
3	0,73148	0,72856	0,16873	0,00001	99,83127
4	1,00000	1,00420	0,21000	0,00002	99,79000
5	0,64815	0,63916	0,54535	0,00008	99,45465
6	0,75000	0,75560	0,32000	0,00003	99,68000
7	0,86111	0,89687	1,92137	0,00128	98,07863
8	0,69444	0,71025	0,93279	0,00025	99,06721
9	0,77778	0,77580	0,11125	0,00000	99,88875
10	0,88889	0,83520	2,84235	0,00288	97,15765
11	0,70370	0,74510	2,42978	0,00171	97,57022
12	0,99074	0,96580	1,25284	0,00062	98,74716
13	0,78704	0,78450	0,14197	0,00001	99,85803
14	0,67593	0,66890	0,41923	0,00005	99,58077
15	0,75000	0,74890	0,06286	0,00000	99,93714
16	0,85185	0,86540	0,73160	0,00018	99,26840
17	0,71296	0,70010	0,75092	0,00017	99,24908
18	0,75926	0,74590	0,75937	0,00018	99,24063
19	0,88889	0,88000	0,47059	0,00008	99,52941
20	0,70370	0,71200	0,48696	0,00007	99,51304
21	0,87037	0,87630	0,31703	0,00004	99,68297
22	0,78704	0,79540	0,46798	0,00007	99,53202
23	0,00000	0,00500	0,50000	0,00002	99,50000
24	0,96296	0,95986	0,15808	0,00001	99,84192
25	0,71296	0,68750	1,48649	0,00065	98,51351
26	0,76852	0,75841	0,57158	0,00010	99,42842
27	0,84259	0,83950	0,16784	0,00001	99,83216
28	0,78704	0,78100	0,33782	0,00004	99,66218
29	0,73148	0,73155	0,00396	0,00000	99,99604
30	0,78704	0,75200	1,96062	0,00123	98,03938
31	0,87037	0,87950	0,48812	0,00008	99,51188
<b>Ortalama</b>			0,701275	0,000322	99,29

edilen gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, deney süreci içerisinde gerçek proje verileri kullanılarak model ile elde edilen tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlarla büyük ölçüde örtüştüğü ve hata oranlarının da çok düşük (sıfıra yakın) olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of real and predicted values)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, işletmelerde üretilen yemek miktarını veya personel talebini yapay sinir ağları kullanılarak tahmin eden bir model önerilmiştir. Önerilen model, gerçek verilerle test edilmiş ve sonuçları verilmiştir. Deney sonuçları, analizler ve karşılaştırmalar, önerilen YSA modelinin yüksek doğrulukta tahminler gerçekleştirebildiğini, dolayısıyla modelin performans bakımından oldukça iyi olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu noktada, model belirlenirken gizli katmandaki nöron sayısının çok düşük veya çok yüksek belirlendiği durumlarda modelin performansının düştüğü, hata oranı da önemli düzeyde yükseldiği görülmüştür. Bu durum, modelin ezberlediğine veya öğrendiğine unuttuğuna işaret olarak gösterilebilir.

Bu bağlamda, YSA ile oluşturulan tahmin modellerinin etkili sonuçlar vermesine karşın, geleneksel metotlar ile bulunan deney sonuçları YSA'yı desteklemede yardımcı olarak kullanılabilir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, özellikle model oluşturulurken hibrid yaklaşımlar kullanılabilir. Çalışmanın, işletmeler veya kurumlar için gereğinden fazla harcanacak emeğin, paranın ve zamanın önüne geçmek veya en azından bu faktörleri minimize etmek için önemli bir uygulama örneği olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kılıç G., "Yapay Sinir Ağları İle Yemekhane Günlük Talep Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).
- [2] Bulut Ş., "Orta Ölçekli Bir İşletmede Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi,

*Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kırıkkale, (2006).

- [3] Karaatlı M., Helvacıoğlu Ö. C., Ömürbek N., & Tokgöz G., "Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Otomobil Satış Tahmini", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 8(17): 87-100, (2012).
- [4] Aydınalp-Koksal M., & Ugursal V. I. "Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector", *Applied Energy*, 85(4): 271-296, (2008).
- [5] Murat Y. S., & Ceylan H., "Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling", *Energy policy*, 34(17): 3165-3172, (2006).
- [6] Geem Z. W., & Roper W. E., "Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network", *Energy policy*, 37(10): 4049-4054, (2009).
- [7] Dogan E., Sengörür B., & Koklu R., "Modeling biological oxygen demand of the Melen River in Turkey using an artificial neural network technique", *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1229-1235, (2009).
- [8] Karahan M., "Yapay Sinir Ağları Metodu ile Ürün Talep Tahmini", Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Ens. İşletme Anabilim Dalı*, Konya, (2011).
- [9] Sonmez M., Akgüngör A. P., & Bektaş S., "Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm", *Energy*, 122, 301-310, (2017).
- [10] Zeng Y. R., Zeng Y., Choi B., & Wang L., "Multifactor-influenced energy consumption forecasting using enhanced back-propagation neural network", *Energy*, 127, 381-396, (2017).
- [11] Moradi S., Liu S., Chow C. W., van Leeuwen J., Cook D., Drikas M., & Amal R., "Chloramine demand estimation using surrogate chemical and microbiological parameters", *Journal of Environmental Sciences*, 57, 1-7, (2017).
- [12] Ahmed A. M., "Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs)", *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(2): 151-158, (2017).
- [13] Ay M., & Kişi Ö., "Estimation of dissolved oxygen by using neural networks and neuro fuzzy computing techniques", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5): 1631-1639, (2017).
- [14] Khoshravesh M., Sefidkouhi M. A. G. & Valipour M., "Estimation of reference evapotranspiration using multivariate fractional polynomial, Bayesian regression, and robust regression models in three arid environments", *Applied Water Science*, 7(4): 1911-1922, (2017).
- [15] Dogan H., Atik K., "Providing Persistence in Comfort Conditions by the Application of Artificial Neural Networks to Air-Conditioning Systems", *Technology*, 7(2): (2004).
- [16] Ataman F., Kaynak T., Yüncü S., "Analysing of Solutions Containing Artificial Intelligence Through System Modeling on Computer", *Electrical, Electronic and Computer Engineering 8th National Congress*, s.677, Gaziantep, (1998).

- [17] Demir Y., Tuntaş R., Köksal M., “Analysis of Switched Circuit with Neural Networks”, *Electrical and Computer Engineering 8th National Congress*, s 673, Gaziantep, (1998).
- [18] Kalogirou S. A., Bojic M., “Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building”, *Energy*, 25(5): 479-491, (2000).
- [19] Bayram S., Kaplan K., Kuncan M., Ertunç H. M., “Ball Bearings space of time Statistical Feature Extraction and Neural Networks with Error Estimation Method Size”, *Automatic Control National Meeting*, TOK2013, Malatya, 26-28 September, (2013).
- [20] Sahin I., “Estimation of Surface Roughness of Al/Sic Composite Material with Artificial Neural Networks”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(1): 209-216, (2014).
- [21] Ozdemir V., “Determination of Turkey's Carbonization Index Based on Basic Energy Indicators by Artificial Neural Networks”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(1): 9-15, (2011).
- [22] Eker M., Dikmen M., Cambazoglu S., Duzgun S. H. and Akgun H., “Application of Artificial Neural Network and Logistic Regression Methods to Landslide Susceptibility Mapping and Comparison of the Results for the Ulus District”, *Bartın Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1): 163-173, (2012).
- [23] Karahan M., “A Case Study on Forecasting of Tourism Demand With Artificial Neural Network Method”, *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 20(2): 195-209, (2015).
- [24] Efendigil T., Önüt S., & Kahraman C., “A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis”, *Expert Systems with Applications*, 36(3): 6697-6707, (2009).
- [25] Yıldız B., “Using Artificial Neural Network for Estimation of Financial Failure and an Empirical Application in Public Companies”, *Journal of IMKB*, 5(17): 51-67, (2001).
- [26] Neseli S., Tasdemir S. and Yaldız S., “Estimation of surface roughness on turning with Artificial Neural Network”, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskisehir Osmangazi University*, XXII, 3, 65-75, (2009).
- [27] Kalogirou S. A., “Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 29(6): 515-566, (2003).
- [28] Findık T., Taşdemir Ş. & Şahin I., “The use of artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders”, *Scientific Research and Essays*, 5(11): 1274-1283, (2010).
- [29] Askin D., Iskender I. & Mamizadeh A., “Dry type transformer winding thermal analysis using different neural network methods”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(4): 905-913, (2011).
- [30] Karataş C., Sozen A. & Dulek E., “Modelling of residual stresses in the shot peened material C-1020 by artificial neural network”, *Expert Systems with Applications*, 36(2): 3514-3521, (2009).
- [31] Hamzacebi C. & Kutay F., “Electric Consumption Forecasting of Turkey Using Artificial Neural Networks Up to Year 2000”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 19(3): 227-233, (2004).
- [32] Huang J., Li Y. F. & Xie M., “An empirical analysis of data preprocessing for machine learning-based software cost estimation”, *Information and Software Technology*, 67: 108-127, (2015).
- [33] Calp M. H., “Yazılım Projeleri İçin Yapay Zekâ Tabanlı Risk Yönetimi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri A.B.D.*, (2017).
- [34] Erdal H., “Contribution of Machine Learning Methods to the Construction Industry: Estimation of Compressive Strength”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(3): 109-114, (2015).
- [35] Turhan C., Akkurt G.G., Kazanasmaz T., “Predicting with Artificial Neural Networks Total Energy Consumption of High Rises in Izmir”, *Journal of Installation Engineering*, Vol: 134 , 61-68, (2013).
- [36] Özkan M. T., Eldem C., & Köksal E., “Notch Sensitivity Factor Determination with Artificial Neural Network for Shafts under the Bending Stress”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 19(1): 24-32, (2013).
- [37] Gandomi H. & Roke D. A., “Assessment of artificial neural network and genetic programming as predictive tools”, *Advances in Engineering Software*, 88: 63-72, (2015)



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Investigating some classification methods to evaluate efficiency results: A case study by using conjoint analysis

*Etkinlik sonuçlarının değerlendirilmesi için bazı sınıflama yöntemlerinin incelenmesi: Konjoint analizi kullanarak bir örnek çalışma*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Ezgi NAZMAN<sup>1</sup>, Hülya OLMUŞ<sup>2</sup>, Semra ERBAŞ<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-0189-3923

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-8983-708X

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-9023-3400

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Nazman E., Olmuş H. Ve Erbaş S., “Etkinlik sonuçlarının değerlendirilmesi için bazı sınıflama yöntemlerinin incelenmesi: Konjoint analizi kullanarak bir örnek çalışma”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 687-694, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.459097

# Investigating Some Classification Methods to Evaluate Efficiency Results: A Case Study by Using Conjoint Analysis

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Ezgi NAZMAN\*, Hülya OLMUŞ, Semra ERBAŞ**

Gazi University Faculty of Science, Department of Statistics, Ankara, Turkey

(Geliş/Received : 03.05.2018 ; Kabul/Accepted : 27.07.2018)

## ABSTRACT

A new product development is an important step of competitive advantage for producers. There are several issues to be considered during developing a new product from the point of view of both customers and producers. Customer preferences require a great deal of consideration in order to be able to address consumer needs in marketing. Conjoint Analysis (CA) is often preferred to reveal utility of the new product by means of customer preferences order on a certain type of product or service which is widely used to reveal how people value different attributes on a new product concept. On the other hand, Data Envelopment Analysis (DEA) can be used to determine efficient product concepts considering both utility and development expenses of the products. In this study, CA was applied with the aim of determining utilities of new car concepts. Then, DEA was used to reveal efficient and inefficient car concepts on a real data set. Finally, most commonly used classification methods Linear Discriminant Analysis (LDA), binary Logistic Regression (LR) and Artificial Neural Networks (ANN) were compared to validate the results of DEA in terms of accuracy.

**Keywords:** Conjoint analysis, data envelopment analysis, linear discriminant analysis, binary logistic regression, artificial neural networks.

# Etkinlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi İçin Bazı Sınıflama Yöntemlerinin İncelenmesi: Konjoint Analizi Kullanarak Bir Örnek Çalışma

## ÖZ

Yeni bir ürünün geliştirilmesi, üreticiler için rekabet avantajının önemli bir adımudur. Yeni bir ürün geliştirme süresince, tüketiciler ve üreticilerin her ikisi açısından da dikkate alınması gereken birçok konu vardır. Tüketici tercihleri, pazarlamada tüketici ihtiyaçlarını karşılayabilmek için dikkat gerektirmektedir. Konjoint Analizi (KA), belli bir ürün ya da servis üzerinde tüketici tercihlerinin aracılığı ile yeni bir ürünün faydasını ortaya çıkarmak için sık sık tercih edilmektedir. Öte yandan, Veri Zarflama Analizi (VZA) ürünlerin faydası ve geliştirme masraflarının her ikisini de dikkate alarak etkin ürün konseptlerini belirlemek için kullanılabilir. Bu çalışmada, yeni araba konseptlerinin faydalarını belirlemek amacıyla Konjoint Analizi uygulandı. Daha sonra, gerçek bir veri seti üzerinde, etkin ve etkin olmayan araba konseptlerini belirlemek için VZA kullanıldı. Son olarak, en yaygın sınıflama yöntemlerinden Lineer Diskriminant Analizi (LDA), ikili Lojistik Regresyon (LR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) doğruluk bakımından VZA sonuçlarının geçerliliğini incelemek için karşılaştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Konjoint analizi, veri zarflama analizi, lineer diskriminant analizi, ikili lojistik regresyon, yapay sinir ağlar

## 1. INTRODUCTION

New product development is one of the most important processes for a company that is willing to increase both profit and competitiveness in market. Global competition, rapid technology change and shifting market opportunities in the world compel companies to invest in a new product that will ensure long-term growth and prosperity [1,2]. Although the new products open up new opportunities for companies, the substantial risk associated with these products should not be neglected. Empirical studies have pointed high

failure rates of the new products, especially in consumer markets [3,4].

The degree of success or failure of a specific product is able to be measured through the acceptance of the new product [5]. This acceptance derives from the perceived value that a potential customer associates with the benefits delivered by the new product. A successful product can be mentioned as the product that has high perceived value from the point of view of the customer. However, a successful product from the point of view of customer might not be successful product from the point of view of the company to produce. Delightness of customers should not be taken as only factor which makes the new product successful, since the company

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ezgicabuk@gazi.edu.tr

develop these new products to make profit [6,7]. Thus, aim of the study is to take in consideration Conjoint Analysis (CA) with Data Envelopment Analysis (DEA) in order to deal with both customer preferences and company expenses.

An integrated approach for the evaluation and selection of the new product concepts using CA and DEA was suggested by [8]. The method consists of four main steps: Get product concepts, estimate the development expenses, determine the utility of the new product concepts, evaluate the efficiency of the product concepts. Their study suggests that development team determine all possible product concepts. However, determination of all possible concepts by development team might not be always possible because of the high number of attributes and levels of attributes. Besides, this evaluation process neglects the randomness of the design concepts. Therefore, we considered orthogonal main effects plan in order to determine possible concept cards randomly in this study. Decision Making Units (DMUs) can be classified into two different main groups as efficient and inefficient according to their efficiency scores by using DEA. The classification results obtained by DEA as efficient and inefficient can be evaluated since these two groups will be a guide by using Linear Discriminant Analysis (LDA), binary Logistic Regression (LR) and Artificial Neural Networks (ANN) in the next step. Therefore, we compared the validation of the DEA results by using most commonly used classification methods LDA, LR and ANN.

In this study, brand, price, equipment, engine type, engine size, fuel consumption, gear type, car type and colour were considered as nine car attributes, then utilities of each car concepts were computed by using CA. Thereafter, efficient and inefficient car concepts were determined by using DEA where production and selling expenses are inputs and utility of each car concept is output. Then obtained results were evaluated with the help of accuracy by using LDA, LR and ANN. In addition, sensitivity, specificity to evaluate accuracy results, which statistically measure the performance of the test, were computed after LDA, LR and ANN were applied. In Section 2, the steps of the our method were introduced. The application study was explained in Section 3. Then, conclusions were made in Section 4.

## 2. MATERIAL and METHOD

Determining efficient product concepts is our aim of the study. In this respect, we considered the rating based CA by using orthogonal main effects plan to create possible car concepts. The steps of our methodology are as follow:  
**Step I: Get product concepts by using orthogonal main effects plan**

CA is an applicable multivariate statistical method revealing utility of the products with multiple attributes which can be decomposed into specific contributions of each attribute and possibly their interactions. CA is mainly separated as rating based and choice based method [9]. Product concepts are able to be obtained by

four different ways in rating based CA: full factorial design, fractional factorial design, orthogonal main effects plan, incomplete block design. Orthogonal main effects plan is one of the widely used particular type of fractional factorial design with some desirable properties. There are several advantages associated with orthogonal designs. First, these designs are parsimonious. Second, they enable estimation of all main effects of attributes in CA. These stimulus set construction designs can be blocked so that each individual receives a balanced subset of profiles. In the literature a good representative number of concepts is determined as at least 16 [9]. 32 product concepts were generated according to the orthogonal main effects plan in this study.

### **Step II: Determine the utilities of the new product concepts**

Utilities of the new product concepts are determined using CA. This method can be used to obtain the consumer utilities for various aspects of multiple attributes stimuli on existing or new products [10]. CA is widely applicable method, especially in marketing research in order to measure the utility that a consumer associates with a new product concept [11,12,13].

The additive conjoint model is shown in Equation (1)

$$y_j = U_1(x_{j1}) + U_2(x_{j2}) + \dots + U_r(x_{jr}) + Error \quad (1)$$

where  $U_t(\cdot)$  is the component utility function specific to the  $t$  th attribute and  $x_{jt}$  is the level for the  $j$  th profile on the  $t$  th attribute [9]. No constant term is specified, but it could be included in any one of the component utility functions or assumed to be zero without any loss of generality. The form of these functions varies with respect to the scale used for the attributes.

The potential customers were requested to rank their preferences according to the orthogonal main effects plan before CA was applied. Then, the utilities of each product concepts were determined with the help of customer preference order.

### **Step III: Estimate the development expenses (production&selling expenses)**

Cost estimation techniques can be classified into qualitative and quantitative techniques [14]. Qualitative cost estimation techniques utilize past historical cost data and expert experience to estimate project costs subjectively. Since relevant past historical information shares characteristics with the new product to be estimated in terms of design, process, data and knowledge, it can be helpful in forecasting the new product cost. A new product design expenses containing design, manufacturing, operation and proposal can be divided into two subgroups as production and selling expenses from the point of view of the company. In this study, production and selling expenses of each 32 product concepts were rated according to the scale of 1-10 where 1 shows the product concept has lowest expense whereas 10 shows the product concept has the highest expense.

### **Step IV: Determine the efficient product concepts**

In DEA, it is assumed that a set of DMUs is to be evaluated in terms of their relative efficiencies in



converting multiple inputs into multiple outputs [15]. DEA has been gained importance in marketing research studies due to the applicability of the methodology [16, 17, 18]. DEA models, in general, consist of Charnes-Cooper-Rhodes (CCR), Banker-Charnes-Cooper (BCC), multiplicative and the Slack-based measures (SBM) models. SBM model, which is also called the additive model or non-oriented model and this model based on variable return to scale, was considered in this study. SBM model quantify the improvements when both inputs and outputs can be modified simultaneously. It is assumed that companies are willing to maximize the utilities whereas minimizes the amount of development expenses simultaneously. Therefore, SBM model was considered in the study.

The SBM model is based upon input and output slacks is shown in Equation (2)

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro}} \quad (2)$$

subject to

$$x_0 = X\lambda + s^-$$

$$y_0 = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda, s^-, s^+ \geq 0$$

$X_{ij}$  represents multiple inputs ( $i=1,2,\dots,m$ )

**Step V: Validation of the DEA result**

One of the most important issues after grouping is the evaluation of the results to find the partitioning that best fits the underlying data. The most commonly used classification methods are LDA, LR and ANN. The detailed description of these methods can be found in the books of [19, 20]. At first, the grouping is extended to the individual observations. Then, these sets are separated by LDA, LR and ANN in order to obtain accuracy. DMUs can be classified into two different main groups as efficient and inefficient according to their efficiency scores. The validation of DEA grouping result is crucial, so these two groups will be a guide to evaluate LDA, LR and ANN in the next step.

**2.1 Linear Discriminant Analysis (LDA)**

LDA is a supervised multivariate statistical method concerned with separating distinct sets of objects or observations and with allocating new objects to previously defined groups. Discrimination terminology was introduced by [21] in the first separatory problems.  $G_1$  and  $G_2$  are the names of two groups and their number of observations are shown as  $n_1$  and  $n_2$ , respectively.  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$  and  $S_1$ ,  $S_2$  indicate sample mean vectors, and estimated variance-covariance a matrices based on sample sizes  $n_1$  and  $n_2$ , respectively. The prior probability of  $G_i$  is given as prior probability  $p_i$ ,  $i = 1, 2$  and  $p_1 + p_2 = 1$ . This discrimination method requires that homogeneity of variance-covariance matrices of the groups. In Equation (3), LDA classifies an observation  $x_0$  to group  $G_1$  if

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S_{pooled}^{-1} x_0 - \frac{1}{2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S_{pooled}^{-1} (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \geq \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (3)$$

where

$$S_{pooled} = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$S_{pooled}$  is the pooled estimator of the common variance-covariance matrix.

**2.2. Binary Logistic Regression (LR)**

Binary Logistic Regression (LR) provides relation with one or more than explanatory variables when response variable has two possible outcome. LR does not have assumptions such as normality and homogeneity of the variances, therefore LR has been widely used in literature. The LR model is shown in Equation (4)

$$\ln \left( \frac{p_i}{1 - p_i} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_i x_i \quad (4)$$

where  $p_i$  shows the probability of being efficient for concept cards.  $x_i$  and  $\beta_i$  denotes the explanatory variables and coefficients of related explanatory variables, respectively [22].

LR model presents the outcome as a probability whose value is restricted to between 0 and 1, with a threshold value of 0.5. If the probability is greater than 0.5 then LR classifies the observation has  $G_1$ . Otherwise, if the probability is less than 0.5 then LR classifies the observation has  $G_2$ .

**2.3. Artificial Neural Network (ANN)**

Artificial neural network (ANN) is a self-adaptive trainable process that is able to learn and resolve complex classification problems based on grouping knowledge. It is a supervised learning that the model initially learns from the training data set and then classifies the test image using the learnt knowledge. 70% of data set were selected for testing whereas 30% of data set were selected for training in this study.

An ANN behaves in the same manner as how the biological brain works since it is composed of interconnected processing elements that simulate neurons. Each neuron can pass information to another by using this interconnection. In the study, we studied with feed-forward neural network which is also called multilayer perceptrons (MLPs). The structure of MLPs consist of input layer, hidden layer and output layer, shown in Figure 1. Input layer, which can be classified into two types that provides receiving variables. In the first type of input layer, which we used, neurons have transfer functions, weights and biases delivering to the next stage after operations. Hidden layer is an interface between input layer and output layer which transfers signals from the input layer to the output layer. Output layer is the last layer that enables the equality of number of neurons and number of output variables needed [23, 24].

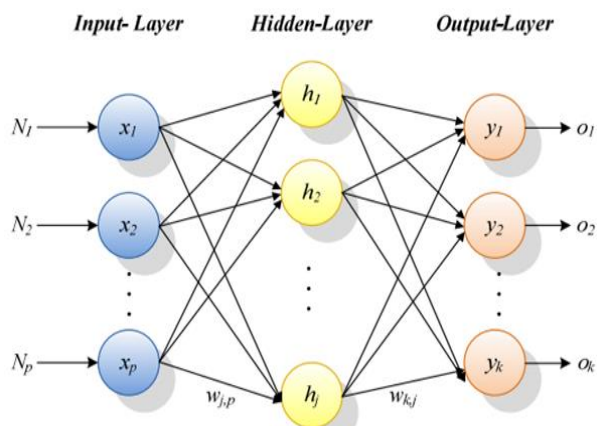


Figure 1. A diagram of multilayer perceptrons

3. APPLICATION STUDY

We proposed a multi-step process: first we applied CA to reveal utilities of product concepts according to the distinguish between the efficient and inefficient product concepts by using SBM model. orthogonal main effect plan. Then, DEA was applied to Later, LDA, LR and ANN were considered to evaluate the DEA results. Validation measurements such as accuracy, sensitivity and specificity were given for LDA, LR and ANN classification results.

In this study, 400 car customers were randomly selected who are incoming to car dealer, gallery and car market in Ankara [25]. The main interests of this group of customers while purchasing a new car were determined as brand, price, equipment, engine type, engine size, fuel consumption, gear type, car type and color. Then, levels of the attributes were shown Table 1.

The proposed steps were able to be applied to the data set after attributes and the levels of each attributes were determined.

Step I: 32 car concepts were created by orthogonal main effects plan. The obtained orthogonal design of the car concepts is shown in Table 2.

The proposed steps were able to be applied to the data set after attributes and the levels of each attributes were determined.

Table 1. Car attributes and levels of attributes

Attributes	Levels
Model of car	Car A
	Car B
	Car C
	Car D
Price (1000\$)	<25
	25-40
	>40
Equipment	Standart
	Optional
Engine Type	Diesel
	Gasoline
Engine Size	1200-1599
	1600-1999
Fuel Consumption (lt)	≤8
	>8
Gear Type	Straight
	Automatic
Type	Sedan
	HB
Color	Light Colours
	Dark Colours

Step I: 32 car concepts were created by orthogonal main effects plan. The obtained orthogonal design of the car concepts is shown in Table 2.

Step II: In the second step, customer preferences orders were obtained and a partial listing of customer preferences orders are given for only five customer in

Table 3. Customer preferences were analyzed by using CA, then utilities of 32 product concepts were computed as in Table 4

Table 2. Orthogonal design of the car concepts

Concept Number	Model of car	Price	Equipment	Engine Type	Engine Size	Fuel Consumption	Gear Type	Car Type	Colour
1	Car D	<25	Optional	Diesel	1200-1599	>8	Straight	HB	Dark
2	Car C	>40	Standart	Diesel	1200-1599	≤8	Straight	HB	Light
3	Car D	<25	Standart	Diesel	1200-1599	>8	Automatic	HB	Light
4	Car B	25-40	Standart	Diesel	1200-1599	>8	Automatic	Sedan	Light
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29	Car A	<25	Standart	Diesel	1200-1599	≤8	Straight	Sedan	Light
30	Car D	>40	Standart	Gasoline	1200-1599	≤8	Straight	Sedan	Dark
31	Car B	<25	Optional	Gasoline	1200-1599	≤8	Automatic	HB	Light
32	Car D	25-40	Optional	Diesel	1600-1999	≤8	Straight	Sedan	Dark

**Table 3.** Preferences order of five customers

Customer Number	Customer Preference Order															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	3	5	7	15	9	11	1	2	8	14	10	4	16	12	13	6
2	16	2	3	8	4	11	7	15	12	5	10	6	14	1	9	13
3	12	2	9	8	13	11	4	10	14	15	16	7	3	1	6	5
4	5	12	1	8	10	13	9	3	15	14	16	4	11	7	6	2
5	10	3	14	11	8	9	7	6	15	5	16	12	13	2	1	4

**Step III and Step IV:** In the study, production and selling expenses were determined by a development team according to the scale of 1-10. Production and selling expenses were considered as input variables while utility was considered as output variable for DEA. Input and output variables for SBM model are shown in Table 5. SBM was applied to reveal the group of efficient DMUs ( $G_1$ ) and inefficient DMUs ( $G_2$ ) concept cards and the results are shown in Table 6.

**Table 4.** Utilities of product concepts

Concept Card Number	Utility
1	9.25
2	1.88
3	7.25
4	3.38
⋮	⋮
29	4.00
30	5.13
31	7.75
32	7.88

**Table 5.** Input and output data for the SBM model

Concept Card Number	Inputs		Outputs
	Production Expenses	Selling Expenses	Utility
1	5	4	9.25
2	3	3	1.88
3	4	4	7.25
4	6	7	3.38
⋮	⋮	⋮	⋮
29	3	3	4.00
30	4	3	5.13
31	3	3	7.75
32	8	7	7.88

**Table 6.** Efficiency results of the product concept cards

Concept Card No	Efficiency Status	
	Group of efficient DMUs ( $G_1$ )	Group of inefficient DMUs ( $G_2$ )
	9, 12, 18, 19, 20	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

**Step V:** Before LDA was applied, assumptions of LDA were checked. Firstly, normality assumption was not violated when Kolmogorov-Smirnov normality test was applied (p-value=0.200). Secondly, Box's M test of equality of covariances matrices was applied to grouped data in Table 6. It was inferred from the Box's M result that the equality of covariances matrices assumption was not violated (p-value=0.475).

A confusion matrix of binary classification is a two by two table formed by counting of the number of the true positive, false positive, true negative and false negative of a binary classification method. The most commonly validation measurements are accuracy, sensitivity and specificity deriving from confusion matrix. Accuracy measures, which is also known as correctly classification rate, the degree of veracity of the classification method on a grouped data set. It is calculated as the number of all correct predictions divided by the total number of the dataset. Other basic measures, such as sensitivity and specificity, are also more informative. Sensitivity shows how correct negative predictions divided by the total number of negatives. In addition, sensitivity and specificity are measures to assess the accuracy. A classification method can be very specific without being sensitive, or it can be very sensitive without being specific. Both factors are equally important [26, 27]. It is seen that confusion matrices of LDA, LR and ANN classification results are given in Table 7, Table 8 and Table 9, respectively. In these tables, the group of inefficient DMUs are shown as "0" whereas the group of efficient DMUs are shown as "1".

**Table 7.** LDA Classification results

Original	Count	Predicted Group Membership		Total	
		Group 0	Group 1		
		0	22		5
1	1	4	5		
%		0	81.50	18.50	100.00
		1	20.00	80.00	100.00

**Table 8:** LR Classification results

Original	Count	Predicted Group Membership		Total	
		Group 0	Group 1		
		0	26		1
1	1	2	3	5	
%		0	96.30	3.70	100.00
		1	40.00	60.00	100.00

**Table 9:** ANN classification results

Sample	Group	Predicted Group Membership		Total
		0	1	
Training	0	21	0	21
	1	2	2	4
	%	92.00	8.00	100.00
Testing	0	6	0	6
	1	1	0	1
	Overall Percent	100.00	0.00	100.00

As shown in Table 10, accuracy of LDA, LR and ANN were obtained as 81.30%, 90.60% and 92.00%. According to the results, the highest accuracy value were obtained from ANN, LR and LDA, respectively. Sensitivity and specificity are measures in order to evaluate accuracy results of the classification methods. The sensitivity and specificity values of ANN were obtained as 91.30% and 100.00%, respectively. These results support the accuracy result for ANN.

**Table 10.** Validation measurements for classification methods

Classification Methods	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
LDA	81.30	95.65	44.44
LR	90.60	92.86	75.00
ANN	92.00	91.30	100.00

Grouping results according to DEA-LDA, DEA-LR and DEA-ANN were shown in Table 11, Table 12 and Table 13, respectively.

**Table 11.** Grouping results according to DEA and LDA

Concept card number	DEA grouping	LDA grouping	Probabilities of membership in G <sub>2</sub> (%)	Probabilities of membership in G <sub>1</sub> (%)
1	0	0	66.00	34.00
2	0	0	99.00	1.00
3	0	0	82.00	18.00
4	0	0	99.00	1.00
5	0	1	16.00	84.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
19	1	0	68.00	32.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29	0	0	95.00	5.00
30	0	0	95.00	7.00
31	0	0	67.00	33.00
32	0	0	95.00	5.00

**Table 12.** Grouping results according to DEA and LR

Concept card number	DEA grouping	LR grouping	Predicted probabilities (%)
1	0	0	8.68
2	0	0	0.31
3	0	0	2.50
4	0	0	0.02
5	0	0	32.39
⋮	⋮	⋮	⋮
19	1	1	12.50
⋮	⋮	⋮	⋮
29	0	0	0.56
30	0	0	1.13
31	0	0	6.78
32	0	0	0.45

**Table 13.** Grouping results according to DEA and ANN

Concept card number	DEA grouping	ANN grouping	Probabilities of membership in G <sub>2</sub> (%)	Probabilities of membership in G <sub>1</sub> (%)
1	0	0	45.10	54.90
2	0	0	88.50	11.50
3	0	0	95.30	4.70
4	0	0	95.60	4.40
5	0	0	93.10	6.90
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
19	1	0	79.30	20.70
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29	0	0	91.70	8.30
30	0	0	89.00	11.00
31	0	0	81.90	18.10
32	0	0	92.10	7.90

**4. CONCLUSION**

Car concepts with the highest utility may not be the efficient car concepts to develop as a new car. The issues in development of a new product from the point of both customers and producers should be taken into the consideration. Customer preferences require a great deal of consideration to address consumer needs in marketing whereas companies require development expenses to be as less as possible. Therefore, the aim of the study is to take in consideration Conjoint Analysis with Data Envelopment Analysis in order to deal with both customer preferences and company expenses. In this study, utilities of each car concepts with respect to the customer preferences were determined by using Conjoint Analysis according to the orthogonal main effects plan on a real data set. As a consequence of the Conjoint Analysis result, three most important attributes were found as price, motor type and brand, respectively. Customers demand low fuel consumption with HB,

automatic gear, dark and optional car while they prefer the cars which have powerful motor.

Thereafter, two groups as efficient and inefficient car concepts were determined by using Data Envelopment Analysis where production and selling expenses were inputs and utilities of each car concepts were outputs. Finally, Data Envelopment Analysis grouping results were validated by using, which are most commonly used classification methods, Linear Discriminant Analysis, binary Logistic Regression and Artificial Neural Networks in terms of accuracy, sensitivity and specificity.

According to the results of Linear Discriminant Analysis classification, validation measurements were obtained with 81.30% accuracy, 95.65% sensitivity and 44.44% specificity. In the same way, binary Logistic Regression results were obtained with 90.63% accuracy, 92.86% sensitivity and 75.00% specificity. Finally, Artificial Neural Network results were obtained with 92.00% accuracy, 91.30% sensitivity and 100.00% specificity. This case study mentions that Artificial Neural Network has the best performance among the other classification methods when sensitivity and specificity were investigated for Artificial Neural Network accuracy result. On the other hand, binary Logistic Regression performs as good as Artificial Neural Networks.

The study shows that a product concept which is generated by orthogonal main effect plan has a high utility from the point of view of customer may not be the efficient product concept to develop when the development expenses are considered. Besides, concepts cards which have the same utility can be classified considering development expenses by Data Envelopment Analysis. By this method, companies can distinguish the product concepts which have the same utility value.

Classification results for a new car concept indicates that low production and selling expenses with low utility cause a new car to be inefficient whereas low production and selling expenses with high utility cause a new car to be efficient. On the other hand, high production and selling expenses with low utility cause a new car to be inefficient whereas high production and selling expenses with high utility cause a new car to be efficient.

The major advantages of our study can be given briefly as follow: Generation of the concept cards before applying Conjoint Analysis is possible by using orthogonal main effects plan to provide randomness of the design. Afterwards, Conjoint Analysis results can be taken in consideration with Data Envelopment Analysis in order to deal with both customer preferences and company expenses. Artificial Neural Networks method can be preferred in view of most commonly used classification methods Linear Discriminant Analysis and binary Logistic Regression.

## REFERENCES

- [1] Chaney, P.K. and Devinney, T.M., "New product innovations and stock price performance", *Journal of Business, Finance and Accounting*, 19: 677-695, (1992).
- [2] Tone, K., "A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, 130: 498-509, (2001).
- [3] Baker, N.R., Green, S.G., and Bean, A.S., "Why R&D projects succeed or fail?", *Research Management*, 6: 29-34, (1986).
- [4] Crawford, C.M., "New product failure rates: a reprise", *Research Management*, 30: 20-24, (1987).
- [5] Mishra, S., Kim, D. and Lee, D.H., "Factors affecting new product success: cross country comparisons". *Journal of Product Innovation Management*, 13: 530-550, (1996).
- [6] Booz, Allen and Hamilton, "New product management for the 1980s", New York: Booz Allen Hamilton Inc., Chapter 2, (1982).
- [7] Urban, G.L. and Hauser, J.R., "Design and Marketing of New Products", 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ:Prentice Hall, (1993).
- [8] Salhieh, S. M. and Al-Harris, M.Y. "New product concept selection: an integrated approach using data envelopment analysis (DEA) and conjoint analysis (CA)", *International Journal of Engineering and Technology*, 3: 44-55, (2014).
- [9] Rao, V.R., "Applied Conjoint Analysis", Springer Verlag Berlin Heidelberg, (2014)..
- [10] Green, P.E., "On the design of choice experiments involving multifactor alternatives". *Journal of Consumer Research*, 1: 61-68, (1974).
- [11] Leber, M., Bastic, M., Mavric, M. and Ivanisevic, A., "Value analysis as an integral part of new product development, *Procedia Engineering*, 69: 90-98, (2014).
- [12] Pelsmaeker, S.D., Schouteten, J.J., Lagast, S., Dewettinck, K. and Gellynck, X., "Is taste the key driver for consumer preference? A conjoint analysis study", *Food Quality and Preference*, 62: 323-331, (2017).
- [13] Wu, W.Y. and Liao, Y.K., "Applying conjoint analysis to evaluate consumer preferences toward subcompact cars", *Expert Systems with Applications*, 41: 2782-2792, (2014).
- [14] Niazi, A., Dai, J.S., Balabani, S. and Seneviratne, L., "Product cost estimation:Technique classification and methodology review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 128: 563-575, (2006).
- [15] Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E., "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444, (1978).
- [16] Büschken, J., "How data envelopment analysis reveals brand advertising efficiency", *GfK Marketing Intelligence Review*, 1: 36-45, (2009).
- [17] Donthu, N., Hershberger, E. and Osmonbekov, T., "Benchmarking marketing productivity using data envelopment analysis", *Journal of Business Research*, 58(11): 1474-1482, (2005).
- [18] Li, W.H., Liang, L. and Cook, W.D., "Measuring efficiency with products, by-products and parent offspring relations: A conditional two-stage DEA model", *Omega*, 68: 95-104, (2017).
- [19] Duda, R.O., Hart, P.E. and Stork, D.G., *Pattern Classification*, Wiley InterScience, (2000).
- [20] McLachlan, G., "Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition", Wiley-InterScience, (2004).

- [21] Fisher, R.A., “The use of multiple measurements in taxonomic problems”, *Annals of Human Genetics*, 7: 179-188, (1936).
- [22] Shyu, J. C. and Liou, H. Y., “The financial distress prediction model under consideration of business cycle and industry factors – the application of logistic regression model and DEA-DA model. *Journal of Risk Management*, 12: 157-183, (2010).
- [23] Ting, H. M., Lee, T. F., Cho, M. Y., Chao, P. J., Chang, C. M., Chen, L. C. and Fang, F.M., “Comparison of neural network and logistic regression methods to predict xerostomia after radiotherapy”, *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, 7(7): (2013).
- [24] Sharma, P. and Kaur, M., “Classification in pattern recognition: a review”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(4): (2013).
- [25] Erdoğan, C., “Tüketicinin Otomobil Tercihinin Konjoint analizi ile Belirlenmesi”, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Statistics, Gazi University, (2006).
- [26] Zhu, W., Zeng, N. and Wang, N., “Health Care and Life Sciences”, NESUG, (2010).
- [27] Wong, H. B. and Lim, G. H., “Measures of Diagnostic Accuracy: Sensitivity, Specificity, PPV and NPV”, *Proceedings of Singapore Healthcare*, 20(4): (2011)



# POLİTEKNİK DERGİSİ JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti

### *Internet of things in smart and conventional wearable healthcare devices*

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan ÖCAL<sup>1</sup>, İ. Alper DOĞRU<sup>2</sup>, Necaattin BARIŞÇI<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-8061-8059

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-9324-7157

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-8762-5091

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Öcal H., Doğru İ. A. ve Barışçı N., “Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 695-714, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.450290

# Akıllı ve Geleneksel Giyilebilir Sağlık Cihazlarında Nesnelerin İnterneti

*Derleme Makalesi / Review Article*

**Hakan ÖCAL\***, **İ. Alper DOĞRU**, **Necaattin BARIŞCI**

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
(Geliş/Received: 03.05.2018; Kabul/Accepted: 27.06.2018)

## ÖZ

İnternetin 1990'lı yılların sonuna doğru insanların yaşamına girmesi ile dünyanın herhangi bir yerindeki bir cihazla başka bir cihazın birbirleriyle iletişim kurması mümkün hale gelmiştir. İnternet teknolojisinin 2000'li yılların başında olağanüstü gelişimini akıllı mobil teknolojilerinin (akıllı telefon, saat, gözlük ve diğer düşük güçlü giyilebilir ve takılabilir cihazlar) büyük bir hızla gelişmesi takip etmiştir. Bu akıllı mobil teknolojilere entegre edilen sensörlerden faydalanılarak bireyin bulunduğu ortamdan birçok farklı verinin elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen bu veriler, kablolu veya kablosuz olarak internet yoluyla bir merkezde toplanıp, incelenip, analiz edilmiştir. Bu sayede cihaza sahip kişi veya cihazın bulunduğu ortam hakkında çeşitli bilgilere kısa sürede ulaşılmıştır. Yaşanan bu gelişmeler internet üzerinden nesnelerin birbiriyle haberleşmesi (IoT) fenomenini ortaya çıkarmıştır. IoT ile ilgili çok kapsamlı araştırmalar ve uygulamalar günümüzde çeşitli alanlarda devam etmektedir. IoT' un en çok kullanıldığı alanlardan birisi de sağlık hizmetleri alanıdır. Hastalıkların doğru teşhisi, tedavisi ve takibinde özellikle hastanın hastane dışındaki günlük yaşantısından alınacak veriler büyük bir önem taşımaktadır. Bu verileri elde etmenin en iyi yolu IoT giyilebilir veya takılabilir sağlık cihazlarını kullanmaktır. Bu çalışmanın amacı, şimdiye kadar yapılan IoT tabanlı geleneksel ve akıllı sistem olarak yapılan giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazı uygulamalarından elde edilen bulguları özetlemektir. Bu bulgular ışığında da IoT tabanlı uygulamaların geleceği hakkında temel sorunları ele alarak çeşitli öneriler getirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** IoT, sağlık hizmetleri, giyilebilir ve takılabilir cihazlar, body sensörler, derin öğrenme.

# Internet of Things in Smart and Conventional Wearable Healthcare Devices

## ABSTRACT

With the Internet entering the lives of people towards the end of the 1990s, it became possible for devices anywhere in the world to communicate with each other. At the beginning of the 2000s, Internet technology was followed by the rapidly development of smart mobile technology. By using the sensors integrated in these intelligent mobile technologies, it was possible to obtain many different data from the environment of the individual. The data that obtained via wired or wireless internet then collected and analyzed by a center. In this way, various information about the environment in which the person or device is located and can be reached in a short time. These developments reveal the phenomenon that things communicate with each other over the internet. Extensive research and applications related to IoT are currently underway in various fields. One of the most used areas of IoT is health care. In diagnosis, treatment and follow-up of the diseases, especially the daily life of the patient outside the hospital is of great importance. The best way to obtain this data is to use IoT wearable or implantable healthcare devices. The aim of this study is to summarize the findings obtained from wearable and implantable health device applications made as conventional and intelligent system based on IoT up to now. In the light of these findings, we will introduce various proposals by addressing the fundamental problems of the future of IoT-based applications.

**Keywords:** IoT, healthcare, wearable and implantable devices, body sensors, deep learning.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyanın nüfusu, dünyanın birçok bölgesindeki düşük doğum oranları nedeniyle ve gelişen teknolojiyle birlikte daha uzun yaşama arzusuna bağlı olarak gittikçe yaşlanarak büyümektedir. 2025 yılından 2050 yılına kadar dünya üzerindeki 65 yaş üstü nüfusun 1.6 milyara dayanacağı tahmin edilmektedir [1]. Dünya genelinde yaşlı nüfustaki bu artış ile birlikte çeşitli sağlık hizmetleri verme ile ilgili sorunların (inme, bunama, kalp krizi vb. konuda) ortaya çıkması kaçınılmazdır [2]. Bunun yanında her yaş gurubundan çeşitli sağlık sorunlarına

sahip insanların olması ve bu bireylerin hastalıklarının hastane dışında düzenli olarak takibi de diğer bir zorlu durumdur. Son zamanlarda gelişen mobil cihazlar ve sensör ağlarıyla IoT, çeşitli fiziksel ve sanal nesnelere birbirine bağlayarak dinamik bir küresel ağ altyapısı oluşturmayı amaçlamaktadır. IoT başlangıçta RFID teknolojisi aracılığıyla, internet benzeri bir yapıda benzersiz olarak tanımlanabilen nesnelere ve nesnelerin sanal temsillerini bir araya getirmektedir [3]. Business Insider'in araştırmasına göre, 2020 yılı itibarıyla gelişen 5G teknolojisi ile birlikte 24 milyardan fazla cihaz internete bağlı hale gelmiş olacaktır. Bu durum insan başına 4' den fazla cihaz düşmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle IoT kavramının tanımı, çeşitli cihazları

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta: hakan.ocal1@gazi.edu.tr



(aktüatörler, GPS cihazları, mobil cihazlar ve çeşitli sensörler vb.) kapsayacak şekilde daha çok nesneye hitap edebilmek amacıyla genişletilmiştir [3,4]. IoT tabanlı sağlık uygulamaları, potansiyel olarak uzun vadeli(hasta bakımı gerektiren), akut(hastane bakımı gerektiren) ve hastane dışında(evde vb.) gibi çeşitli ortamlarda kapsamlı hasta bakımı sağlayabilir. IoT aynı zamanda, insanları, ekipmanları, tahlil örneklerini, erzakları ve denek hayvanlarını doğru bir şekilde izleyerek yakalanan verileri analiz etme potansiyeline de sahiptir. Örneğin IoT sistemleri; bir hastane ya da evde bakım uygulamasında yeme bozukluğu (bulimia) hastalığı yaşayan bir hasta için, hastanın odasında bulunan sensörler vasıtasıyla, artmış vücut ısısı, kan basıncını ya da kusma kokusunu algılayabilir. Başka bir örnekte ise, sensörler hastanın yaptığı egzersiz faaliyetlerindeki eksiklikleri, aşırı kardiyolojik veya yürüme faaliyetlerini normal yürüme temposuyla karşılaştırarak tespit edebilir. Bu iki örnekteki elde edilen veriler kablolu veya kablosuz iletişim teknolojileri yardımıyla bir merkezde toplanıp işlenerek, hastalığın tanı ve tedavisinde sağlık sunuculara çok değerli bilgiler sağlayabilir [5]. Ayrıca bu veriler sigorta şirketleri, sağlık hizmeti sunucuları ve ilaç şirketleri tarafından incelenerek ileriye dönük çalışmalar için kullanılabilir. Buna ek olarak kişinin yaptığı fitness hareketleri sensörler tarafından algılanıp kablolu veya kablosuz ağ teknolojileri yardımıyla toplanarak bir merkezde analiz edilebilir. Analiz edilen veriler sayesinde kişinin yoğun iş temposunda vücudunu daha zinde tutabilmesi için daha doğru ve düzenli egzersiz hareketleri yapması sağlanabilir. Bireyin fitness hareketlerini yaparken vücuduna yerleştirilecek giyilebilir veya takılabilir(gözlük, dişe yerleştirilen takılabilir cihazlar veya ağız hareketlerini algılayan cihazlar vb. ) bir cihaz sayesinde eş zamanlı olarak diyet durumu da kontrol edilebilir [6].

Bu makalede IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarındaki çeşitli sorunları çözmeye yönelik yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Bu gibi cihazlarda enerji verimliliği, güvenlik ve mahremiyet, cihazların birbirleriyle farklı protokoller üzerinden etkileşimi başlıca sorunlardır. Bu cihazlarda enerji verimliliği, ortam ve diğer cihazlarla etkileşim problemleri çözmek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Fakat veri güvenliği ve mahremiyet konusu ikinci planda kalmıştır. Bu cihazlar internet veya bir ağ üzerinden birbirlerine bağlı oldukları için siber saldırılara açık olarak saldıran kişinin bu verilere ulaşmasına olanak tanıyabilmektedir. Ters Mühendisler (Reverse Engineer) güvenlik açıklarını kullanarak IoT tabanlı sistemlere girişimde (Hacking) bulunarak sistemin mimarisini, hastanın hayati bilgilerini çalabilir veya cihazın bozulmasına neden olarak hasta için hayati problemler ortaya çıkarabilir. Kullanılan geleneksel güvenlik sistemlerinin çok karmaşık hesaplama algoritmalarına sahip olması enerji verimliliğini de etkileyen sorunlarından [7]. Diğer bir sorun ise kişiye sağlık hizmetleri yönünden tedavi ve tanınmasına en uygun giyilebilir veya takılabilir cihazı sunmaktır [8].

Yukarıda bahsedilen hastalıkların vb. takibi ve bu tür cihazların sorunlarını gidermek için uygulanan çeşitli yöntemler bu makalede incelenmiştir. 2. Bölümde giyilebilir ve takılabilir cihazlar akıllı ve geleneksel tasarım yöntemlerine göre incelenmiştir. 3. bölümde bu yöntemlerin yetenekleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. 4. ve son bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

## 2. NESNELERİN İNTERNETİNE GENEL BİR BAKIŞ (A GENERAL OVERVIEW TO THE INTERNET OF THINGS)

Amerikan Federal Ticaret Komisyonu nesnelerin internetini "günlük kullanımımızda olan nesnelerin, internete bağlanıp veri gönderip alması kabiliyeti" olarak tanımlamıştır [9]. Nesnelerin interneti kavramı RFID teknolojisi ile ortaya çıkmıştır. 1991 yılında Cambridge Üniversitesi'ndeki yaklaşık 15 akademisyenin kahve makinesini görebilmek için kurduğu kameralı sistem o günün koşullarında değerlendirildiğinde ufuk açıcı bir uygulamaydı. 2001 yılına kadar kullanılan sistem, kahve makinesinin görüntüsünü dakikada üç kez bilgisayar ekranlarına gönderiyordu. Çevrimiçi ve gerçek zamanlı olması sebebiyle "nesnelerin interneti" kavramının ilk örneği olarak tarihte yerini aldı. 1999 yılında Kevin Ashton, P&G için RFID teknolojisi uygulamasının firmaya faydalarını sıraladı ve kullanılmasını önermiştir. Önerdiği sistem; "internet of things" kavramını ortaya çıkaran radyo dalgaları ve sensörlere dayalı bir küresel sistem standardı idi. Bugünün internetinde IPv4 ağ teknolojisinin makineler yoluyla insanlar arası ve insan makine arası iletişimde kullanıldığı gibi, IPv6 teknolojisi de IoT tabanlı cihazların birlikte çalışması için ayrı bir öneme sahiptir. IPv4' de bir ağ geçidi farklı cihazların protokolleri arasında dönüşüm yaparken, IPv6 ile bu durumun kalkması ve cihazların protokol sorunu olmadan birlikte çalışabilirliği hedeflenmektedir [10].

## 3. LİTERATÜRDEKİ İOT TABANLI GİYİLEBİLİR VE TAKILABİLİR CİHAZ UYGULAMALARI (IOT BASED WEARABLE AND IMPLANTABLE DEVICE APPLICATIONS IN THE LITERATURE)

Bu bölümde IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir cihazlar ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar ele alınmıştır. Giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarında nesnelerin internetinin temsili **Şekil 1.**' de görülmektedir. Giyilebilir cihazlar insanın omuzunda taşıyabileceği bir çanta veya kutu, giyebileceği bir kumaş, derinin üzerinde veya vücudun içine yerleştirilecek bir cihaz olabilir [11]. Literatür; IoT, giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazları, derin öğrenme, RFID, WBAN(Kablosuz vücut alan ağları), WSN(Kablosuz sensör ağları) kelimelerine göre taranmış ve bakılan 450 makaleden, makale ile alakalı olduğu tespit edilen 92 makale incelenerek kullandığı yöntem ve varsa denek veya veri setleri **Çizelge 1.**' de gösterilmiştir. Literatür taraması yapılırken amaç, akıllı ve giyilebilir sağlık cihazların avantaj ve dezavantajlarını

ortaya koyarak hangi yöntemler için, hangi sistemin uygun olduğunu belirlemektir. Bu nedenle literatür geleneksel ve akıllı giyilebilir-takılabilir cihaz uygulamaları olarak iki farklı başlık altında incelenmiştir.

#### A. Geleneksel Tasarım Teknikleri Kullanılarak Yapılan IoT Tabanlı Giyilebilir ve Takılabilir Cihaz Uygulamaları (IoT Based Wearable and Implantable Device Applications Made Using Traditional Design Techniques)

Bu bölümde incelenen sistemler, genel olarak bireyden bilgiyi alarak merkezdeki bir sunucuya aktaran ve böylelikle sağlık sunucuların bireyin sağlık durumu hakkında bilgi edinmesini sağlayan sistemlerdir.



**Şekil 1.** Giyilebilir ve Takılabilir Sağlık Cihazlarında Nesnelere İnterneti (Internet of Things in Wearable and Implantable Healthcare Devices)

#### 1. Geleneksel IoT Tabanlı Giyilebilir Sağlık Cihazları (Traditional IOT Based Wearable Health Devices)

Khan, hastanın sağlık sunucular tarafından düzenli takibi için vücut kan basıncı, EKG işaretleri, vücut sıcaklığı, vücut hareketleri, Elektroensefalografi işaretleri (EEG) ve kandaki glukoz miktarını algılayan kablosuz IoT ve RFID tabanlı bir hasta takip sistemi tasarlamıştır. Hastadan elde edilen sensör verileri RFID teknolojisiyle akıllı telefona ve bilgisayara aktarılmaktadır. Bu cihazlar ağ geçidi olarak kullanılarak veriler internet yoluyla sağlık sunuculara (ambulans, acil servis, hastane veya sigorta şirketleri) gönderilmiştir [12].

Lebepe ve arkadaşları tarafından stres durumunu gerçek zamanlı olarak öğrenmek için çoklu vücut sensör ağı yapısı geliştirilmiştir. Bu sensör ağı ile vücut sıcaklığı, galvanik deri cevabı ve kalp atış hızı algılanarak kişinin stres durumuyla alakalı bir kestirim yapılmak istenmiştir. Alınan bilgiler bir mikrokontrolöre bağlı bluetooth vasıtasıyla telefona aktarılmıştır. Telefondaki bilgiler ise bir SAP-ERP Sunucu' daki veri tabanına kaydedilip analiz edilmiştir [13].

Majoe ve arkadaşları, bireyin depresyon durumunu ve buna bağlı mental sağlığını belirlemek için uyku

bozukluğu ve stres durumunu EKG işaretleri ve vücut hareketlerine göre ölçen 7 gün 24 saat giyilebilir akıllı bir sensör geliştirmişlerdir. Yazarlara göre tasarlanan sensör, Sensör Avrupa Birliği (OPTIMI)'nin projesinin gereksinimlerini karşılamıştır [14]. EKG donanımında Nordic nRF24LE1 mikrokontrolör ve fiziksel hareketleri algılamak için ADXL325 model 3 eksen İvmeölçer kullanılmıştır. Sistemde sensörden alınan veriler sunucuya, mikrokontrolöre entegre RF modül aracılığıyla gönderilmiştir.

Bu çalışmalarda genelde kişinin stres durumu üzerinde durulmuştur. Ancak stres, kontrol edilebilir ve sürekli olan bir vücut aktivitesidir. İnsanın öfke durumu ise anlık ortaya çıkan ve durdurulamayan yıkıcı bir durumdur [15].

Alexander ve arkadaşları, bir kol bandı ve bir android telefona dayanan hafif ağırlıklı bir taşınabilir ve temassız EKG izleme cihazı geliştirmişlerdir. Geliştirilen cihaz, bir kolluk içine gömülü kapasitif kuplajlı elektrotlar kullanılarak giysilerin elektrokardiyograf potansiyelini tespit etmiştir. Elde edilen gerçek zamanlı sinyaller daha sonra amplifikasyon ve filtreleme amacı için bir EKG sensörüne aktararak, sinyaller mikroişlemci tarafından işlenmiştir. İşlenen veriler Bluetooth 4.0 aracılığıyla görüntülemek amacıyla cep telefonlarına gönderilmiştir. Cihazın yapılan testleri sonucu sistemin uzun süreli ölçümler stabil, kolay taşınabilir ve kullanımı kolay olduğunu göstermiştir. Ayrıca sistemde hasta veya sağlık sunucular kayıtları detaylı olarak kontrol ederek kalp aktivitelerinde anormallik olup olmadığı ile ilgili bilgiye sahip olabildiği gösterilmiştir [16].

Yotha ve arkadaşları glikozun yoğunlaşması sırasında en fazla görülen hipoglisemi olayına odaklanmışlar ve sürekli olarak kan glikozunun izlenmesinin hipoglisemi riskini azaltabileceğini söylemişlerdir. Ancak glukoz testindeki invazif prosedür ve yüksek maliyetin önemli olduğunu söylemişlerdir. Yazarlar bu çalışmada, diyabet hastasında hipoglisemi sistemini ciddi hipoglisemi olayını önlemek ve kan glikozu kullanım düzeyini kontrol etmek için yeni bir sistem tasarlamışlardır. Cihazın nabız sayısı değişimi, nem değişimi ve sıcaklık değişimi deri üzerinden bir bilek bandı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak risk seviyelerine göre kayıt ve analiz için Wi-Fi-hotspot ile bağlı WiFi modülü ile kişisel bilgisayara veya akıllı telefona gönderilmiştir. Bu işlemin sonucu, serumdan alınan kan şekeri ile sıcaklık, nem ve nabız değerleri karşılaştırılarak 1 ile 3 arasında değişen hipoglisemik risk seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca tasarlanan sistem, ciddi hipoglisemiyi ölçmek için invaziv olmayan yöntemde olanak tanıdığı söylenmiştir. Wi-fi hotspot ile bağlanarak internet sitesinden, ziyaretçilerin bilgisayar ekranındaki dört farklı değerin Sıcaklık, Nem, Kalp Hızı, Risk Alarmı sonuçları gibi ölçümleri görüntüleyebildikleri söylenmiştir. Sağlık sunucuların hastanın geçmiş verilerine de ulaşabilmesi sağlanmıştır [17].

Kaplan ve arkadaşları, aile hekimliğinde, hekim başına düşen hastanın çokluğundan dolayı hekimleri, sadece

poliklinik yapmaya zorladığından ve bundan dolayı koruyucu sağlık hizmetlerini veremez hale getirdiğinden bahsetmişlerdir. Bu nedenle yazarlar, gerçek zamanlı tıbbi verilerin izlenmesi ile meydana gelebilecek rahatsızlıklara karşı erken müdahale edilmesi, doktor kontrol sayılarının azaltılması, hastane dışında da bakım ve izlemenin mümkün hale gelmesine olanak sağlayacak Aile Hekimi İzleme sistemini tasarlamışlardır. Gerçekleştirilen uygulama ile elektrik kökenli olmayan kan basıncı, nabız, şeker, SpO2 ve vücut sıcaklığı gibi fizyolojik işaretler Sağlık Bakanlığı metroloji kılavuzundaki standartlara uygun olarak iletilmiştir. EKG, EMG vb. elektrik kökenli fizyolojik işaretler de grafik olarak görüntülenmiş ve mobil cihaza iletilmiştir. Ancak bu işaretler ölçüm sisteminin ortak işaret bastırma oranının (CMRR) ve örnekleme frekansının düşük olmasından dolayı klinik bir değer taşımadığı tespit edilmiştir. Biyolojik işaretlerin ölçülmesinde Arduino Uno programlama platformu ile birlikte çalışan E-Sağlık Sensör Platformu (Arduino Health Kit) kullanılmıştır [18]. Ölçülen fizyolojik işaretler 2.4Ghz HC05 Bluetooth 2.0 modülü ile kablosuz olarak mobil uygulamaya aktarılmıştır [19].

Kang ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etmede yeni bir yaklaşım ve çözüm sunmuşlardır. Bu yaklaşımda, sensörler üzerinde bir çıkarım sistemi kullanarak verileri sadeleştirilmişler ve dolayısıyla IoT tabanlı ağ yapısında iş yükünü azaltarak verimi arttırmışlardır. Ayrıca, kalp atış hızı sensörleri için bant genişliği gereksinimlerinin azaltılması denenmiştir. Sonuç olarak kaynak kullanımında% 66 ila% 99 arasında tasarruf sağladığı gösterilmiştir. Bu çalışmada, bir kablosuz alan ağındaki (WBAN) kaynak kısıtlı sensörün aşırı yüklemeye enerji tüketiminin artacağı ve buna çözüm olarak, gereksiz işlemleri azaltmak ve kaynakları kaydetmek için bir çıkarım sistemi uygulayarak vücut sensörleri üzerinde akıllı sistemi uygulamışlardır. İstek analizi, veri işleme ve durum karar verme ile veri iletimi olmak üzere üç akıllı fonksiyon uygulanmıştır. Verileri yakalamak için hekimler tarafından hastalar için belirlenen bir veri eşiği kullanılmıştır. Deney sonuçları bu çözümün diğer yöntemlerden çok daha etkili ve etkili olduğunu göstermiştir. Orijinal veriler % 99.5'e kadar azaltılmıştır. Bununla birlikte, bu sistemin ihtiyaç duydukları verilerin detay seviyesini belirleyecek olan tıp pratisyenleri ile nasıl programlanacağı ve optimize edileceği konusunda bir tasarım sorunu açık olarak kalmıştır. Vücut sensör ağındaki (BSN) trafik yüküne göre sistemin enerji tüketimi ayarlanmıştır [20].

Benadda ve arkadaşları, Electric Imp platformunun kullanılmasına dayanan vaka çalışması sistemi önermişlerdir. Yazarlar, IoT'un büyük bir sorun olan bilgi güvenliği yönüne de eğilmişlerdir. Wi-Fi bağlantısı üzerindeki belirsizlikler, büyük bir sorun teşkil ettiği söylenmiştir. Bu nedenle, bulut bilişim teknolojilerinden yararlanan Atmel ATSHA204 kimlik doğrulaması ile güvenlik modeli sağlayan Elektrikli Imp modülleri

kullanılmıştır. Giyilebilir cihazla internet ve dolayısıyla kullanıcılar arasındaki haberleşme Electric Imp Wi-Fi modülü ile sağlanmıştır. Cortex-M3 mikroişlemci ile Imp modülünün 802.11 b / g / n Wi-Fi verici alıcı, baskılı anten, benzersiz ortam erişim kontrol adresi ve görünür ışık iletişim arabirimi gibi farklı özellikler sunduğu belirtilmiştir. Elektrik Imp modülünün, sınırsız uygulama alanı sunan, iletişim ve veri alışverişi için ayrıntılı özelliklere sahip olduğu açıktır. Özellikle insanlara bağımlı ve yaşlı insanların hareket takibinde, IoT giyilebilir cihazlarla birlikte Electric Imp modülünü kullanabilmek için sensörler ve adaptasyon devrelerinin gerekli olduğu söylenmiştir [21].

V. Jha ve arkadaşları, vücudun fizyolojik değişimleri üzerine dayanan duyu algılamının büyük bir sorun olduğunu ve bu duygulardan özellikle öfkenin sağlıklı bir yaşam için sürekli takibi gereken yıkıcı duygusal bir durum olduğunu söylemişlerdir. Yazarlara göre, öfke kontrolüyle alakalı önce geliştirilmiş bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, V. Jha ve arkadaşları insan vücudundaki çeşitli fizyolojik değişiklikleri analiz ederek insanların öfke durumunu takip eden ve bunu mobil iletişim(GSM) teknolojisi ile izleme birimine bildiren giyilebilir öfke takibi ünitesi geliştirmişlerdir. Geliştirilen cihaz, kalp atış hızı ve vücut sıcaklığını temel olarak bireyin öfke durumunu tespit eden ve yazarlar tarafından WAMS olarak isimlendirilen bir bilek bandıdır. Devrede vücut sıcaklığını algılamak için bir termistör, kalp atış hızını algılamak için nabız sensörü ve vücut hareketlerini algılamak için ise ivmeölçer (ADXL345) kullanılmıştır. İvmeölçer devrede bireyin egzersiz aktivitesiyle öfke durumunu birbirinden ayırt etmek için kullanılmıştır. Bu sistemin en önemli avantajlarından biri de ölçümlerin non-invasif olmasıdır. Farklı kişilere göre stres durumunu değerlendirmek için cep telefonu, ortam ve kişisel özelliklerden alınan kayıtlarla çeşitli davranışsal metrikler oluşturularak stres indeksi belirlenmiştir. Stres indeksi %80 seviyesini geçtiği anda sistem alarm vermektedir [22]. Amerikan Sağlık Enstitüsü' ne göre dakikadaki kalp atış hızı 72-75 aralığında olması gerektiği söylenmiştir [23]. Tasarlanan sistemde nabız, fotoletismografi yöntemiyle algılanmıştır. Sistemi test etmek için IGDT Kadın Üniversitesi' nden 19-25 yaş arası 10 denek gönüllülük esasıyla seçilmiştir. Sonuçların ortalama %91 hassasiyetle doğru olduğu söylenmiştir [22].

Santhi ve arkadaşları, dünya genelinde birçok kadının hamilelik dönemindeki komplikasyonlar nedeniyle hayatını kaybettiğini söylemişlerdir. Hem anne, hem de bebeğin hayatı tehlikesini minimize etmek için birçok çalışmanın devam ettiğini söylemişlerdir. Komplikasyonları önlemek için annenin vücut sıcaklığı, kalp atışı ve kan basıncı değerlerini giyilebilir bir IoT tabanlı cihaz ile algılama yoluna gitmişlerdir. Sensörlerden alınan veriler giyilebilir cihazda tümleşik olarak Wi-fi modülüne sahip MSP-CC3200 mikrokontrolör kartı sayesinde yapılan ölçümler hastanın sağlık sunucularına iletilmiştir. Ölçüm verilerini sınıflandırmak için C4.5 Karar Ağacı algoritması kullanılmıştır [24].

M. Delrobaei ve arkadaşları, hastaların uzaktan takip edilememesinin, özellikle Parkinson hastaları için tedavi sürecinde gerekli müdahale yöntemlerini iyileştirmek için büyük bir sınırlama getirdiğini söylemişlerdir. Bu yüzden Parkinson hastalığının belirtilerinden olan tam vücut titremesinin, hastanın ev ortamında da takibi için IoT tabanlı giyilebilir cihaz tasarımı üzerinde durmuşlardır. Parkinson hastalığına sahip 40 birey ve 22 sağlıklı birey bu çalışmada denek olarak işe alınmıştır. Amaç atalet sensörü yardımıyla Parkinson hastası ile sağlıklı bireyi birbirinden ayıran bir giyilebilir cihaz geliştirmektir [25]. Parkinson hastası bireyi algılamada altın standart olan Birleştirilmiş Parkinson Hastalığı Derecelendirme Ölçeği (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) kullanılmıştır [26]. Tasarlanan cihaz hastanın titreme tepe değerlerini gündelik yaşamında sürekli olarak kaydederek hastaya daha sağlıklı tedavi edici müdahaleler için büyük bir avantaj sağlamıştır. Son zamanlarda, teknolojiye gelişmeler, vücut titremesi ile ilgili daha net ölçümleri almayı sağlamıştır. Parkinson hastası titremesini nesnel olarak ölçmek için çeşitli sensör sistemleri geliştirilmiştir. Bu sensör sistemleri arasında elektromiyografi (EMG), ivmeölçer, cayroskop, gonyometre (eklem hareket açıklığı ölçer) ve optik hareket yakalama sistemleri bulunmaktadır [25]. Bununla birlikte, bu yöntemlerin en büyük dezavantajı, genellikle tek bir uzvun titreşim şiddetiyle sınırlı olması, vücut titreme ölçümünün kapsamlı ve tam vücut değerlendirmesini sağlamamasıdır [27,28,29-32]. EMG sinyalleriyle yalnızca hastanın kaslarındaki kasılmalar ölçülürken, ivmeölçerde hastanın doğrusal hareketlenmesi, cayroskopta vücudun denge durumu ve gonyometrede ise yalnızca eklem açıklıkları ölçülmektedir. Bu sensörleri birleştiren atalet ölçüm ünitelerinin(IMU-Inertial Measurement Units) yeni bir yaklaşım sunduğu söylenmiştir. Atalet ölçüm üniteleri daha önceki çalışmalardan farklı olarak tüm vücuttaki titreşimleri algılamıştır [33]. Bu makalede tüm hasta vücudu titreşimlerini ölçmek ve ayrıca derin beyin uyarımı(Deep brain stimulation) uygulamasının optimizasyonu için bilgi sunulmuştur [25]. Parkinson hastalığı derecelendirme ölçeğine göre 0 seviyesi normal, 20 sayısal seviyesi en yüksek vücut titreşim seviyesidir. Katılımcılara Parkinson hastaları için kullanılan levodopa ilacı uygulanmadan ve uygulandıktan sonra oturur durumda dinlenirken ve kollar ve eller omuz hizasında 20 saniye boyunca ileriye doğru tutulmuşken katılımcıların vücut titreşim seviyesi ölçülmüştür. Titreşim şiddeti skorunun hesaplanma yöntemi (TSS), literatürde bulunan en son yapılan başarılı çalışmaların gözden geçirilmesi üzerine geliştirilmiştir [28]. M. Delrobaei ve arkadaşları filtre frekans bandını [25, 33] tarafından önerilen yöntemlere göre seçmişlerdir. Bu bandın altında yer alan izleme, PD hastalarında görülen ve levodopanin ortak yan etkisi olan diskineziyi (kontrolsüz büküm veya sarsılma hareketleri) göstermiştir. Deney esnasında hastalar vücut titreşim skoru (TSS) 2' nin üstünde olanlar (yüksek yoğunluklu titreme) ve 0 ile 2 arası olanlar(düşük yoğunluklu

titreme) olarak iki guruba ayrılmışlardır. Hesaplanan vücut titreşim skoru(TSS-Tremor severity score) ile Birleştirilmiş Parkinson hastalığı derecelendirme ölçeği(UPRDS) arasında korelasyon yapılmıştır. Deneyler sonucunda %95 korelasyon hassasiyeti sağlandığı söylenmiştir. Korelasyonlar SPSS 22.0 sürümü ile hesaplanmıştır [25].

Chen ve arkadaşları, giyilebilir sensörler kullanarak Parkinson hastalığına sahip (PD) hastalarının evde izlenmesine olanak sağlayan bir platform olan MercuryLive'ı tanıtmışlardır. MercuryLive, giyilebilir sensörler, kaynak akışlı veri toplama motoru, canlı veri akışı ve sensör verilerinin depolanması için web hizmetleri ve video konferans yeteneği ile web tabanlı bir grafik kullanıcı arayüzü istemcisinden oluşan 3 katmanlı bir yapıdan meydana getirilmiştir. Ayrıca, platformun, tremor, bradikinezi ve diskinezinin şiddetini yakalayan klinik skorları güvenilir bir şekilde tahmin etmek için sensör verilerini analiz etme yeteneğine sahip olduğu söylenmiştir. Yapılan testler, önerilen platformun hastalığın geç evrelerinde ilaçların titrasyonunu kolaylaştırmak için PD'li hastaları izlemek için uygun olduğunu göstermiştir. Merkezi sunucuda VPN, SSH, SSL güvenliklerini içeren güvenli bir yapıyla veri tabanı, web sunucu, hasta durumunu izleme için video konferans servisi, anlık veri iletimi ve veri loglama yeteneklerine sahiptir. Hastanın ana bilgisayarı ise shimmer tabanlı yazarlar tarafından geliştirilen giyilebilir BSN 802.15.4 ve hekimlere sensör düğümlerini uzaktan ayarlama imkânı sağladığı söylenmiştir. Sağlık sunucunun ana bilgisayarları ise hasta verilerini toplama, depolama ve güvenli bir şekilde sağlama, GUI ile hem görsel hem de grafiksel hasta takibi olanağı sağladığı söylenmiştir [34].

Kuusik ve arkadaşları ev kullanımı için IoT tabanlı progresif nörodegeneratif hastalığı olan ve özellikle MS(multiple sklerozis) hastalarını hedefleyen bir motor durum değerlendirme sistemi geliştirmişlerdir[35]. Sistem en az bir tane giyilebilir sensör ve uygun bir değerlendirme metodolojisinden oluşmuştur. Çalışma, evde ve hastane ortamında üç yıllık bir çalışma sırasında yürütülen çözümün ve hasta deneme sonuçlarının teknolojik uygulamasını tanımlar. Szczeşna ve arkadaşlarının 300 giyilebilir ürün üzerinde yaptığı bir çalışmaya göre, piyasada bulunan cihazların% 80'i kardiyovasküler (kalp hızı çoğunlukla) ölçümler gerçekleştirmekte ve % 20'si adım sayımları ve dinlenme zamanı gibi genel fiziksel aktiviteleri izleyebildiği belirtilmiştir [36]. Yazarlar, geliştirilebilir IoT sensör sisteminin MS hastalarındaki motor durum değişikliklerine duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Tasarlanan sistemin ev ortamında yeterince kararlı ölçüm sonuçları (<2.5σ) sağladığını ve bu nedenle motor durum değişikliklerinin uzaktan değerlendirilmesinde kullanılabileceğini söylemiştir. PND hastalarının M-değerlendirmesi, günümüzde gerekli olan nöroloğa randevu miktarını önemli ölçüde azaltabilir. M-değerlendirmesinin amacının, tam olarak değiştirilmemesi gereken klinik değerlendirmeleri tamamlamak olduğu vurgulanmalıdır. Çalışmaya, standart sapma  $\sigma = 1.8$  olan

ortalama EDSS = 4.1 sakatlık skoru olan 51 bireysel MS hastası dahil edilmiştir. MS bağlamında, EDSS sakatlık skoru olan hastalar 1 (neredeyse sağlıklı) ve 8 (tekerlekli sandalye) arasında değerlendirilmiştir [37]. Sistem, Bluetooth düşük enerjili (BLE 4.0) bağlanan takılabilir IoT sensörü (ler); Giyilebilir cihazlar için bir iletişim ağ geçidi olarak Android akıllı telefon ve ham ölçüm verilerini, sinyal işleme yazılımını ve web tabanlı ön uç sistemini koruyan merkezi Linux tabanlı sunucudan oluşmuştur [36].

Huang ve Cheng, IoT ile RFID teknolojisini birleştiren medikal hemşirelik sistemi tasarlamışlardır [38]. Tasarlanan sistem Kimlik Yönetim Sistemi, Çevresel Algılama Sistemi, Biyomedikal Sistem, İlaç Sistemi ve Kişisel Yönelim Sistemi olmak üzere 5 bölüm olarak tasarlanmıştır. Hastanın bulunduğu ortamdaki veriler ZigBee ve NFC yardımıyla alınarak merkez sunucuya veya akıllı telefona gönderilmiştir [38].

Otto ve arkadaşları, hastaların günlük yaşamında sağlık durumlarını takip için kablosuz bir vücut sensör ağı mimarisi tasarlamışlardır. Sistem, vücut hareketi ve kalp aktivitesini izleyen çoklu sensör düğümlerinden, bir ağ koordinatöründen ve bir kişisel dijital asistan veya bir kişisel bilgisayarda çalışan kişisel sunucudan oluşmuştur [39].

Lukowicz ve arkadaşları yüksek riskli hastalar için AMON isimli giyilebilir bilek bandı düşüncesini ortaya atmışlardır. Cihaz hastaların nabız, kandaki oksijen miktarı ve vücut sıcaklığını algılayarak sağlık sunuculara kablosuz veri linki üzerinden iletmıştır [40].

Milenkoviç ve arkadaşları, piyasada bulunan 802.15.4 uyumlu ağ düğümlerini ve özel olarak oluşturulan hareket ve kalp etkinliği sensörlerini kullanarak hastanın sağlık durumunu izlemek için prototip bir sensör ağı tasarlamışlardır. Bu düğümlerin, hastanın sağlık durumunu izlemek için kablosuz kişisel veya vücut ağıları (WPAN'lar veya WBAN'lar) üzerinden gönderilebilen bir veya daha fazla hayati işareti algılayabilme, işleyebilme ve iletişim kurabilme yeteneğine sahip olduğunu söylemişlerdir [41].

Min Woo woo ve arkadaşları ise kişisel sağlık cihazları için makineden makineye IoT tabanlı güvenilir bir sistem önermişlerdir. Yapılan çalışmaya benzer daha önceki çalışmalardan, az sayıda çalışma, hataya dayanıklı sağlık hizmetleri verileri üzerine yoğunlaşmıştır [42]. Hataya dayanıklı IoT sistemleri üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla yönlendirme problemlerine odaklanmıştır [43-45]. [43] 'de, sağlık bakımında hataya dayanıklı ve ölçeklenebilir bir IoT mimarisi önerilmiştir. Hata toleransı, düğümler arasındaki yedek hatlar vasıtasıyla, sistem düğümleri arasındaki hatlarda hataların bulunduğu durumlarda ise bağlantıyı korumak için gelişmiş servis mekanizmaları yoluyla sağlanmıştır. IoT sistemleri için önerilen bu protokol, kaynak çifti ve hedef düğümler arasındaki hatlarda var olan arızalarda bile paketlerin başarılı bir şekilde teslim edilmesini sağlamak için önerilmiştir [36]. Otomat öğrenme ve ara katman kavramlarına dayanan önerilen yaklaşım ile iletişiminde

dinamik olarak en uygun yolun seçilmesi sağlanmıştır. Dijkstra algoritması performansı artırmak ve enerji tüketimini en aza indirmek için en güvenli ve hataya en dayanıklı yönlendirme yolunu seçmek için kullanılmıştır [45]. Bir IoT sisteminde, Orta Düğüm-Ortak Hizmet Birimi' ni (MN-CSE) temsil eden, üzerine belirli bir program kurulmuş olan bir algılayıcı veya giyilebilir cihaz, bulunduğu çevreden veriyi toplayarak verileri sistemin Uygulamaya Ayrılmış Düğüm-Uygulama Birimi' ne (ADN-AE) iletmesi sağlanmıştır. Bir PHD, önerilen sistemde bir ADN-AE görevi görmektedir. Bir MN-CSE, MN-CSE'ye ait ADN-AE'leri kontrol eder veya izler; dahası, ADN-AE'ler ve Altyapı Düğümü-Ortak Hizmet Birimi (IN-CSE) arasında etkin iletişim sağlamak için gerekli işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada birebir makineden makineye protokolle Kişisel Sağlık Cihazı (PHD) yönetim servisi sayesinde ağ hatalarını giderme yoluna gidilmiştir. PHD' ler oneM2M sisteminde ADN-AE'ler olarak kullanılmıştır. Ağ geçitleri (MN-CSE'ler), PHD'leri ve PHD yönetim sunucusunu (IN-CSE) birleştirmek için kullanılır. Ağ geçitlerine atanan önemli görevlerden birisi de ISO / IEEE 11073 protokol mesajlarını PHD' lerden IoT sunucusunun oneM2M protokol mesajlarına çevirmek veya tam tersini yapmaktır. Protokol dönüştürme sürecini yönetmek için PHD' ler ve ağ geçitleri arasındaki iletişim mesajı akışı önerilmiş ve bir M2M protokol mesajları ile ISO / IEEE 11073 protokol mesajları arasındaki ilişkiler anlatılmıştır. PHD' ler için oneM2M tabanlı IoT sistemi, çeşitli deneylerde oluşturuldu ve değerlendirildi. Deneyler, protokol dönüşümünün etkin bir şekilde çalıştığını ve PHD' nin sayısı oldukça büyük olsa bile, sistemin dönüşüm sürecinden ciddi bir performans düşüşü yaşamadığını göstermiştir [42].

Yu Fu ve Jian Liu ise sporculara yönelik olarak kandaki oksijen miktarını ve nabızı (Kalp atış hızı) ölçen IoT tabanlı giyilebilir bir cihaz tasarlamışlardır. Tasarlanan cihazda bu iki parametreyi sporcudan algılamak için Texas STM32 serisi işlemci kullanılmıştır. Algılama yöntemi olarak NIRS (Yakın Kızıl ötesi spektroskopisi) yöntemi kullanılmıştır. Giyilebilir cihazda algılanan veriler GPRS/WiFi/Zigbee ağları üzerinden sporcunun kondisyon durumları antrenör ve sporcu ile ilgili doktora gönderilmiştir. Ayrıca alınan veriler GPRS/WiFi ağları üzerinden sporcu, antrenör ve doktorun telefonuna da bilgi olarak gönderilmiştir. Yine tasarlanan sistem sporcu ile ilgili acil durumlarda ise doktor ve antrenöre uyarı mesajı göndermiştir. Tasarlanan cihaz sporculara donanım platformundaki fizyolojik parametreleri sağlar. Ölçüm cihazı, LED cilt yansıma sinyalini kullanarak kişinin kan oksijen doygunluğunu ve kalp atış hızını elde etmek için analog ön uç (AFE4403 yongası) kullanır. Aynı zamanda ölçüm modülü hareket algılaması için BMA250 kullanır. BMA250, düşük güç tüketen üç eksenli ivmeölçerin dijital bir çıktısıdır. Hareket algılama sinyali ile LED yansıma sinyalini kullanarak kan oksijen doygunluğunu ve kalp atış hızını hesaplamak için karışık sinyal işlemcisi STM32 kullanılmıştır. Mikroişlemci

MSP430, tüm sistemi kontrol etmek için kullanılır. Ayrıca, cihaz iletişim fonksiyonunu karşılamak için Bluetooth / GPRS / WiFi / Zigbee iletişim modülü gibi kablosuz iletim modülünü de kullanmaktadır. Kablosuz iletim modülünün kullanılması ile sporunun kandaki oksijen miktarını ve kalp atış hızı bilgisini farklı kullanıcıların gereksinimlerine göre işleme ve analiz için sporcuların, antrenörlerin veya doktorların akıllı telefonlarına iletebilir [46].

Soji Sojuygbe ve Kevin Daniel ise IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarının sorun yumağından anten tasarımı üzerinde durmuşlardır. Çip anten yerine PCB üzerinde yerleşik olan anten modeli üzerinde durmuşlardır. Çip antenlerin her zaman optimal performansı göstermediğini ve bu yüzden uygulamalarında da gösterdikleri gibi daha optimal 2.4-2.5GHz ve 5.15-5.85GHz bantlarında çift bant PCB üzerine entegre anten tasarlamışlardır. Giyilebilir cihazlarda antenlerin insan vücuduna çok yakın olması insan vücudunun dielektrik yapısından dolayı sinyalleri absorbe edeceği için önemli bir sorundur. Yazarlar bu konuda da insan vücuduna yakınlık kalkanı adını verdikleri ve anten bölgesini kapatan bir metal koruma geliştirmişlerdir [47].

Hooshmand ve arkadaşları modern giyilebilir IoT cihazlarının, insan hayatı için çok büyük önem taşıyan kalp veya solunum sistemi durumlarını, elektrokardiyografi (ECG), fotoletismografi (PPG) yöntemleriyle ölçülmesine olanak tanıdığını söylemişlerdir. Fakat bu tür sağlık cihazlarının en önemli sorununun sürekli şarj edilmeyi gerektirmesi ve bu nedenle giyilebilir cihazların gün boyu kullanımının büyük bir zorluk olduğundan bahsetmişlerdir. Hooshmand ve arkadaşları giyilebilir cihazların batarya ömrünü artırmak ve en iyi ECG, RESP veya PPG sinyal değerlerini almak için kayıplı sinyal sıkıştırma yöntemiyle veri boyutunu küçültme, küçültme algoritmalarını incelemişlerdir. Sıkıştırma algoritmalarının 100 kata kadar sıkıştırdığını ve sinyalin çıkarılarak yeniden yapılandırılmasında ise tepeden tepeye %4' lük hata payının olduğunu söylemişlerdir. Sıkıştırma algoritmaları olarak online dictionary, gain-shape vector quantization, principal complete analysis, autoencoders, compressive sensing, DCT, discrete wavelet transform ve LTC algoritmalarını incelemişlerdir [48]. Bu algoritmaları MIT-BIH aritmi veri tabanında ECG sinyalleri üzerinde ve Zephyr BioHarness marka giyilebilir cihazla 11 gönüllü sağlıklı bireyden çalışma saatlerinde (sabah 8' den akşam 6'ya kadar) aldıkları 250 örnek/sn' lik ECG sinyalleri üzerinde test etmişlerdir. Algoritmalarından en iyi sonucu yapay sinir ağı algoritması olan autoencoders vermiştir. Bunu LTC ve PCD takip etmiştir [48,49].

Perez ve arkadaşları, İyon Duyarlı Alan Etkili Transistör (ISFET) ün, biyomedikal mühendisliği alanında sayısız uygulamaları ile popüler olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada, bireyin kanındaki glikoz seviyesini ölçmek için ISFET tabanlı bir sensör tasarlanmıştır. Sensörden alınan veriler bir mikrodenetleyicide işlenerek bir Wi-Fi

modülü sayesinde kablosuz ağ üzerinden sağlık sunuculara hastanın kan şekeri seviyesi iletilmiştir. Tasarlanan sensörün kan şekeri ölçümündeki başarı oranı %88,88' dir. Kan glikozu izlemede alternatif olarak ISFET kullanımı tek kullanımlık şeritlerin kullanılmasını ortadan kaldırmaktadır. ISFET, tek kullanımlık aksesuarlara gerek kalmaksızın tekrar tekrar kandaki glikoz miktarı ölçümü için kullanılabilir. Kimyasal bir metot olduğu için kandaki molekülleri algılamada deri altına verilecek çözelti çok önemlidir [50].

Al-Tae ve arkadaşları hastanın diyabet durumunu kendi kendine kontrol ettiği IoT tabanlı bir platform geliştirmişlerdir. Önerilen m-Sağlık yaklaşımı, bir telefon üzerinde hastanın diyabet durumunu birçok yönden kişiselleştirilmiş olarak izler ve geri bildirimler sunar. Platform diyabet hastalarının doktor tarafından verilen tavsiyelere uyup uymadığını kontrol eder ve gerektiğinde hastaya tavsiyelerde bulunur. Tasarlanan sistemin sensör ağlarının bulunduğu giyilebilir kan şekeri ölçer, kan basıncı ölçer ve ağırlık ölçer cihazlarından bilgiler kablosuz olarak telefona, telefon üzerinde de sağlık sunucularına ve sağlık portalına veriler gönderilmektedir. Önerilen mimaride verilerin güvenli aktarımı için kriptografik algoritma kullanılmıştır [51].

Chakraborty ve arkadaşları, IoT tabanlı endüstriyel uygulamalar için giyilebilir bir kablosuz elektrookulogram (EOG) kaydediciyi tanıtmışlardır. Bu cihazın, kullanım kolaylığı, taşınabilirliği ve kullanılabilirliği ile ilgili mevcut EOG kayıt cihazlarına göre avantajlarının olduğu söylenmiştir. Kayıt yazılımının, göz izleme tabanlı IoT uygulamaları üzerinde çalışan ve kullanışlı bir Android uygulaması olduğu söylenmiştir. Sistem, bu şekilde ve alının (başlık) yakınındaki biyo-potansiyeli yakalamak için Ag kaplamalı Cu elektrotlarından oluşmuştur. Analog EOG sinyali, bir enstrümantasyon amplifikatörü, bir bant geçirici kalman filtresi ve bir diferansiyel amplifikatörden oluşan bir sinyal koşullandırma devresi kullanılarak elde edilmiştir. Verilerin iletimi için gömülü bir Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Veriler bayt biçimindedir ve başarılı bağlantı sağlandığında telefonun dahili depolama alanı içinde bulunan 'LiveData.txt' adlı bir dosyaya canlı olarak yazılmıştır. Sonuçlar android cihaz üzerinde grafiksel olarak da çizdirilmiştir. Sistem standart EOG kayıt cihazları ile karşılaştırılmıştır ve sonuçların umut verici olduğu söylenmiştir [52].

## 2. Geleneksel Iot Tabanlı Takılabilir Sağlık Cihazları ( Traditional Iot Based Installable Healthcare Devices)

Wang ve arkadaşları, kablosuz olarak kontrol edilebilen ve gastrik biyoelektrik aktivite izleme sistemine entegre edilebilen ilk yüksek enerjili stimülatör implantı tasarlamışlardır. Sistem, bir ön uç birim ve bir bilgisayara bağlı harici sabit arka uç biriminden oluşmuştur. Ayrıca sistemde, Mideden RF ile alınan verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve görüntülenmesi ve verilerin çevrimdışı analiz için saklanması için LabVIEW'da bir grafik kullanıcı arayüzü tasarlamışlardır. Yazarlar

sistemin, laboratuvarlarda ve iki domuzda başarılı bir şekilde test edildiğini söylemişlerdir. Sistemin fonksiyonel gastrointestinal bozuklukların tedavisinde kullanılabilirliğini söylemişlerdir. Sistemin gastrik düşük dalgaları başarılı bir şekilde modüle edebildiği gösterilmiştir [53].

Rotariu ve arkadaşları, geçici kalp pili taşıyan hastalar için kablosuz uzaktan izleme sisteminin tasarımı ve uygulamasını yapmışlardır. Sistem, sınırlı bir alanda hasta izleme için kullanılan, kablosuz veri iletim özelliğine sahip düşük güçlü bir kalp pili etrafında inşa edilmiştir. Önerilen sistem, acil durumlarda, sağlık kurumlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve hastanın kalp atışlarını stabil tutmaya yardımcı olduğu söylenmiştir. Her kalp atışının durumu kablosuz bir ağ üzerinden bir izleme istasyonuna kablosuz olarak iletilmiştir. İzleme istasyonu, kablosuz sensör ağından verileri alan ve bu değerler önceden belirlenmiş sınırları aştığında alarmları etkinleştiren bir hasta izleme ünitesinden meydana gelmiştir. Önerilen sistem hastalara takılan geçici bir kablosuz kalp pili ağı, bir Erişim Noktası (AP) ile sabit bir yerde kablosuz ağda dağıtılan birkaç tekrarlayıcı düğüm (Range Extender - RE) ve bir hasta izleme istasyonu uygulamasından meydana gelmiştir. Deneysel bir kablosuz kalp pili prototipi uygulanmış ve test edilmiştir. İzleme istasyonunda çalışan yazılımın, bir veya daha fazla hastayı aynı anda izleyebildiği söylenmiştir. Önerilen sistemin dezavantajının, her hastanın kablosuz vericinin kapsama alanı içinde kalmasının gerekmesi olarak söylenmiştir [54].

Agarwal ve arkadaşları, in vivo uzun süreli düşük sürüklenme elde etmek için yağ sensörü kapsülleme yöntemi üzerinde bir parçilen içeren kablosuz, implante edilebilir sürekli göz içi basıncı izleme (GİB) sistemi sunmuştur. Sistem, sklera ve konjonktiva arasındaki gözün superotemporal kadrantına implante edilmiştir. Dijital okumaya sahip bir basınç sensörü (STMicronics LPS25H), kablosuz güç / veri telemetrisini destekleyen bir 65nm CMOS yongası ve basınç sensörü ile I2C seri iletişim arabiriminden oluşmuştur. Yonga ve basınç sensörü esnek bir poliimid PCB üzerine monte edilmiş ve daha sonra sensör biyouyumlu silikon yağına daldırılmış ve yerinde parçilen ile kaplanmıştır. İmplant, 915 MHz'de yakın alan RF kuplajından güç almak için bir çip üzerinde entegre RF bobini kullanmıştır. RF geri tepme yoluyla ölçüm bitlerini harici bir okuyucuya iletmıştır. GİB implantı, toplam 9,7  $\mu$  W güç tüketimi ile 0.17 mmHg basınç hassasiyeti sağlamıştır. İmplant, sistem işlevselliğini ve cerrahi implantasyonu doğrularak, bir domuz gözü ex vivo' da indüklenen GİB varyasyonlarını başarılı bir şekilde izlemiştir. Kablosuz okuyucular, IC yongasından geri beslenen verileri alarak bir mobil cihaza aktarmıştır. Kablosuz okuyucu, bir UHF RFID yonga setini (AMS 3993) kontrol eden bir Nordic nRF51 Bluetooth SoC 'u kullanmıştır [55].

Jia ve arkadaşları, kablosuz olarak kafaya monte edilebilir bluetooth tabanlı dayalı ve serbest yüzen

implante edilebilir optogenetik uyarıcı (FF-WIOS) implantın, ihmal edilebilir kaplama alanı ve yüksek güç aktarım verimliliği (PTE) ile sunmuştur. Yazarlar, gömülü  $\mu$ LED ve yansıtıcı mercekle içeren FF-WIOS ASIC, hedef kortikal nöron topluluklarını yüksek temporal ve uzamsal çözünürlükte minimum hasar ve tethering etkisi olmadan uyadığını söylemişlerdir. PTE'yi iyileştirmek ve SAR limitinin altında kalmak için, esnek bir düzlemsel verici (Tx) rezonatör, L2, kafa derisinin altında, ancak kafatasının üzerine yerleştirilecektir. Bir Headstage, L2 rezonatörüne ve FF-WIOS cihazının etrafına sarılmış bir tel-bağ alıcı (Rx) bobinine (L3) gömülmüş olan Tx bobini L1, 135 MHz'de çalışan 3-bobin endüktif bir bağlantı oluşturur ve doğrudan şarj edilir yüzeye monte bir depolama kondansatörü. Stimülasyon başlangıcında, stimülasyon parametreleri güç taşıyıcısının genlik modülasyonu ile FF-WIOS'a gönderilirken, depolama kondansatörü  $\mu$ LED'ye boşalır. Düzen sonrası simülasyon sonuçları, depolama kapasitörü şarj etme, ileri veri iletimi ve ayarlanabilir parametrelerle optogenetik stimülasyonun işlevselliğini göstermektedir. Headstage(Kafaya monte edilen cihazda)da bir CC2541 mikrodenetleyici (MCU) ve ardından bir frekans çarpanı, verimli bir E sınıfı güç amplifikatörünü (PA) içermiştir. İleri veri telemetri komutları PC'den Bluetooth Düşük Enerji (BLE) bağlantısı aracılığıyla sinyaller başlığa gönderilmiş ve güç taşıyıcısını genlikle modüle ederek FF-WIOS'a aktarılmıştır [56].

Majerus ve arkadaşları, mesane basıncını ölçmek için mevcut yöntemler, sadece mesane lümenine yerleştirilen harici kateterlere dayandığını söylemiştir. Bu yaklaşımın, kronik nöromodülasyon tedavisi için gerekli olmasına rağmen ambulator kullanımda sınırlı bir kullanıma sahip olduğunu söylemişlerdir. Yazarlar bu tespitleri göz önünde bulundurarak koşullu nöromodülasyonu desteklemek için gerçek zamanlı, kateter içermeyen mesane basıncını ölçmek üzere kablosuz bir mesane basıncı monitörü geliştirmişlerdir. Cihaz, mesaneye submukozal sistoskopik implantasyon için boyutlandırılmıştır. İmplant edilebilir mikrosistem, ultra düşük güç gerektiren uygulamalara özel entegre devre (ASIC), mikro-elektro-mekanik (MEMS) basınç sensörü, RF antenleri ve minyatür tekrar şarj edilebilir bataryadan oluşmuştur. Veriler kablosuz olarak alınarak değişen mesane basıncının nöromodülasyonu mümkün hale getirilmiştir. Güç yönetimine stratejik bir yaklaşım olarak, implantı minimize edilerek pil kapasitesi gereksinimini azaltılmıştır. Yazarlar 4 hafta boyunca kablosuz basınç monitörünü kronik hastalığı olan hayvanlara implante ederek başarılı sonuçlar almışlardır. Yazarlara göre, mesane detrusorunda kateter içermeyen kronik olarak implante edilen bir basınç izleyicisinden, gerçek zamanlı mesane basıncı algılamasının ilk örneğini oluşturmuştur [57].

Mecheraoui ve arkadaşları, bazı nörolojik engelleri nedeniyle ayak düşmesi olan hastalar için, hareketliliği geliştirmede kullanılan Tibialis anterior kasının dışsal stimülasyonunu ZigBee tabanlı bir ayak içi sensör ile

uygulamışlardır. Uygulamayı bir bilgisayar yardımıyla Bluetooth ve Wifi iletişim teknikleriyle deneysel olarak karşılaştırmışlardır. ZigBee %99,98 güvenilirlikle diğer kablosuz iletişim tekniklerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Fonksiyonel kullanım için stimülasyon, ayağın kaldırılması gerektiğinde uygulanmıştır. Bu süre genellikle hastanın ayak kabısına yerleştirilmiş bir sensör kullanılarak tespit edilmiştir. Stimülasyon ünitesi, güvenli ve güvenilir bir işlev sağlamak için sağlam bir bağlantı gerektiren sensörden distal olarak yerleştirilmiştir. Kablosuz bağlantının özellikle sınırlı hareket kabiliyeti olan kullanıcılar için uygun bir seçim olduğu söylenmiştir. Ayaktaki sensörden toplanan veriler Matlab’ da analiz edilmiştir. Yazarlar, sonuçların cesaret verici olduğunu söylemişlerdir [58].

### **B. IoT Tabanlı Akıllı Giyilebilir Sağlık Cihazı Uygulamaları (IoT Based Smart Wearable Healthcare Applications)**

Akıllı giyilebilir ve takılabilir cihazlar, geleneksel cihazlara nazaran çok daha verimli güç yönetimine sahip, sağlık sunucularıyla 24 saat esasına göre haberleşebilen cihazlardır. Bu cihazlar, fiyatı herkesin alabileceği kadar makul ve hastanın acil durumlarında sağlık sunuculara uyarılar gönderme, hasta verilerini kaydetme, depolama ve bu verilerden çıkarım yapabilme özelliğine sahip olmalıdırlar [59]. Bunlara ek olarak sürekli ölçümler ile kendini eğiterek yaptığı hataları düzeltebilmelidirler. Aşağıda literatürde bulunan akıllı giyilebilir sağlık cihazı uygulamalarına değinilmiştir.

Rigas ve arkadaşları HMM (Hidden Markov Model) ile 23 hastadan (18’i Parkinson hastası, 5’i sağlıklı birey) titreme ivmelenmesinin ölçüm verilerini (pozisyon / hareket ve titreme şiddeti sınıflaması) olarak sınıflandırma yoluna gitmişlerdir. Denekteki titremenin parkinson hastalığından kaynaklandığını %87 hassasiyetle ölçmüşlerdir. Sınıflandırma ve özellik çıkarımında çeşitli frekans bandındaki filtrelerden faydalanılmış ve özellik çıkarımı için HMM’ in maksimum olasılık modelinden (maximum likelihood) yararlanılmıştır. Ağırlık dağılımında ise Çok Yönlü Gaussian Dağılımı kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı sınıf kullanılmıştır. Bunlar normal, titreşim seviyesi 1, titreşim seviyesi 2 ve titreşim seviyesi 3 durumlarıdır [60].

Sung ve arkadaşları, hastanın günlük yaşamında rehabilitasyonu için gerçek zamanlı veri akışı ve durum sınıflandırması için esnek bir giyilebilir platform olan LiveNet sistemlerini tanımlamışlardır. Hastadan sensör ağlarıyla alınan veriler Linux tabanlı Zaurus PDA’ da sınıflandırılmış ve analiz edilmiştir. LiveNet 128 farklı vücut ve çevresel ortam işaretlerini algılayabildiği söylenmiştir. LiveNet ECG,EKG,EEG, duygu algılama, stres algılama, Parkinson hastalarının takibi, askerlerin kritik sağlık durumlarını algılama gibi birçok alanda sınıflandırma için kullanılabilirdiği söylenmiştir. Sistemin iletişim için aynı zamanda Bluetooth, GPRS, GSM, GPS, kamera ve 1xRTT modem teknolojilerine sahip olduğu söylenmiştir. HMM(Hidden Markov Model) ve FFT

teknikleri LiveNet ile birlikte askerlerin kritik durumları için uygulanmıştır [61].

Asthana ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarının çokluğundan ve hastaya uygun cihazı belirleme sıkıntısı olduğundan bahsetmişlerdir [62]. [63-66]’ deki çalışmalar da, hastadan alınan verilere göre tavsiye edilen cihazlarda doğruluğu arttırmak için makine öğrenmesi ile sınıflama üzerine yoğunlaşılması gerektiğini göstermiştir. Hastanın sağlık geçmişi ve nitelikleri (yaşadığı bölge, cinsiyeti, ırkı v.b.) göz önünde bulundurularak risk altında olduğu hastalıklar tespit edilir ve kişiye proaktif yaklaşıma göre kullanılabileceği en uygun taşınabilir cihazı tavsiye eden bir tavsiye motoru tasarlamışlardır. Tavsiye motorunda sınıflandırma için makine öğrenmesi modeli kullanılmıştır. Aynı konu hakkında daha önceki çalışmalarda da makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesinin ardıllarından farklı olarak IoT tabanlı giyilebilir cihazlardan topladığı verilerle kişiye uygun taşınabilir cihaz tavsiyesinde bulunabildiği söylenmiştir. Geri dönütler olarak hasta için daha önce kullanılmamış farklı sağlık çözümleri de üretilebileceği söylenmiştir. Makine öğrenmesinde eğitim için Amerikan Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR) veri setlerinden faydalanılmıştır [67]. Sınıflandırma modeli için ise Weka kütüphanesinden faydalanılmıştır [68]. Tasarlanan makine öğrenme modeli 50 farklı hastalık riski için 135.000 veri örneği ile eğitilmiştir.

Zeng ve arkadaşları insan aktivitelerini açık bir şekilde tanımlamak için akıllı telefonda bulunan mobil sensörler aracılığıyla insan aktivitelerini algılayan konvolüsyonel yapay sinir ağı tasarlamışlardır. Özellik çıkarımı için Konvolüsyonel Yapay sinir ağı(CNN) kullanılmıştır. Giriş data boyutu 64x64x64’ e ayarlanmıştır. Konvolüsyonel katmanda zeropad kullanılmamış ve çıkışta 12x12x12 boyutu elde edilmiştir. Konvolüsyonel tensor’ lar max pooling yardımıyla üçte birine düşürülmüştür. Daha sonra gizli katmanda 1024 ve 30 adet vektörel ağırlığa sahip 2 katmandan oluşmuş ve çıkışta en yakın değeri 1’e çekmek için 4x4x4 çıkışlı bir softmax fonksiyonu kullanılmıştır [69]. Eğitim için Skoda (montaj hattı faaliyetleri), Opportunity (mutfak aktiviteleri), Actitracker (jogging, yürüyüş vb.) veri setleri kullanılmıştır [70-72].

Yasin ve arkadaşları, Ventriküler Aritmi, Ventriküler Fibrilasyon ve Ventriküler Taşikardi gibi hastalıkları (Amerikan Kalp Sağlığı Birliği’ ne göre 3 saat önceden tahmin hastaya müdahale için yeterli bir zamandır.) tahmin etmek için ultra düşük güçlü ve güvenli, IoT tabanlı bir sağlık ünitesi tasarlamışlardır [73,74]. Bu çalışmada giyilebilir cihazlarla ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda özellikle enerji verimliliğinin artırılabilirdiği, fakat güvenlik ve gizlilik politikalarının ikinci plana atıldığı söylenmiştir. Bu yüzden araştırma ve tasarım çalışmasının da bu ikinci plana yoğunlaştığı söylenmiştir. IoT tabanlı cihazlar internet veya bir ağ üzerinden birbirlerine veya merkezi bir sunucuya bağlı oldukları için ağ üzerinden siber saldırılara açık olduğu



ve bu yüzden saldıran kişinin hasta verilerine ulaşabileceği söylenmiştir. Ayrıca Ters Tasarım Mühendisler (Reverse Engineer) in IoT tabanlı bu sistemlere girişimde (Hacking) bulunarak sistemin mimarisini veya bilgilerini çalabileceği söylenmiştir. Kullanılan geleneksel güvenlik sistemlerinin çok karmaşık hesaplama algoritmalarına sahip olan kimlikleme sistemleri olduğu ve bunun enerji verimliliğini etkilediği vurgulanmıştır. Geleneksel güvenlik algoritmalarının güvenliğin bir yönünü halletmesi ve donanım tabanlı atakların göz ardı edildiği söylenmiştir. Çalışmada saldırganların tehdit yöntemlerinden (trojen, ters mühendislik, var olan sistemin kopyasını yapma vb.) bahsedilmiştir. Ayrıca bu çalışmada bütünsel entegrasyon yoluyla mikroişlemci kılıf üzerine daha düşük maliyet gerektiren daha esnek mimari yapısı (low-overhead system-on-chips (SoCs)) yüklenmiştir. Sistemde bilgileri kaydetmek için SRAM1 ve SRAM2 olmak üzere 2 farklı SRAM bloğu kullanılmıştır. Devrede EKG sinyallerini ayırık dalgacık dönüşümü kullanarak çıkarmak için DSP ünitesi kullanılmıştır. Çeşitli lojik kilitleme devrelerinden avantajları ve dezavantajları yönünden bahsedilmiş; fakat güvenlik katmanı olarak SARLock(SAT(En şiddetli atak olan boolean inandırıcı atakları) ataklarını koruyucu) tabanlı XOR 128 bit lojik kilitleme devresi benimsenmiştir. Donanım tabanlı saldırıları engellemek için devredeki EKG şifre jeneratörü hastanın kalp ritmini kullanarak benzersiz şifreler ürettiği belirtilmiştir. Bu sayede donanım tabanlı saldırıların engellendiği söylenmiştir. Tasarlanan VA(Ventricular Aritmi) işlemcisinin EKG sinyalini, ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflama bölümlerinden geçirerek elde ettiği söylenmiştir. QRS kompleksinden bahsedilmiş ve vücuttan alınan EKG sinyallerinde özellik çıkarımı sayesinde QRS kompleksinin olduğu bölgeler alınarak diğer bölgeler ayıklanmıştır. Bu da daha düşük RAM (8 KB' dan, 4 KB' a düşürmüştür.) kullanımını sağlamıştır. EKG sinyalleri 250 Hz örnekleme frekansında örneklenip alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek devre bloklarına uygulanmış ve QRS, T ve P sinyalleri elde edilmiştir. Sinyal sınıflama için Naive Bayes sınıflandırıcı kullanılmıştır. Özellik çıkarımından VA,VT ve VF yakalanmaya çalışılmıştır. Sınıflandırıcı parametrelerinin güvenliğini sağlamak için, tasarım parametresi tabanlı lojik kilitleme devresi(DPLL) , bellek(Tamper-proof memory) için tahmini hız lojik kilitleme devresi(PRL), VA işlemcisine yetkilendirilmemiş erişimi engellemek için Servis Reddi(DSSL) lojik kilitleme devreleri güvenlik amaçlı kullanılmıştır. Kilitleme devrelerinin parametreleri Python Script' lerıyla yazılmıştır. Önerilen VA işlemci, benzer son teknoloji ürünü işlemcilerle karşılaştırıldığında güç tüketiminde% 62,2'lik ve alanlarda% 16.0'lık bir düşüş sağlamıştır [73]. Çalışmada PhysioNet NSRDB, AHA(American Health Association), MIT-BIH veri kümeleri kullanılmıştır [49,74,75].

Rav'ı ve arkadaşları IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda insan aktivitelerini algılayabilecek derin öğrenme yöntemini kullanan sistem tasarlamışlardır. Fakat sistemin eğitimini ve testini düşük güçlü giyilebilir cihazlarda yaptıkları için derin öğrenmedeki hesaplama katmanlarını ve ağırlıkları asgari şekilde kullanmak durumunda kalmışlar ve derin öğrenme bölümünü eğitmede sorunlarla karşılaşmışlardır [76]. Halka açık 4 veri setinden en iyi sonucu veren WISDM v1.1 veri seti olduğu belirtilmiştir [77].

[76]'daki çalışmalarından hareketle Rav'ı ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda düğüm sensöründen elde edilen insan aktivitelerini belirleyen (Human Activation Recognition-HAR) verileri sınıflama sorununu Derin Öğrenme (Deep Learning) ve Sığ Özellik(Shallow Feature) yöntemini bir arada kullanarak gidermeye çalışmışlardır [78]. Ayrıca bu çalışmalarında daha önceki çalışmalarından farklı olarak Derin Öğrenme katmanının eğitim ve testleri giyilebilir cihaz yerine NVidia TITANX 64 gb GPU' ya sahip bilgisayarda yapılmıştır. Bu da öğrenme ve tanıma oranını büyük oranda arttırmıştır. Derin Öğrenme (Deep learning)' de 32 filtre ve her katman 80 nöron(kernel) kullanılmıştır. Sistemde insanların yaptıkları gerçek zamanlı aktiviteler ivmeölçer ve cayroskop yardımıyla algılanmıştır. Farklı sensörler de eklenerek ECG ve EMG sinyal sınıflaması da yapılabileceğini belirtmişlerdir. Algılayıcılar için IoT tabanlı akıllı telefon, saat, giyilebilir cihaz ve bunların yazılım uygulamalarından faydalanmışlardır. Derin Öğrenme (Deep Learning) kısmı için bu tür akıllı sistemlerdeki bazı sınırlılıklar nedeniyle(GPU, dataset gibi) 1-D Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağı (Convolutional Neural Network-CNN) kullanılmıştır. Spektrogram' in tasarımının derin öğrenme (deep learning) için çok önemli olduğu belirtilmiştir. Çünkü değişmeyen örnekleme zaman formu sağlayarak yorumlanabilir özellikleri derin öğrenmeye (deep learning) sağlaması derin öğrenmenin sınıflandırması için önemli olduğu belirtilmiştir. X' in bir sinyali temsil ettiği spektrogram bölüt ayıklamasında(spektrogram segment extraction) Kısa Zaman Furier Dönüşümü(STFT-Short Time Fourier Transform) kullanılmıştır. Halka açık 5 veri setinden en iyi sonucu veren WISDM v1.1 veri seti olduğu belirtilmiştir [77,79]. Veri setleri 10 kat çapraz geçirme kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada ilk defa sığ özellik çıkarımı ve derin öğrenme yöntemleri bir arada insan aktivitesini algılamak için kullanılmıştır [78].

B. Yong ve arkadaşları, ekonomik büyümeyle birlikte insanların refah seviyesinin artmasına paralel olarak Fitness merkezlerinin sayının hızla arttığını söylemişlerdir. Sadece Çin' de 2009-2014 yılları arasında fitness endüstrisinde %84 oranında büyüme olmuştur. Yine Amerikan Spor Tıbbı Koleji raporuna göre da 2016' da giyilebilir cihazlar, sağlık uygulamaları, fitness uygulamaları ve foam roller mihenk taşı olmuştur. Yazarlar, bireylerin yoğun iş temposunda daha fazla enerjiye ihtiyaçları olduğu ve bu nedenle vücutlarını formda tutma ihtiyacı hissettiklerini belirtmişlerdir [83].

Tasarlanan IoT tabanlı sistem, sensörler yardımıyla bireyin spor yaptığı fitness cihazlarından, giyilebilir cihazlardan ve bir web kamera vasıtasıyla görüntü verilerini alarak bu verileri analiz edip ve bireyin doğru ve düzenli egzersiz faaliyetlerini yapması için veriler sunduğu söylenmiştir. Sistemde veriler fitness cihazlarındaki sensörler vasıtasıyla sunucu kümesine ve oradan da derin öğrenme tabanlı server' a, giyilebilir cihazlardaki sensörler vasıtasıyla veri toplama kartına (Development Kit) ve oradan da yine server' a olmak üzere iki farklı yoldan ana analiz ve yorumlama makinasına iletilmiştir. Giyilebilir ve takılabilir cihazlardaki sensörlerin telefon veya geliştirme kiti ile kablosuz bağlantısı ESP8266 modülü ile gerçekleştirilmiştir. Bireyin attığı adım, yaktığı kalori egzersiz faaliyetleri sırasındaki nabız durumu giyilebilir cihazdaki sensörler vasıtasıyla sürekli kontrol edilmiştir. Sistemde merkezdeki 3D Derin Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağı (3D Deep Convolutional Neural Network)' na sahip ve GPU üzerinde çalışan sistemin eğitimi için 100 videodan oluşan KTH veri seti kullanılmıştır [84]. Bu veri setindeki hareketler temel alınarak bireyin yaptığı egzersiz faaliyetleri 6 farklı sınıfa ayrılmıştır. Bireyin egzersiz faaliyetleri web kamera vasıtasıyla kontrol edilerek bireyin egzersizi uygun bir şekilde yapması için çeşitli tavsiyeler verilmiştir. Ayrıca bireye geliştirilen android uygulaması sayesinde egzersiz hatırlatması, sağlık durumu hatırlatması, gıda hatırlatması ve fitness merkezi faaliyetleri hakkında mesajlar gönderilmiştir. Web ara yüzü olarak Django kullanılmıştır. Bu makalede yapılan çalışma, bu alanda yapılan ilk çalışma olduğu için karşılaştırmalı analiz yapılamamıştır [83].

Sandeep K. Sood ve Isha Mahajan dünya genelinde 60 ülkede 10 bin' lerce vaka olarak tespit edilen ve en az Zika ve Dengue virüsleri kadar etkili olan Chikungunya virüsünün(CHV) erken tanınması ve kontrolü için giyilebilir sis hesaplama (fog computing) sistemine sahip bir giyilebilir cihaz geliştirmişlerdir [85,86]. IoT destekli sis hesaplama dayalı sağlık izleme sistemi, hastalığın erken dönemlerinde muhtemelen enfekte olmuş kullanıcıları CHV' den tanımlamak için kullanılabilir; böylece CHV salgınının kontrol edilebileceği söylenmiştir. Sis gözlemciliği, düşük gecikme süresi, minimum tepki süresi, yüksek mobilite, gelişmiş hizmet kalitesi, yer bilinci ve giyilebilir cihazın kendisini ağın yanında hissetmesi gibi faydalar sağladığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, CHO salgınına belirlemek ve kontrol altına almak için IoT ve sis temelli sağlık sistemi önerilmiştir. Bulanık C araçları (FCM), muhtemelen enfekte olmuş kullanıcıları teşhis etmek ve kullanıcılara sis katından hemen tanı ve acil durum uyarıları üretmek için kullanılmıştır. Ayrıca, bir bulut sunucusunda, CHV salgını durumunu temsil etmek için sosyal ağ analizi (SNA) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarının hem sis hesaplama, hem de bulut bilişim hizmetlerini birlikte kullanma avantajlarına vurgu yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, kullanıcıyı FCM kümeleme kullanarak CHV'den muhtemelen enfekte veya enfekte olmamış olarak doğru tanınması ve sis sisteminden kullanıcının

mobil cihazına tanılama uyarıları göndermesi için sis tabanlı akıllı sistem önerilmiştir. Ayrıca, virüs bulaşma risk eğilimli veya virüs bulaşmış bölgeleri ziyaret eden ya da bu bölgelerde yaşayan enfekte olmayan kullanıcılara zamanında acil durum uyarıları da ürettiği söylenmiştir. Önerilen sistemin deneysel sonuçları, bulut bilişim teknolojisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen çerçevenin bant genişliği verimliliğine, minimum yürütme süresine ve gerçek zamanlı bildirimlerin oluşturulmasında minimum gecikmeye ulaştığı söylenmiştir. IoT sensör katmanının, sağlıkla ilgili belirtiler ve kullanıcıya ilişkin çevredeki çevre içindeki çeşitli olaylar hakkında veri toplanmasından sorumlu olduğu söylenmiştir. Toplanan veriler arasında sağlık verileri, çevresel veriler, tıbbi veriler, konuma dayalı veriler ve meteorolojik verilerin yer aldığı söylenmiştir. Veriler, kullanıcının vücuduna, içerisine ve çevredeki yerlerine yerleştirilen kablosuz donanım cihazlarından toplanmıştır. Bu cihazların gerçek zamanlı olarak veri algılama ve aktarma yeteneğinin olduğu söylenmiştir. Sis hesaplama katmanı, IoT sensörleri ve bulut bilişim katmanı arasında bir köprü görevi gördüğü söylenmiştir [85].

Huang ve arkadaşları, diyet takibinin, hastalık teşhisi, vücut ağırlığı kontrolü ve diyet alışkanlığı yönetimi için değerli bilgiler sağlayabildiğini ve böylece hastalar, diyetisyenler ve beslenme uzmanları tarafından doğru tedavi için kullanılabilirliğini söylemişlerdir. Yazarlar, daha önce geliştirilen tekniklerin kullanıma günlük kullanım için uygun olmadığını söylemişlerdir[88]. Mevcut çözümlerin sıkıcı manuel kayıt gerektirdiği için günlük aktiviteleri engelleyebileceğini söylemişlerdir. Bu nedenle, Amerika Vizyon Konseyi istatistiklerine göre, yetişkinlerin yaklaşık% 64'ü gözlük taktığı da dikkate alınarak bu çalışmada akıllı bir diyet takibi gözlüğü tasarlanmıştır [88]. Buradaki ana fikir, insanlar gözlük taktıkları zaman, gözlüklerin kulak bağlantılarının çiğneme kaslarından biri olan temporalis kasının alt kısmı ile temas halinde olmalarıdır. Bir elektromiyografi (EMG) sensörünü gözlüklere entegre ederek, gözlüklerin ağıza alım ile ilgili olayları tespit etmek için temporalisin kas aktivitesini ölçmesi sağlanmıştır. Sistem tasarımında EMG sensörü, mikro denetleyici, SD kart ve bir Bluetooth kullanılmıştır. Akıllı telefona bluetooth vasıtasıyla gözlükten alınan bilgiler çiğneme ve gıda çeşitlerinin sınıflandırılması hakkında bilgi sağlamışlardır. Yedi denek üzerinde geniş deneyler yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Sistem, Çiğneme döngülerini % 90,8 ve beş çeşit yemeği de % 96 doğruluk ile sınıflandırmıştır. Gıdalar, Weka kütüphanesinden J48 karar ağacı sınıflandırıcısı kullanılarak sınıflandırılmıştır [89]. Deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir [87].

W.Y. Shi and J.-C. Chiao, sinir ağ tekniğine dayalı olarak bluetooth tabanlı giyilebilir bir bilek sensörü kullanarak kalp seslerinin S1 ve S2 akustik sensör parametrelerini tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır [90]. Bu yöntem kullanılarak, kalp ritimleri gerçek zamanlı olarak ve uzun bir süre bir bilek cihazı ile potansiyel olarak

analiz edilebilir ve izlenebilir. İnsan vücudundaki farklı arter bölgelerindeki kan damarlarındaki kardiyak nabız dalgalarının hızları ve zaman gecikmeleri deneysel olarak hesaplanmıştır. Kalp atımlarının el bileği arterine sinyal zayıflaması incelenmiş ve arterde darbe-dalga şekli transfer modeli önerilmiştir. İki katmanlı ve 500 transig nöronlu bir sinir ağı, bilekten kalbe ters akustik transfer fonksiyonunu taklit etmek için kullanılmıştır. Yapay sinir ağı eğitimi için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır [91]. Orijinal kalp sesleri parametreleri ile kardiyak seslerinin sinir ağı tarafından tahmini arasındaki karşılaştırmalar, sinir ağının hassasiyetini doğrulamak için yapılmıştır. Orijinal ve tahmini kalp seslerinin akustik özelliklerinin% 100'e varan bir doğrulukta olduğunu ve kalp hızlarının% 99'a varan bir doğruluk oranına sahip olduğunu bulmak cesaret vericidir. Önerilen bilek sensörü, bluetooth tabanlı bilgisayara

veri aktarabilen kablosuz giyilebilir bir monitör görevi görmektedir [90].

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

İncelenen çalışmalarla ilgili özellikler karşılaştırmalı olarak **Çizelge 1.**' de çıkarılmıştır. **Çizelge 1.**' deki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların çoğunluğunun hastaların kardiyovasküler sistemini takip ederek, odaklandıkları çalışma(fitnes, öfke ve stres kontrolü, anormal kalp aktiviteleri, hipoglisemi v.b) ile bir korelasyon yapma yoluna gittiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların 11' inin canlı denekler veya veri setleri kullanan akıllı sistemler olduğu görülmektedir. Akıllı sistem çalışmaları makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlıdır. Çalışmalardan Parkinson, MS, epilepsi gibi nörolojik hastalıkların da gündelik yaşamda takibi için çalışmaların hız kazandığı görülmektedir.

**Çizelge 1.** İncelenen Çalışmaların Karşılaştırılması (Comparison of Analyzed Work)

Yazarlar	Konu	Özellikler	Algoritma Tipi	Veri Seti	Hassasiyet
Khan [12]	IoT tabanlı Hasta Takibi	WBAN, RFID, Wifi ile EEG, Kan Glikoz, EKG, Vücut Sıcaklığı, Hareket Ölçümü	-	-	-
Lebepe ve arkadaşları[13]	IoT tabanlı Stres durumu için vücut sensör ağı	WBAN, Bluetooth ile Kan basıncı (BP) , kalp atış hızı, solunum ve gözbebeği genişliği ölçümü	-	-	-
Majoe ve arkadaşları[15]	IoT tabanlı akıllı sensörler ile Stres ve Uyku kalitesi yaklaşımı	OPTIMI WBAN sensör ağı, RF alıcı-verici ile EKG ve kalp atış hızı ölçümü	-	MIT BIH Arrhythmia (128 bireye ait kalp atış verisi)[49]	-
Alexander ve arkadaşları[16]	Giyilebilir Kablosuz Kol Bandı kullanarak Mobil EKG İzleme Cihazı	Arduino, Bluetooth ve EKG sensörü ile EKG ve nabız ölçümü	Pan and Tompkins, linear digital filtering, nonlinear transformation, decision rule	-	-
Yotha ve arkadaşları[17]	Diyabetik Hipoglisemi Monito Kablosuz Sisteminin Tasarımı ve Yapımı	mini Arduino ve Wifi modül tabanlı vücut sıcaklığı, nem ve nabız ölçümü	-	-	-
Kaplan ve arkadaşları[19]	Aile Hekimleri İçin Mobil Fizyolojik Sinyal İzleme Sistemi	Bluetooth ve E-sağlık platformu tabanlı vücuttaki çeşitli fizyolojik işaretlerin ölçümü ile hasta takibi	-	-	-
Akıllı implante edilebilir sağlık cihazları herhangi bir çalışma bulunmamıştır.	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etme	ile alakalı WBAN sensör ağlarına akıllı algoritmalar uygulayarak enerji tüketiminin azaltılması	Aralık ve data transmisyon girişim algoritması	-	%99.5 veri azaltımı

Kang ve arkadaşları[20]	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etme	WBAN sensör ağlarına akıllı algoritmalar uygulayarak enerji tüketiminin azaltılması	Aralık ve data transmisyon girişim algoritması	-	%99.5 veri azaltımı
Benadda ve arkadaşları[21]	Giyilebilir sağlık uygulamaları için güvenli IoT çözümü, örnek olay çalışması Elektrik Imp geliştirme platformu	Wifi ve Elektrik Imp modülleri ile yaşlı hastaların takibi	C-means ve CFS algoritmaları	-	-
V. Jha ve arkadaşları[22]	IoT tabanlı Giyilebilir Öfke Durumu İzleme Sistemi	Arduino ve GSM modül ve sensör ağları ile, kalp atış hızı değişimi, vücut sıcaklığı ve 3D vücut ivme ölçümü	-	19-25 yaş arası 10 gönüllü kadın birey	
Santhi ve arkadaşları[24]	IoT tabanlı Hamilelik Dönemi Anne ve Bebeğin Takibi	MSP CC3200, Wifi, kalp atışı, sıcaklık ve kan basıncı ölçümü	-	-	
M.Delrobaei ve arkadaşları[25]	IoT Giyilebilir sensörler kullanarak Parkinson hastalarının titremesinin uzaktan izlenmesine doğru	EMG, ivmeölçer, jiroskop, gonyometre ve optik hareket yakalama sensörleri ile vücut titreşim ölçümü	-	45-85 yaş arası 22 sağlıklı, 18 PD hastası birey	% 95
Chen ve arkadaşları[34]	Giyilebilir Sensörleri Kullanarak Parkinson Hastalığı Olan Hastaların Ev ortamında İzlenmesi için Web Tabanlı Bir Sistem	Shimmer sensör tabanlı MercuryLive BSN(802.15.4), RTMP video ile vücut titreşimlerinin izlenmesi	SVM(Support Vector Machine)	-	-
Kuusik ve arkadaşları[35]	Nörolojik Hastalığa sahip hastalar için giyilebilir M-Değerlendirme Sistemi	Bluetooth ve Atalet sensörleri MS(Multiple Sklerozis) hastaları için hareket ölçümü	EDF (European data format)	51 MS hastası birey	-

Huang ve Cheng[38]	Tıbbi Hemşirelik Sisteminde IoT Uygulaması ile Birleştirilmiş RFID Teknolojisi	WSN, Wifi, ZigBee, Bluetooth, 2G/3G, RFID, NFC ile çeşitli biyolojik işaretlerin ölçümü	-	34 yaşlı birey	-
Otto ve arkadaşları[39]	IoT tabanlı Her Yerde Sağlık Taraması İçin Kablosuz Vücut Alanı Sensörü Ağ Sistem Mimarisi	WSN, WLAN, WWAN ile EMG, EKG işaretlerinin ölçümü	-	1 kalp hastası birey	-
Lukowicz ve arkadaşları[40]	AMON: Yüksek Riskli Hastalar İçin Giyilebilir Bir Medikal Bilgisayar	GSM modül ve bileklik ile EKG ve kan basıncı ölçümü	-	-	-
Milenkovic ve arkadaşları[41]	IOT Kişisel sağlık izleme için kablosuz sensör ağları: Sorunlar ve bir uygulama	WBAN, WLAN, WWAN ile EMG ve hareketlerin ölçümü	-	-	-
Min Woo Woo ve arkadaşları[42]	Kişisel Sağlık Bakım Cihazları için güvenilir bir IoT sistemi	MN-CSE, ADN-AE, IN-CSE ile güvenilir EKG, oksijen saturasyonu ölçümü	Hata tolerans algoritması	-	-
Yu Fu ve Jian Liu[46]	IoT tabanlı sporcu sağlık takibi	NIRS, ZigBee/GPRS/Wifi ile oksijen saturasyonu, nabız ölçümü	-	-	-
Soji Sojuyigbe ve Kevin Daniel[47]	IoT giyilebilir cihazlar için anten tasarımı	2.4-2.5GHz ve 5.15-5.85GHz bantlarında çift bant PCB anten	-	-	-
Hooshmand ve arkadaşları[48]	IoT Giyilebilir Cihaz Enerji verimliliği için Sıkıştırma Algoritmaları Kullanımı	Zephyr BioHarness marka giyilebilir cihazla PPG, RESP ve EKG ölçümü	Online dictionary, gain-shape vector quantization, principal complete analysis, autoencoders, compressive sensing, DCT, discrete wavelet transform ve LTC sıkıştırma algoritmaları	11 gönüllü sağlıklı birey, MIT-BIH Ahythmia [49]	Autoencoder en iyi sıkıştırma algoritması olarak belirlenmiştir.
Perez ve arkadaşları[50]	Hastaların Kan Şekerini Takibi için IOT Giyilebilir ISFET Sensör Tasarımı	Wifi ve kimyasal metotla kan glikoz ölçümü	-	-	% 88.88

Al-Taeve ve arkadaşları[51]	Diyabet Hastalarının IoT tabanlı takibi	Mobil ağ geçidi ile Kan basıncı, ağırlık ve kan şekeri ölçümü	-	22 diyabet hastası	% 80
Chakraborty ve arkadaşları[52]	IoT tabanlı endüstriyel uygulamalar için giyilebilir bir kablosuz elektrokulogram	Android ve Wifi tabanlı Elektrokulogram (EOG)	-	-	7.8 db(SNR)
Wang ve arkadaşları[53]	Kablosuz kontrollü gastrik biyoelektrik aktivite izleme sistemine entegre edilebilen ilk yüksek enerjili stimülatör implantı	RF ve Wifi tabanlı ve LABwiev üzerinden görüntü işlem ve analizine dayalı mide stimülasyon izleme sistemi	-	2 test hayvanı (domuz) üzerinde denenmiştir.	-
Rotariu ve arkadaşları[54]	Geçici kalp pili taşıyan hastalar için kablosuz uzaktan izleme sistemi	WSN, Erişim Noktası (AP), Tekrarlayıcı Düğüm(Range Extender - RE)	Nabız algılama algoritması	-	-
Agarwal ve arkadaşları[55]	Kablosuz, implante edilebilir sürekli göz içi basıncı izleme (GİB) sistemi	Mobil telefon, Bluetooth ve RFID tabanlı göz içi basınç ölçümü	Bluetooth için auto-tuning algoritması	Ex vivo domuz gözü üzerinde denenmiştir.	-
Jia ve arkadaşları[56]	Kablosuz olarak kafaya monte edilebilir bluetooth tabanlı dayalı ve serbest yüzen implante edilebilir optogenetik uyarıcı (FF-WIOS) implant	PC ve Bluetooth tabanlı optogenetik uyarıcı	-	Fareler üzerinde denenmiştir	-
Majerus ve arkadaşları[57]	Koşullu Mesane Nöromodülasyonu için Kablosuz İmlante Edilebilir Basınç Monitörü	Kablosuz ve katater içermeyen RF tabanlı Mesane basınç ölçümü	-	Labaratuvar hayvanları	-
Mecheraoui ve arkadaşları[58]	Ayak düşmesi stimülasyonunda kullanılan ZigBee tabanlı bir kablosuz ayakkabı içi sensör	ZigBee tabanlı ayakkabı içi stimülatör	Topuk hareketi algoritması	-	%99,98
Rigas ve arkadaşları[60]	Parkinson hastalarında titreme aktivitelerinin değerlendirilmesi	HAYIR	Hidden Markov Model	23 denek (18 parkinson hastası, 5 sağlıklı denek)	% 87

Sung ve arkadaşları[61]	LiveNet IoT Giyilebilir ve Takılabilir Cihazlar için Algılama, Sınıflandırma ve Analiz Sistemi	LiveNet WBAN ile EKG, sıcaklık, nabız v.b çeşitli biyolojik işaretlerin ölçümü	HMM (Hidden Markov Model) FFT (Fast Fourier Transform)	Belirtilmemiş	%95-%100
Asthana ve arkadaşları[62]	IoT ve giyilebilir teknolojiler kullanılarak Önleyici sağlık hizmeti için akıllı tavsiye sistemi	WBAN ve ağ geçidi ile vücut sıcaklığı, ağırlık, 3d ivme ve nabız ölçümü	Metin madenciliği modeli	Amerikan elektronik sağlık kayıtları (135.000) [58]	0,1066 RMSE
Zeng ve arkadaşları[69]	Mobil sensör ağı kullanarak CNN tabanlı insan aktivite tanımlaması	Mobil sensör ağı ile 3D ivme ölçümü	Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları(PCA-ECDF)	Skoda[70] Opportunity [71] Actitracker [72]	% 88.19 % 76.83 % 96.88
Yasin ve arkadaşları[73]	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda kardiyovasküler hastalıkların tahmini için güvenli işlemci	Düşük güçlü EKG işlemcisi ile EKG ölçümü	DPLL, PRL, SARLock	AHA(American Hearth Association) [74] PhysioNet NSRDB[75] MIT-BIH[49]	% 86
Rav'ı ve arkadaşları[76]	İnsan Aktivitesi Tanıma için Derin Öğrenme: Düşük Güçte Cihazlarda Kaynak-Verimli Bir Uygulama	İvme ölçer ve jiroskop ile insan aktivite ölçümü	STFT, Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	WISDM v1.1 [77] ActiveMiles [79] Daphnet FoG[80] Skoda[70]	% 98.2 % 95.1 % 91.7 % 96.7
Rav'ı ve arkadaşları[78]	Mobil ve giyilebilir sağlık cihazları için düğüm noktası sensör analizine derin öğrenme yaklaşımı	İvmeölçer ve jiroskop ile insan aktivite ölçümü	STFT, Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	ActiveMiles [79] WISDM v1.1 [77] WISDM v2.0 [81-82] Daphnet FoG[80] Skoda[70]	% 95.7 % 98.6 % 92.7 % 95.3 % 95.8
B. Yong ve arkadaşları[83]	IoT tabanlı akıllı fitness sistemi	İvme ve nabız ölçer ile yakılan kalorinin hesaplanması	3D Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	KTH veri seti[84] (100 video)	% 88.6
Sandeep K. Sood ve Isha Mahajan[85]	Çikunya virüsünün belirlenmesi ve kontrol altına alınması	Sağlık sensörleri, konum sensörleri, ilaç sensörleri, çevre sensörleri ve meteorolojik sensörler ile enfekte bireyin bulunması	Fuzzy C-Means	Health data Environmental data Medicinal data Location data Meteorological data	%91.4

Huang ve arkadaşları[87]	Gözlükleriniz Diyetinizi Biliyor: Elektromiyografi Sensörleri Kullanarak Diyet Denetimi	Bluetooth ve akıllı telefon tabanlı diyet takibi	Weka J48 karar ağacı[89]	7 insan denek	%96
W.Y. Shi and J.-C. Chiao[90]	Kablosuz Giyilebilir Bilek Sensörü Kullanarak Sinir Ağı Tabanlı Gerçek Zamanlı Kalp Sesi Takibi	Bluetooth tabanlı ve 2 akusitik sensör ile kalp seslerini dinleme	İki katmanlı 500 tansig nöronlu Levenberg-Marquardt algoritması[91]	-	%99

**Çizelge 1.**' de görüldüğü gibi odaklanılan konulara yönelik çalışmalarda genellikle kablosuz sensör ağlarına dayalı EKG, nabız, vücut sıcaklığı ve vücut ivmelenmesi gibi ölçümler kullanılmıştır. Çalışmalarda 7 adet geleneksel ve 1 adet akıllı takılabilir cihaz uygulaması da görülmektedir. Yapılan çalışmalar genelde teşhis ve izlemeye yöneliktir. Tedaviye yönelik cihaz uygulamaları **Çizelge 1.**' den de görüleceği gibi oldukça azdır. Hem geleneksel mimariyi, hem de yapay zekâ uygulamalarını birleştiren çalışmalar da başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

##### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Doktorların veya diğer sağlık hizmetleri görevlilerinin, kronik olarak devam eden hastalıklar için hastayı en iyi izleyebileceği ortamlar hastanın doğal yaşamıdır. Bundan dolayı hastaları doğal yaşamında izlemek için çeşitli taşınabilir izleme cihazlarına ihtiyaç vardır. Bu cihazlar hastalardan aldıkları veriyi ilgili sağlık hizmet sunucularına (hastaneler, sigorta şirketleri vb.) göndererek o kişiye ve sağlık hizmetlerinde geleceğe dönük çeşitli kararları daha verimli bir şekilde almalarını sağlayabilir. Çalışmada IoT tabanlı geleneksel yöntemlerle yapılan uygulamalar ve akıllı sistem uygulamaları ayrı ayrı incelenmiş ve tartışılmıştır. Çalışmaların kardiyovasküler sistemlere yönelik uygulamalar üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Giyilebilir ve takılabilir sistemlerde akıllı uygulamalar kullanılarak sağlık sunucularının ve sistemlerin iş yükü, sistemlerin enerji verimi ve güvenliği gibi sorunlara çözümler getirmeye çalışılmıştır.

IBM Truenorth, Samsung Exynos 8895 ve Huawei Kirin 970 gibi NPU (Neural Processing Unit)' ya sahip çipler ileriye dönük IoT tabanlı uygulamalar için kullanılabilir. Bu çipler sayesinde eğitilebilir-öğrenen sistemler artık doktor veya hemşireye gerek kalmadan hastadaki giyilebilir sensör ağlarından bilgileri alarak, hasta için bir sağlık sunucu gibi görev yapabilir. Örneğin hastanın, vücuttan EEG, EKG, EMG, kan basıncı, kan şekeri v.b parametreler yapay işlem ünitesine sahip giyilebilir cihazlarla alınabilir ve hastanın kendisi hakkında hastaneye gitmeden bilgi sahibi olması sağlanabilir.

Hatta ilerdeki çalışmalar için MR, ultrasonografi gibi tanılama tekniklerine alternatif olabilecek bölgesel vücut simülasyonu NPU' lu çiplerin kullanıldığı giyilebilir cihazlar vasıtasıyla hastada gelişen herhangi bir lezyon ön tanısı sağlanabilir.

##### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] He W., Goodkind D. and Kowal P., "An Aging World: 2015", *US. Census Breau International Population Reports*, 95: 1-16, (2016).
- [2] Neagu G., Preda Ş. and Stanciu A., "A Cloud-IoT Based Sensing Service for Health Monitoring", *The 6th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering – EHB*, Sinaia, 53 – 56, (2017).
- [3] Qi J., Yang P., Amft O., Dong F. and Xu L., "Advanced internet of things for personalised healthcare systems: A survey", *Pervasive and Mobile Computing*, 41: 132–149, (2017).
- [4] <http://www.businessinsider.com/there-will-be-34-billion-iot-devices-installed-on-earth-by-2020-2016-5>, "There will be 24 billion IoT devices installed on Earth by 2020" , (Accesed 29 Feb 2018).
- [5] Laplante P.A. and Laplante N., "The Internet of Things in Healthcare Potential Applications and Challenges", *IT Pro*, 18: 2 – 4, (2016)
- [6] Roggen D., Perez D.G., Fukumoto M. and Laerhoven K.V., "Wearables Are Here to Stay", *IEEE 17th Wearable Computer Symposium (ISWC)*, 13: 14 – 18, (2014).
- [7] Bonato P., "Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering" *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 22: 18-20, (2003).
- [8] Baber C., "Can Wearables Be Wireable?", *Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications*, IET Seminar, London, 13-18, (2007).
- [9] <https://www.ftc.gov/news-events/contests/iot-rules>, "Federal Trade Comission" (2018).
- [10] Geng H., "IPv6 for Iot and Gateway", *Internet of Things and Data Analytics Handbook*, Wiley Telecom, 816, (2017).
- [11] Lo B.P.L., Ip H. and Yang G.-Z., "Transforming Health Care", *IEEE Pulse*, 7: 4-8, (2016).



- [12] Khan S.F., “Health Care Monitoring System in Internet of Things (IoT) by Using RFID”, *The 6th International Conference on Industrial Technology and Management*, Cambridge, 198 – 204, (2017).
- [13] Lebepe F., Niezen G., Hancke G.P. and Ramotsoela T.D., “Wearable stress monitoring system using multiple sensors”, *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Poitiers, 895–898, (2016).
- [14] [https://cordis.europa.eu/project/rcn/93799\\_es.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/93799_es.html), “OPTIMI Project”, (2018).
- [15] Majoe D., Bonhof P., Kaegi-Trachsel T., Gutknecht J. and Widmer L., “Stress and Sleep Quality Estimation from a Smart Wearable Sensor”, *5th International Conference on Pervasive Computing and Applications*, Maribor, 14-19, (2010).
- [16] Alexander A. and Arun C.S., “Mobile ECG Monitoring Device Using Wearable Non Contact Armband”, *International Conference on Circuits Power and Computing Technologies*, Kollam, 1-4, (2017).
- [17] D. Yotha, C.Pidhalek, S. Yimman and Niramitmahapanya S., “Design and Construction of the Hypoglycemia Monitor Wireless System for Diabetic”, *Biomedical Engineering International Conference*, Laung Prabang, 1-4, (2016)
- [18] <http://www.libelium.com/130220224710/>, “e-Health Sensor Platform for Biometric and Medical applications”, (2018).
- [19] Kaplan M., Berk T.N., Çemrek B., Şahin S. and Fidan U., “Mobile Physiological Signal Monitoring System for Family Medicine”, *Medical Technologies National Congress*, Trabzon, 1-4, (2017).
- [20] Kang J. J., Luan T.H. and Larkin H., “Inference System of Body Sensors for Health and Internet of Things Networks”, *14th International Conference*, Singapore, 94-98, (2016).
- [21] Benadda B., Beldjilali B., Mankouri A. and Taleb O. “Secure IoT solution for wearable health care applications, case study Electric Imp development platform”, *International Journal of Communication System*, 31: 5 , (2018).
- [22] Jha V., Prakash N. and Sagar S., “Wearable Anger-Monitoring System” *ICT Express*, 3: 3, (2017).
- [23] <https://www.nih.gov/>, “National Institute of Health”, (2018).
- [24] Santhi V., Ramya K., Tarana A.P.J. and Vinitha G., “IOT Based Wearable Health Monitoring System for Pregnant Ladies Using CC3200”, *International Journal of Advanced Research Methodology in Engineering & Technology*, 1: 3, (2017).
- [25] Delrobaei M., Memar S., Pieterman M., Stratton T.W., McIsaac K. and Jog M., “Towards Remote Monitoring of Parkinson’s Disease Tremor Using Wearable Motion Capture Systems”, *Journal of the Neurological Sciences*, 384: 38-45, (2018).
- [26] Rahimi F., Bee C., Debicki D., Roberts A.C., Bapat P. and Jog M., “Effectiveness of boNT An in Parkinson’s disease upper limb tremor management”. *Canadian Journal of Neurologic Science*, 40: 663–669, (2013).
- [27] Grimaldi G. and Manto M., “Tremor from Pathogenesis to Treatment, Morgan and Claypool”, *San Rafael*, CA USA, (2008).
- [28] Zwarts M.J., Drost G. and Stegeman D.F., “Recent progress in the diagnostic use of surface EMG for neurological diseases”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5): 287–291, (2000).
- [29] Spieker S., Ströle V., Sailer A., Boose A., Dichgans J., “Validity of long-term electromyography in the quantification of tremor”, *Movement Disorders*, 12(6): 985–991, (1997).
- [30] Foerster F. and Smeja M., “Joint amplitude and frequency analysis of tremor activity”, *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 39(1): 11–19, (1999).
- [31] Salarian A., Russmann H., Wider C., Burkhard P.R., Vingerhoets F.J.G. and Aminian K., “Quantification of tremor and bradykinesia in Parkinson’s disease using a novel ambulatory monitoring system”, *IEEE Transactions Biomedical Engineering*, 54(2): 313–322, (2007).
- [32] Rahimi F., Duval C., Jog M., Bee C., South A., Jog M., Edwards R. and Boissy P., “Capturing whole-body mobility of patients with Parkinson disease using inertial motion sensors: expected challenges and rewards”, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, 5833-5838, (2011).
- [33] Rahimi F., Bee C., South A., Debicki D. and Jog M., “Variability of hand tremor in rest and in posture a pilot study”, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, 470–473, (2011) .
- [34] Chen B-R., Shyamal P., Buckley T., Rednic R., McClure D.J., Shih L., Tarsy D., Welsh M. and Bonato P., “A Web-Based System for Home Monitoring of Patients With Parkinson’s Disease Using Wearable Sensors”, *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*, 58(3): 831-836, (2011).
- [35] Kuusik A., Alam M.M., Kask T. and Gross-Paju K., “Wearable M-Assessment System for Neurological Disease Patients”, *IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Singapore, 201-206, (2018).
- [36] Szczesna A., Nowak A., Grabiec P., Paszkuta M. and Tajstra, M., “Survey of Wearable Multi-modal Vital Parameters Measurement Systems Innovations in Biomedical Engineering” *Springer International Publishing, Cham*, 323-329, (2017).
- [37] <https://www.mstrust.org.uk/a-z/expanded-disability-status-scale-edss/>, “Expanded Disability Status Scale (EDSS)”, (2018).
- [38] Huang C.H. and Cheng K.W., “Rfid technology combined with iot application in medical nursing system”, *Bulletin of Networking, Computing, Systems, and Software*, 3(1): 20-24, (2014).
- [39] Otto C., Milenkovic A., Sanders C. and Jovanov E., “System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring”, *Journal of Mobile Multimedia*, 1( 4): 307-326, (2006).
- [40] Lukowicz P., Anliker U., Ward J., Troster G., Hirt E., Neufelt C., “Amon: A wearable medical computer for high risk patients”, *6th International Symposium on*, Seattle, 133-134, (2002).

- [41] Milenkovic A, Otto C., Jovanov E., “Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation”, *Computer Communications*, 29(13): 2521-2533, (2006).
- [42] Woo Woo M., Lee J.W., Park K.H., “A reliable IoT system for Personal Healthcare Devices”, *Future Generation Computer Systems*, 78: 626–640, (2018).
- [43] Gia T.N., Rahmani A.M., Westerlund T., Tenhunen L.H., “Fault tolerant and scalable IoT-based architecture for health monitoring”, *IEEE Sensors Applications Symposium*, Zadar, 1-6 , (2015).
- [44] Misra S., Gupta A., Krishna P.V., Agarwa H., Obaidat M.S., “An adaptive learning approach for fault-tolerant routing in Internet of things”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Shanghai, 815–819, (2012).
- [45] Chaithra S., Gowrishankar S., “Study of secure fault tolerant routing protocol for IoT”, *International Journal of Science and Research*, 5(7): 1833–1838, (2016).
- [46] Fua Y., Liub J., “System design for wearable blood oxygen saturation and pulse measurement device”, *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences*, (AHFE), 3: 1187-1194, (2015).
- [47] Sojuyigbe S., Daniel K., “Wearables/IOT Devices: Challenges and solutions to integration of miniature antennas in close proximity to the Human Body”, *IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity*, Santa Clara, 75-78, (2015).
- [48] Hooshmand M., Zordan D., Testa D.D., Grisan E., Rossi M., “Boosting the Battery Life of Wearables for Health Monitoring Through the Compression of Biosignals”, *IEEE Internet Of Things Journal*, 4(5): 1647-1662, (2017).
- [49] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/opportunity+activity+recognition#>, “MIT-BIH dataset”, (2018).
- [50] Perez J.M.D., Misa W.B., Tan P.A.C., Robles J., “A wireless Blood Sugar Monitoring System Using Ion-Sensitive Field Effect Transistor”, *IEEE Region 10 Conference*, Singapore, 1742-1746, (2016).
- [51] Al-Tae M.A., Al-Nuaimy W., Al-Ataby A., Muhsin Z.J., Abood S.N., “Mobile Health Platform for Diabetes Management Based On The Internet-Of-Things”, *IEEE Jordan Conference On Applied Electrical Engineering And Computing Technologies (AEECT)*, Amman, 1-5, (2015).
- [52] Chakraborty S., Dasgupta A., Dash P., Routray A., “Development of a wireless wearable electrooculogram recorder for IoT based applications”, *IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Edinburgh, 1991-1995, (2017).
- [53] Wang R., Abukhalaf Z., Javan-Khoshkholgh A. and Wang T.H.H., Sathar S., Du P., Angeli T.R., Cheng L.K., “A Miniature Configurable Wireless System for Recording Gastric Electrophysiological Activity and Delivering High-Energy Electrical Stimulation”, *IEEE Journal On Emerging And Selected Topics In Circuits And Systems*, 8(2): 221-229, (2018).
- [54] Rotariu C., Manta V. and Costin H., “Wireless Remote Monitoring System for Patients with Cardiac Pacemakers”, *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, Iasi, 845-848, (2012).
- [55] Agarwal A., Shaperol A., Rodger D., Humayun M., Tai Y-C. and Emami A., “A Wireless, Low-Drift, Implantable Intraocular Pressure Sensor with Parylene-on-oil Encapsulation”, *IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC)*, San Diego, 1-4, (2018).
- [56] Jia Y., Lee B., Mirbozorgi A. A., Ghovanloo M., Khan W. and Li W., “Towards a Free-Floating Wireless Implantable Optogenetic Stimulating System” *IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Boston, 381-384, (2017).
- [57] Majerus S., Makovey I., Zhui H., Ko I W. and Damaser M.S., “Wireless Implantable Pressure Monitor for Conditional Bladder Neuromodulation”, *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, Atlanta, 1-4, (2015).
- [58] Mecheraoui C., Cobb J. and Swain I., “Evaluation of a wireless in-shoe sensor based on ZigBee used for drop foot stimulation”, *IEEE Radio and Wireless Symposium*, Santa Clara, 423-426, (2012).
- [59] Lymberis A., “Smart Wearables for Remote Health Monitoring, From Prevention to Rehabilitation: Current R&D”, *4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, Birmingham, 272-275, (2003).
- [60] Rigas G. and Tzallas A.T., Tsiouras M.G., Bougia P., Tripoliti E.E., Baga D., Fotiadis D.I., Tsouli S.G., Konitsiotis S., “Assessment of tremor activity in the Parkinson’s disease using a set of wearable sensors”, *IEEE Transactions Information Technology Biomedicine*, 16(3): 478–487, (2012).
- [61] Sung M., Marci C. and Pentland A., “Wearable feedback systems for rehabilitation” *Journal of neuroengineering and rehabilitation 2.1*, 17: 2-17, (2005).
- [62] Asthana S., Megahed A. and Strong R., “A Recommendation System for Proactive Health Monitoring Using IoT and Wearable Technologies”, *IEEE 6th International Conference on AI & Mobile Services*, Honolulu, 14-21, (2017).
- [63] Davis D.A., Chawla N.V., Nicholas B., Christakis N. and Barabasi A-L., “Predicting individual disease risk based on medical history”, *Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management*, California, 769-778, (2008).
- [64] McCormick, Tyler H., Cynthia Rudin, and David Madigan. “Bayesian hierarchical rule modeling for predicting medical conditions”, *The Annals of Applied Statistics*, 6(2): 652-668, (2012).
- [65] Choi E., Bahadori M.T., Schuetz A., Stewart W. F. and Sun J., “RETAIN: Interpretable Predictive Model in Healthcare using Reverse Time Attention Mechanism”, *Accepted at Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 1: 3504-3512, (2016).
- [66] Paxton C., Saria S. and Niculescu-Mizil A., “Developing predictive models using electronic medical records: challenges and pitfalls”, *AMIA Annual Symposium Proceeding Archive*, Chicago, 1109–1115 (2013).
- [67] <https://catalog.data.gov/dataset?tags=ehr>, “Data.Gov”, (2018).
- [68] Mark H., Frank E., Holmes G., Pfahringer B., Reutemann P. and Witten I.H., “WEKA data mining software: an

- update”, *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1): 10-18, (2009).
- [69] Zeng M., Nguyen L.T., Yu B., Mengshoel O.J., Zhu J., Wu P. and Zhang J., “Convolutional neural networks for human activity recognition using mobile sensors”, *6th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services*, Austin, 197–205, (2014).
- [70] <http://www.ife.ee.ethz.ch/research/activity-recognition-datasets.html>, “Skoda Mini Checkpoint Dataset”, (2018).
- [71] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/opportunity+activity+recognition>, “Opportunity Activity Recognition Dataset”, (2018).
- [72] <http://www.cis.fordham.edu/wisdm/dataset.php>, “Actitracker Dataset”, (2018).
- [73] Yasin M., Tekeste T., Saleh H., Mohammad B., Sinanoglu O. and Ismail M., “Ultra-Low Power Secure IoT Platform for Predicting Cardiovascular Diseases”, *IEEE Transactions On Circuits And Systems-I: Regular Papers*, 64(9): 2624-2637, (2017).
- [74] <https://www.physionet.org/physiobank/database/nsrdb/>, “PhysioNet NSRDB”, (2018).
- [75] <https://www.physionet.org/physiobank/database/ahadb/>, “American Heart Association ECG Database”, (2018).
- [76] Rav’I D., Wong C., Lo B. and Yang G-Z., “Deep learning for human activity recognition: A resource efficient implementation on low-power devices”, *13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, San Francisco, 71–76, (2016).
- [77] Kwapisz J. R., Weiss G. M. and Moore S. A., “Activity recognition using cell phone accelerometers” *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 12(2): 74–82, (2011).
- [78] Rav’I D., Wong C., Lo B. and Yang G-Z., “A Deep Learning Approach to on-Node Sensor Data Analytics for Mobile or Wearable Devices”, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1): 56-64, (2017).
- [79] <http://hamlyn.doc.ic.ac.uk/activemiles/>, “ActiveMiles Dataset”, (2018).
- [80] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Daphnet+Freezing+of+Gait>, “Daphnet Fog Dataset”, (2018).
- [81] Lockhart J. W., Weiss G. M., Xue J. C., Gallagher S. T., Grosner A.B. and Pulickal T. T., “Design considerations for the WISDM smart phone-based sensor mining architecture” *SensorKDD '11 Proceedings of the Fifth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data*, California, 25–33, (2011).
- [82] Weiss G. M. and Lockhart J. W., “The impact of personalization on smartphone-based activity recognition” *AAAI Workshop Activity Context Representation: Techniques and Languages Report*, Chicago, 98–104, (2012).
- [83] Yong B., Xu Z., Wang X., Cheng L., Li X., Wua X. and Zhou Q., “IoT-based intelligent fitness system”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 118(1): 14-21, (2017).
- [84] <http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>, “KTH Dataset”, (2018).
- [85] Sood S.K. and Mahajan I., “Wearable IoT sensor based healthcare system for identifying and controlling chikungunya virus”, *Computers in Industry*, 91: 33–44, (2017).
- [86] Lopez H.J.D., Siller M. and Huerta I., “Internet of vehicles: Cloud and fog computing approaches”, *International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Bari, 211-216, (2017).
- [87] Huang Q., Wang W. and Zhang Q., “Your Glasses Know Your Diet: Dietary Monitoring Using Electromyography Sensors”, *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3): 705-712, (2017).
- [88] <https://www.thevisioncouncil.org/>, “VisionWatch Canada Market Overview”, (2015).
- [89] Pandey P. and Prabhakar R., “An analysis of machine learning techniques (J48 & AdaBoost)-for classification”, *First India International Conference on Information Processing (IICIP)*, Delhi, 1-6, (2016).
- [90] Shi W.Y. and Chiao J.-C., “Neural Network Based Real-time Heart Sound Monitor Using a Wireless Wearable Wrist Sensor”, *IEEE Dallas Circuits and Systems Conference (DCAS)*, Arlington, 1-4, (2016).
- [91] [https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/nnet/nnet\\_ug.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/nnet/nnet_ug.pdf)



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Yeşilırmak Havzası Çakmak Barajı rezervuarındaki sediment birikiminin araştırılması

*A study on the reservoir sedimentation of Çakmak Dam located in the Yeşilırmak River Basin*

*Yazar(lar) (Author(s)): Zeliha SELEK<sup>1</sup>, Murat PINARLIK<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-5593-5538*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-8783-825X*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Selek Z., Pınarlık M., “Yeşilırmak Havzası Çakmak Barajı rezervuarındaki sediment birikiminin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 715-721, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.457958

# Yeşilirmak Havzası Çakmak Barajı Rezervuarındaki Sediment Birikiminin Araştırılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Zeliha SELEK, Murat PINARLIK\***

Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.06.2018 ; Kabul/Accepted : 03.08.2018)

## ÖZ

Barajların ekonomik ömrü, havzasından gelen sediment yüküne göre belirlenmektedir. Baraj ömrünü sonlandıran en büyük faktör, akarsu tarafından taşınan katı maddelerin (sediment, rüsubat, çökelti maddesi) baraj rezervuarının ölü hacmini doldurmasıdır. Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzası Abdal akarsuyu üzerine inşa edilmiş Çakmak Barajındaki sediment birikimi incelenmiştir. Baraj rezervuarının 1988 ve 2014 yıllarına ait batimetrik haritalarından yararlanılarak NetCad 7.6 programı ile belirli aralıklarla boykesitler alınmış ve taban profilleri çizilmiştir. Çizilen rezervuar taban profillerinden sediment etkisiyle oluşan kot farkları tespit edilmiştir. Ayrıca, kot-alan-hacim yöntemi kullanılarak, 26 yıllık süreçte rezervuar ölü, aktif ve toplam hacminde yer alan suyun hacimsel ve alansal oluşan kaybı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, baraj hacminin sediment ile dolan hacmi elde edilmiştir. Elde edilen bulgulardan, sediment birikimi nedeniyle rezervuar tabanında 10 metreye kadar yükselmeler meydana geldiği görülmüştür. Barajın faydalı ömrünü belirleyen ölü hacminin yaklaşık olarak %30'unun sediment ile dolduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşilirmak Havzası, sediment birikimi, batimetrik araştırmalar, kot-hacim yöntemi.

## A Study on the Reservoir Sedimentation of Çakmak Dam Located in the Yeşilirmak Basin

### ABSTRACT

The economic life of the dams is determined by the sediment load from their own basin. The most important factor terminating the life of the dam is filling of dead volume of the reservoir by solid materials (sediment, sedimentation, deposit material) carried by the river. In this study, sediment deposition in Çakmak Dam built on Abdal stream of Yeşilirmak Basin was investigated. Using the bathymetric maps of the dam reservoir belonging to 1988 and 2014 years, the bottom profiles and cross-sections at regular intervals were drawn by using NetCad 7.6 program. The elevation differences occurred by sediment loads were determined from drawing bottom profiles. In addition, using the elevation-area-volume method, the volumetric and areal losses of water in reservoir dead, active and total volume for 26 years were calculated. As a result, the volume of the dam was filled with the sediment. From the results, it has been observed that up to 10 meters of elevation occurs on the bottom of the reservoir due to sediment deposition. Approximately 30% of the dead volume determining the useful life of the dam was filled with sediment.

**Keywords:** Yeşilirmak River Basin, reservoir sedimentation, bathymetric survey, elevation-volume curve.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

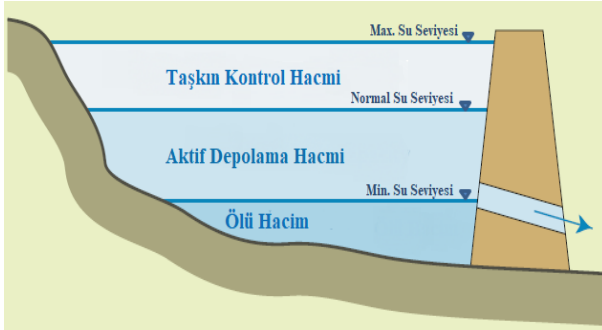
İçinde bulunduğumuz yüzyılda, hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve küresel ısınmaya bağlı olarak dünya genelinde su kaynakları üzerindeki kullanım baskısı artmaktadır. Ülkemizin yağış dağılımı, zaman ve bölgelere göre farklılık göstermektedir. Örneğin, Doğu Karadeniz Havzası'nın bazı bölgelerinde ortalama yıllık yağış metrekareye 2000-2500 mm iken bu değer Konya Kapalı Havzası ve Doğu Akdeniz Havzası'nın bazı bölgelerinde 300-400 mm'lere kadar düşmektedir. Aynı zamanda yağış, ülkemizde mevsimlere göre de farklılık arz etmektedir. Yağışların büyük bölümü kış ve bahar aylarında görülmekte, yaz aylarında ise bazı havzalarımız çok az yağış almaktadır. Bu nedenle, suyun çok olduğu dönemlerde depolanıp, az olduğu ve ihtiyacın fazla olduğu dönemlerde kullanılması bakımından barajların önemi büyüktür. Barajlardan su temininde

sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için baraja gelen sediment yükünün doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Ülkelerin su durumunu değerlendirmek için kişi başına kullanılabilir yıllık su miktarına göre sınıflama yapılmaktadır. Buna göre yıllık kişi başına su miktarı 1000 m<sup>3</sup>'ün altındaki ülkeler su kıtlığı yaşayan ülkeler olarak değerlendirilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2017 yılında nüfusumuzun 81 milyon olduğunu göz önüne aldığımızda, kişi başı 1.383 m<sup>3</sup> olarak hesaplanan yıllık su miktarının, 2023 yılında beklenen nüfusun 87 milyon olduğu kabulü ile 1287 m<sup>3</sup>, 2050 yılında 1.069 m<sup>3</sup> olması beklenmektedir [1].

tadır. Türkiye'nin; ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıma şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olmak üzere iyi değerlere sahiptir. Bu çalışmanın icra edildiği Manisa ili için Eylül ayı 4,63 kWh/m<sup>2</sup> global radyasyon ve 9,26 saat güneşlenme süresi ortalama değerlerine sahiptir [1]. Falkenmark [2], indeksine göre, mevcut durumda su stresi yaşayan ülkemiz, ileride

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : muratpinarlik@gazi.edu.tr

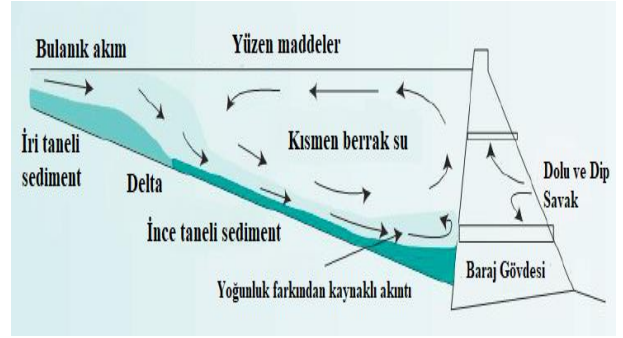
su kıtlığı yaşayabilecek konuma gelebilir. Bu sebeple; ülkemizdeki su kaynakları çok akılcı yönetilmeli, her damlası çok dikkatli kullanılmalı ve israf edilmemelidir. Bu nedenle, mevcut su kaynaklarının depolanması ve verimli biçimde kullanılabilmesi için ülkemizde baraj inşaatları hız kazanmıştır. Barajlar; sulama, içme suyu, elektrik üretimi, taşkın kontrolü, ulaşım, balıkçılık gibi farklı işletme amaçlarıyla inşa edilmektedir [3]. Baraj işletme stratejisine göre de rezervardaki suyun kullanım miktarı ve hacimsel oranları değişiklik göstermektedir. Bir barajdaki su seviyeleri ve bu su seviyelerine karşılık gelen baraj hacimleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Normal su seviyesine karşılık gelen hacim, aktif ve ölü hacmin toplamı barajın toplam depolama hacmine karşılık gelmektedir. 2014 yılı verilerine göre Çakmak Barajındaki ölü hacim oranı %19.2, aktif hacim oranı %64.5 ve taşkın kontrol hacmi oranı %16.3 olarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Baraj rezervuarındaki suyun hacimsel dağılımı (Volumetric water distribution in reservoir) [4]

Barajlara akarsu ile birlikte katı madde taşınımı da söz konusudur. Her ne kadar istenmeyen bir durum olsa da baraj rezervuarları taşınan bu katı maddelerin birikimine neden olan bir araç görevi görmektedir [5]. Baraj rezervuarlarında su içinde asılı halde bulunan katı maddelerin yerçekimi etkisi ile çökmesine sedimentasyon adı verilmektedir [6]. Baraj ömrü boyunca meydana gelen sedimentasyon süreci Şekil 2’de ifade edilmiştir.

Barajların planlama aşamasında katı madde taşınımını dikkate alınarak baraj ölü hacimleri tasarlanır. Rezervuar ölü hacminde biriken sedimentin yeri, miktarı ve depolanma süresi rezervuarın şekli, büyüklüğü, işletme süresi gibi faktörlere bağlıdır [8]. Rezervuar ölü hacmi sediment ile dolduğunda baraj faydalı ömrünü tamamlamış olur. Barajlar, buldukları coğrafi koşullar ve üzerine inşa edildikleri akarsuyun karakteristik özelliklerine göre 50 ile 100 yıl arasında bir tasarım ömrüne sahiptirler [9]. Dünya genelinde sediment nedeniyle rezervuar depolama kapasitesi kaybı yıllık ortalama %0,5-1 olarak hesaplanmıştır [10,11]. Rezervuardaki katı madde birikimini sonlandırmak mümkün olmasa da, gelen sediment miktarını azaltmak ve depolanan sedimenti boşaltmak için farklı yöntemler uygulanmaktadır.



Şekil 2. Baraj Rezervuarında meydana gelen sedimentasyon süreci (The process of sedimentation in the dam reservoir) [7]

Literatürde, rezervuardaki sediment miktarının belirlenmesi, depolanma bölgelerinin tespiti ve biriken sedimentin baraj işletme performansına etkileri konusunda mevcut araştırmalar bulunmaktadır. Rezervuardaki sediment birikimini ve taban yüksekliklerindeki değişimi tespit etmek için Dijital Yükselti Modeli ve Üçgen Poligonlara Bölen Düzensiz Ağ Modeli kullanılmıştır [12]. Bunun dışında hidrografik araştırmalar, elle örnek alma ve kot/hacim metodu da yaygın olarak uygulanan yöntemler arasında yer almaktadır [13]. Bu çalışmalar, NetCAD, Global Mapper and PDS2000 gibi yazılımlarla desteklenmektedir [14]. ArcGIS ve GIS yazılımlarının havadan fotoğraflama, uydu görüntüleri, batimetrik araştırmaları ve sediment takip modülü rezervuardaki sediment dağılımını gözlemlene ve sediment miktarını tahmin etmede etkili olarak uygulanmıştır [15,16,17,18].

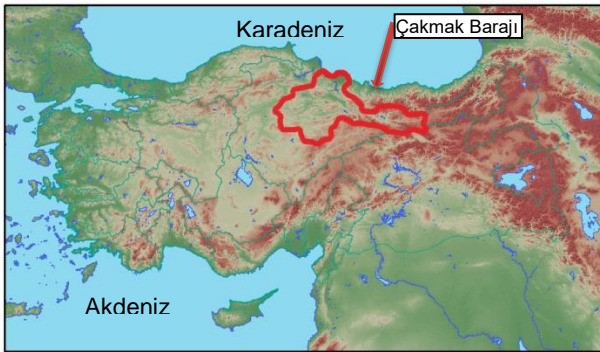
Son dönemdeki çalışmalar incelendiğinde, rezervuardaki sedimentasyonun değerlendirilmesinde uzaktan algılama veri tabanlı dijital görüntü işleme tekniğinin kullanıldığı ve (IRS- (P6) LISS-III) uydu verilerinden yararlandığı görülmüştür [19]. Sediment önleme yöntemlerinin maliyeti ile sedimentin barajda oluşturduğu etkilerin maliyetini karşılaştırmak için Coğrafi Bilgi Sistemini ve Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (TSDA) programları birbirine entegre edilerek kalibre edilmiş bir hidrolojik model ortaya konulmuştur [20]. Ayrıca, batimetrik haritalardan yararlanılarak dört farklı enterpolasyon yöntemiyle Kriging, ters mesafe ağırlıklı yöntem, doğal komşu ve Spline rezervuardaki sediment kaynaklı depolama hacmi azalması tespit edilmiştir [21].

Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzasında yer alan Çakmak Barajının rezervuarında biriken sediment miktarı, biriken sedimentin rezervuar taban profiline etkileri ve rezervuar hacmindeki yıllara göre değişimi incelenmiştir. Elde edilen batimetrik veriler yardımıyla rezervuar tabanındaki yükseklik değişimleri açıkça gözlemlenmiş ve alınan boykesitlerde sediment birikim formu ortaya çıkartılmıştır. Bunun yanı sıra, kot/hacim yöntemi kullanılarak ve rezervuarın 1988-2014 yıllarına ait kot/hacim verilerinden yararlanılarak baraj ölü, aktif ve toplam hacmindeki sediment kaynaklı kayıplar araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

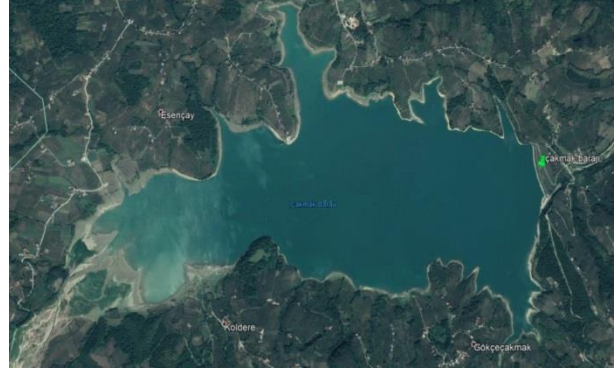
Türkiye hidrolojik olarak 25 adet havzaya ayrılmıştır. Çakmak Barajı, Yeşilirmak Havzası Abdal akarsuyu üzerine kurulmuştur. Yeşilirmak Havzasının coğrafi konumu ve barajın havza üzerindeki yeri Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir. Samsun iline içme suyu amacıyla inşa edilen barajın inşaatına 1985 yılında başlanmış ve baraj 1988 yılında işletmeye açılmıştır. Kil çekirdekli, toprak dolgu barajın normal su kotunda göl alanı 6 km<sup>2</sup> olup temelden yüksekliği yaklaşık 58 metredir [22]. Barajın tasarım aşamasında minimum su kotu 103 m, maksimum su kotu ise 120 m olarak belirlenmiştir. 2014 yılında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılan batimetrik ölçümlerden faydalanılarak mevcut rezervuar ölü hacminin 20.93 hm<sup>3</sup>, rezervuar toplam depolama hacminin 91.18 hm<sup>3</sup> ve aktif hacmin 70.25 hm<sup>3</sup> olduğu tespit edilmiştir. Çakmak Barajının havzası ve baraj rezervuarının uydu görüntüleri Şekil 4.a-b.'de verilmiştir. Baraj havzası genellikle ormanlık alanlarla kaplı olmakla birlikte özellikle yukarı havzada yer yer çıplak araziler de mevcuttur.



Şekil 3. Yeşilirmak Havzasının coğrafi konumu (The geographical location of Yeşilirmak Basin)



(a) Çakmak Barajı Havzası



(b) Çakmak Barajı Rezervuarı

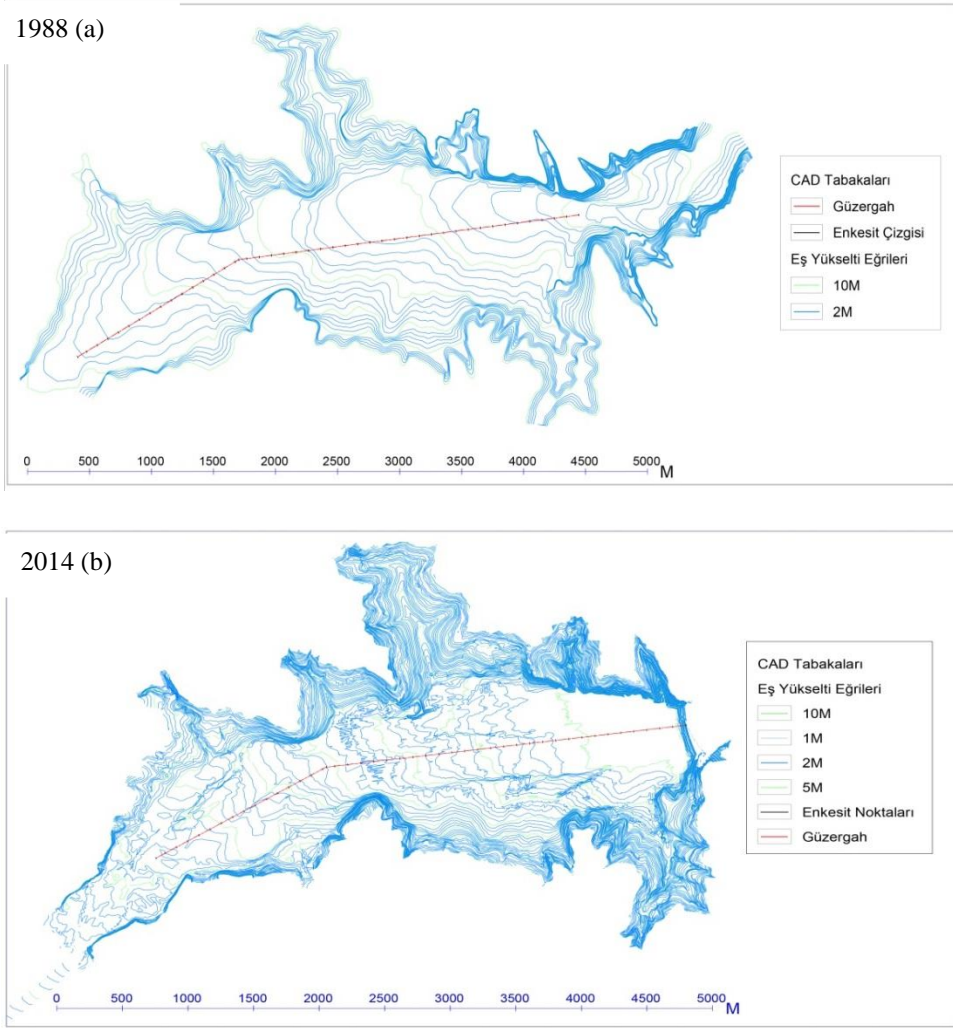
Şekil 4.a,b. Çakmak Barajı Havzası ve Baraj Rezervuarı Uydu Görüntüleri (Satellite views of Çakmak Dam Basin and Dam Reservoir)

### 2.2. Batimetrik Veriler (Bathymetric Data)

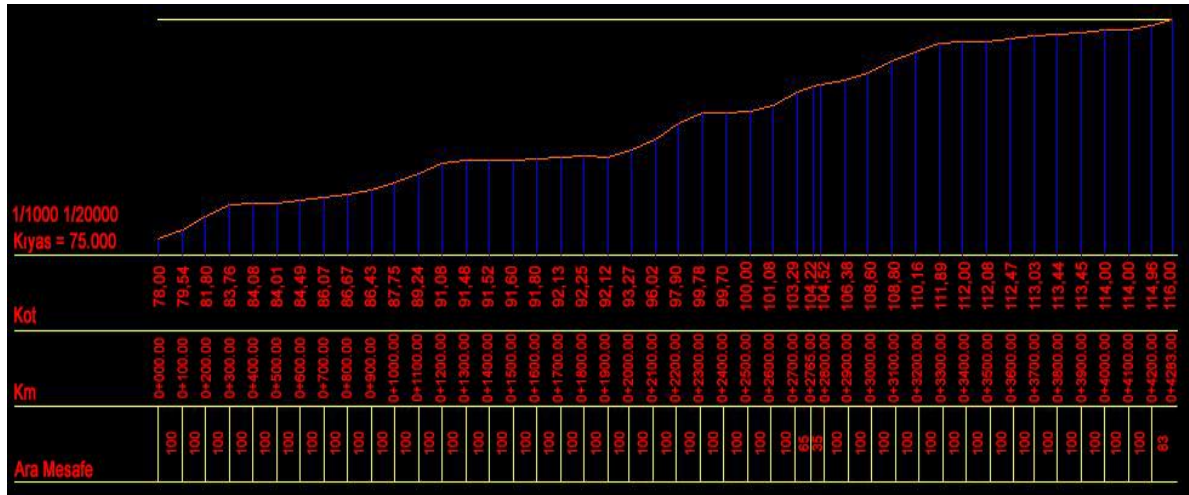
Batimetrik ölçümleri, DSİ tarafından, elektronik olarak derinlik ölçebilen, çift frekanslı güç çevirici (transducer), dalga yayılım açısı (konik açı) 5-10 derece aralığında, yüksek frekans: 250-200 Khz., düşük frekans: 10-50 Khz., okuma frekansı olan derinlik ölçer (echo-sounder) yardımı ile yapılmıştır.

Batimetrik haritaların oluşturulmasında, baraj rezervuarında güzergah tanımlamada, boykesit çiziminde ve boykesitlerin analizlerinde NetCad 7.6 GIS yazılımı ve NetSurf modülü kullanılmıştır. NetCad Coğrafi Bilgi Sistemi kullanıcıları ve Mühendislik alanında çalışanlar için tasarlanmış uluslararası standartları uygun bir yazılımdır [23]. NetSurf modülü ise, hâlihazırda harita üretimini tüm aşamaları ile gerçekleştiren, arazi verilerinden sayısal arazi modeli oluşturan üzerinde hesaplamalar ve kot değerlerine bağlı çok çeşitli analiz işlemlerini gerçekleştiren; eş potansiyel eğrilerini, enkesit ve boykesitleri oluşturabilen, kübaj hesaplamalarını yapabilen NetCad modülüdür [24]. Bu çalışma kapsamında NetCad programı kullanılarak Çakmak Barajının 1988 ve 2014 yıllarına ait batimetrik haritaları sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılmış haritalar üzerinde NetSurf modülünden yararlanılarak eşit aralıklı aynı güzergahtaki boykesitler çıkarılmıştır. Eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak kot farkları elde edilmiş ve taban profilleri çizilmiştir.

Batimetrik ölçümlerden faydalanılarak elde edilen Çakmak Barajı Rezervuarına ait 1988 ve 2014 yılı rezervuar haritaları Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu haritalar üzerinden boykesitleri elde etmek için çizilen güzergah, baraj gövdesi üzerinden başlamış olup, hem 2014 yılı hem de baraj yapımı öncesi tahmini rezervuar alanını kapsayacak şekilde sonlandırılmıştır. Güzergah üzerindeki her bir noktanın bulunduğu enkesiti daha iyi temsil edebilmesi için güzergahın rezervuar talveg hattına yakın geçirilmesine dikkat edilmiştir.

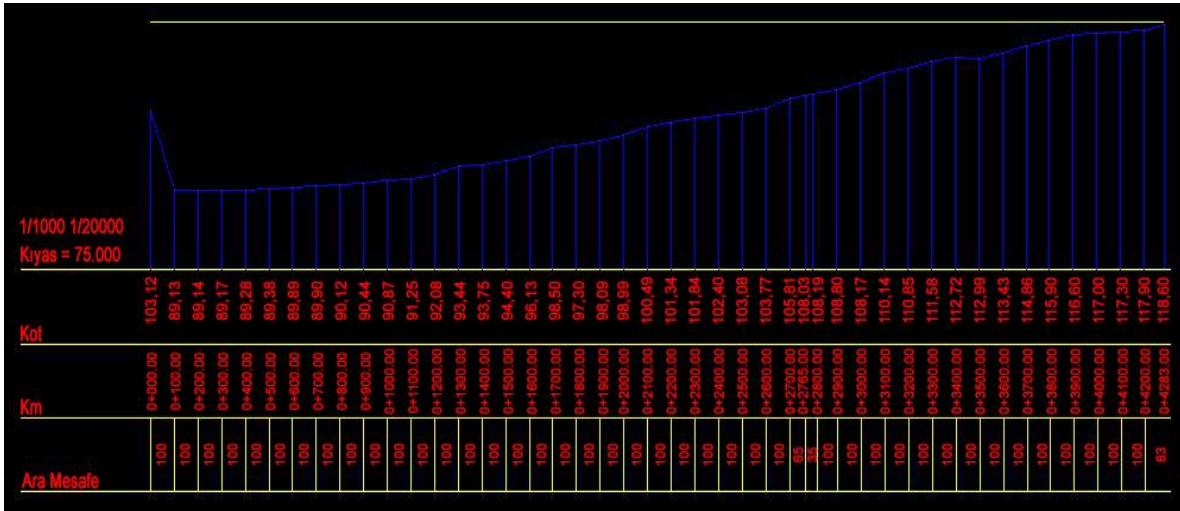


Şekil 5 a, b. Çakmak Barajı Rezervuarına ait 1988-2014 yılı batimetrik haritaları (Bathymetric maps of the Çakmak Dam Reservoir belonging to 1988 and 2014)



Şekil 6. Çakmak Barajı 1988 yılı rezervuar taban profili (Reservoir sub-grade profile of Çakmak Dam in 1988)





Şekil 7. Çakmak Barajı 2014 yılı rezervuar taban profili (Reservoir sub-grade profile of Çakmak Dam in 2014)

İki batimetrik harita üzerinden elde edilen boykesitler Şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Taban profil çizimlerine bakıldığı zaman kıyas kotunun (en düşük kotun) 75 m alındığı görülmektedir. Baraj gölü uzunluğu yaklaşık olarak 4283 metredir. Taban profili oluşturulurken seçilen noktalar arası mesafeler eşit olup 100 m olarak belirlenmiştir. Bazı noktalarda güzergah yön değişimi nedeni ile mesafelerde kısaltmalar görülmüştür.

### 2.3. Kot/Hacim Yöntemi (Elevation/Volume Method)

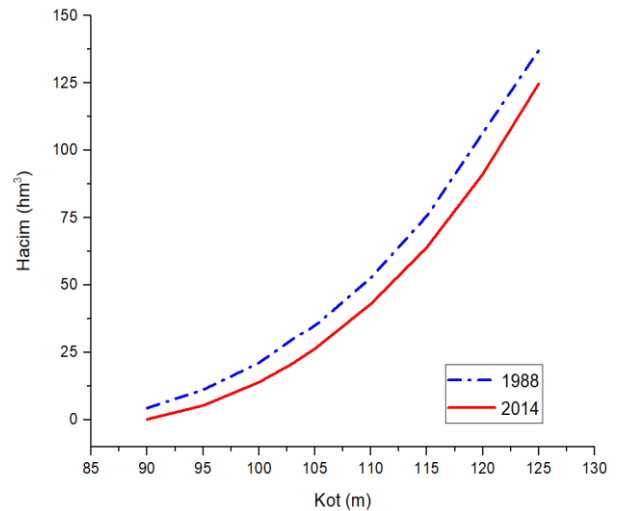
Çakmak Baraj Rezervuarının 1988 ve 2014 yılına ait kot/hacim verileri Çizelge 1’de verilmiştir. 26 yıllık süreçte rezervuar hacminde meydana gelen değişiklik Şekil 8’deki grafikte ifade edilmiştir. Rezervuar hacmindeki kaybı daha iyi ifade edilebilmek için kot/alan verileri Çizelge 2’de ele alınmıştır. Rezervuarın alanının kota göre değişim grafiği Şekil 9’da gösterilmiştir. Kot/alan grafiğindeki elde edilen sonuçların kot/hacim grafiğiyle paralel olması, barajdaki hacimsel kaybı açıkça gözler önüne sermiştir.

Çizelge 1. 1988 ve 2014 yıllara ait kot/hacim verileri (Elevation/volume data belonging to 1988 and 2014)

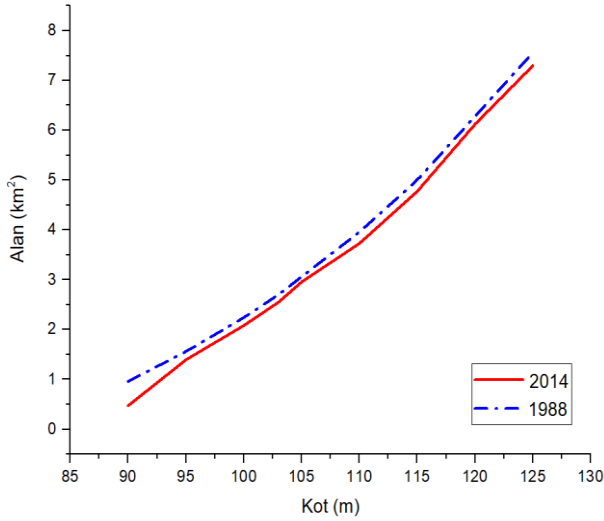
Kot (m)	Hacim (hm <sup>3</sup> )	
	1988	2014
90.00	4.40	0.25
95.00	11.20	5.36
100.00	21.20	13.99
103.00	30.00	20.93
105.00	34.80	26.46
110.00	52.80	43.08
115.00	75.60	64.07
120.00	106.50	91.18
125.00	137.20	124.77

Çizelge 2. 1988 ve 2014 yıllara ait kot/alan verileri (Elevation/area data belonging to 1988 and 2014)

Kot (m)	Alan (km <sup>2</sup> )	
	1988	2014
90.00	0.96	0.47
95.00	1.56	1.39
100.00	2.24	2.08
103.00	2.7	2.55
105.00	3.06	2.96
110.00	3.96	3.73
115.00	5.00	4.78
120.00	6.28	6.12
125.00	7.56	7.30



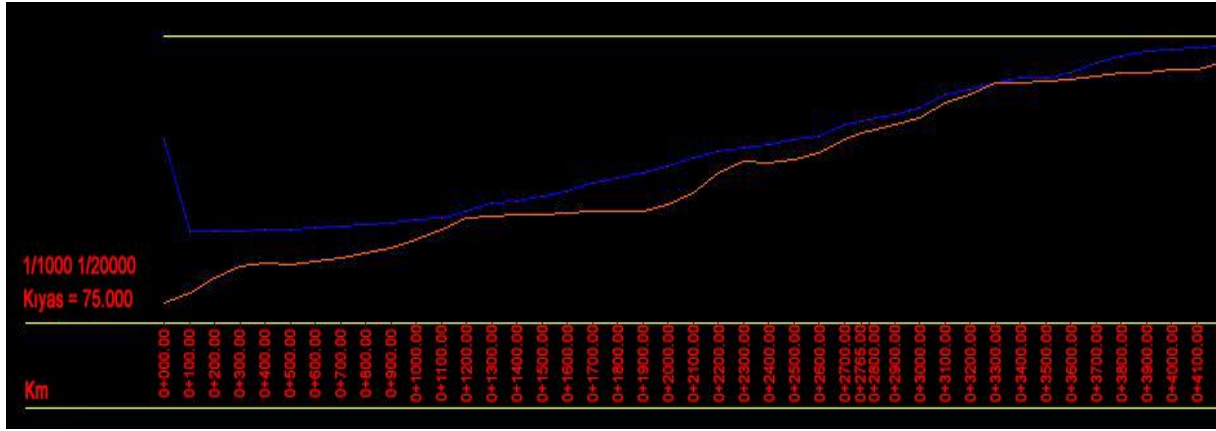
Şekil 8. 1988’den 2014 yılına kadar olan rezervuar kot/hacim değişimi (Elevation/volume change of reservoir from 1988 to 2014)



Şekil 9. 1988'den 2014 yılına kadar olan rezervuar kot/alan değişimi (Elevation/area change of reservoir from 1988 to 2014)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Şekil 6 ve 7'de verilen Çakmak Baraj Rezervuarının 1988 ve 2014 yılına ait iki rezervuar taban profilinin karşılaştırılması için Şekil 10'daki grafik oluşturulmuştur. Baraj gövdesi sıfır noktası kabul edilerek membaya doğru mesafeler 100'er metre



Şekil 10. Çakmak Baraj rezervuarı taban profili kıyaslaması (Sub-grade profiles comparison of Çakmak Dam Reservoir)

aralıklarla arttırılmıştır. Aynı mesafedeki kot farklarının bu grafik üzerinde daha net bir biçimde görülmesi için 1988 yılına ait taban profili turuncu, 2014 yılına ait taban profili ise mavi renk ile gösterilmiştir. Başlangıç noktası baraj gövdesi üzerinde seçildiği için, baraj gövdesi yüksekliğinden kaynaklı 1988 ile 2014 yılları arasındaki batimetrik haritada başlangıç noktasındaki kot farkı yaklaşık olarak 25 m bulunmuştur. Baraj gövdesinden uzaklaşıp membaya doğru gidildikçe rezervuar taban profilleri arasındaki kot farkı yaklaşık olarak 1 metre ile 10 metre arasında değişiklik göstermiştir. Baraj gövdesinden membaya doğru olan ilk 100 metrelik mesafede sediment birikim yoğunluğu maksimum seviyededir ve yaklaşık yükseklik farkı 10 metredir.

Rezervuarın geri kalan kısımlarında bölgesel olarak artış gösteren en yüksek 7 metre, en düşük ise 1 metre olan rezervuar taban yükselmeleri saptanmıştır. Şekil 10'da görüldüğü gibi, 26 yıllık süre zarfında genel olarak taban yüksekliklerinde gözle görülür bir artış mevcuttur.

Şekil 8'de çizilen kot/hacim eğrisinden 26 yıllık süreçte baraj rezervuarındaki depolama hacmindeki azalma net bir şekilde görülmektedir. Baraj rezervuarında meydana gelen bu hacimsel kayıp Şekil 9'daki kot/alan eğrisi ile desteklenmiştir. Bilindiği üzere baraj rezervuarlarında minimum su kotuna karşılık gelen hacim ölü hacmi, normal su kotuna karşılık gelen hacim toplam depolama hacmini ve ikisinin farkından elde edilen hacim ise aktif hacmi ifade etmektedir. Bu durum göz önüne alınarak, 1988 ve 2014 yıllarındaki rezervuar minimum su kotu ve normal su kotuna karşılık gelen hacimler kıyaslandığında sediment etkisine bağlı olarak baraj ölü hacminde %30,23, aktif hacminde %8,17 ve toplam hacimde %14,39'luk depolama kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir.

### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yeşilirmak Havzasında yer alan Çakmak Barajında sediment birikiminden kaynaklı rezervuar genelinde bölgesel olarak taban kotlarında bir artış söz konusudur. Baraj gövdesinden 1000 metrelik mesafede delta tipi bir sediment dağılımı gözlenmektedir. Sediment birikimi baraj işletme performansını ve baraj yararlı ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Baraj ömrünün en

belirleyici faktörü olan ölü hacim 26 yıllık süreçte %30,23 oranında hacim kaybına uğramıştır. Bu da planlanan baraj ömrünün kısaldığı anlamına gelmektedir. Sedimentin rezervuara daha az girişini sağlamak veya rezervuarda biriken sedimentin uzaklaştırılması için önlemler alınması gerekmektedir. Sediment birikimini önleyici tedbir olarak, barajın su toplama havzasının yukarı kısımlarında; rüsubat tutucu yapılar (tersip bendi, ıslah sekisi, taban kuşağı vs.) inşa edilebilir. Ayrıca, yukarı havzada yer alan çıplak arazilerde, erozyon kontrolüne yönelik teraslama ve ağaçlandırma çalışmaları yapılması önerilebilir. Rezervuarda biriken sedimentin uzaklaştırılması için ise yıkama, su altı kazısı

gibi doğal ve mekanik yöntemlere başvurulabilir. Ayrıca, aktif hacimde oluşan %8,17'lik kayıp barajın planlanan içme suyu temininde güçlükler oluşacağını göstermektedir. Dolayısı ile içme suyu amaçlı inşa edilen Çakmak Barajının su temin ettiği yerleşim yerleri özellikle kurak dönemlerde bir süre sonra susuzluk sorunu ile karşı karşıya kalma riski altındadır. Bu nedenle, barajdaki sediment birikiminin izlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarının, su kaynakları projelerinin geliştirilmesi aşamalarında çalışan uygulayıcılar ve araştırmacılar için yapısal tasarımda kullanılan sediment birikiminin tahmin edilmesinde önemli katkılar sağlayacağı söylenebilir. Böylelikle, yapının işletme ömrü içerisinde sediment birikimi açısından karşılaşılabilecek risklerin önceden belirlenmesinde çalışmanın faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, vermiş oldukları destekler için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Harita Şube Müdürlüğüne teşekkürlerini sunar.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] TÜİK (2018), <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (erişim tarihi: 13.04.2018).
- [2] Falkenmark M., "The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed?", *Ambio*, 18(2): 112-118, (1989).
- [3] "Dams and Development", World Commission on Dams, Report, November 2000.
- [4] Ketelsen T., Nguyen V.A., Vinh M.K., Kumm M., Ward P., Meynell P., Rasanen T., "Example from the Yali Reservoir, VietNam", *Optimising cascades of hydropower, Hydrology & Flood Control*, December, (2013)
- [5] Bobrovitskaya N.N., "Erosion and sediment yield modelling in the former USSR", In *Modelling Erosion, Sediment Transport and Sediment Yield*; Summer, W., Walling, D.E., Eds., *UNESCO*: Paris, France, pp. 30-45, (2002).
- [6] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2018), DSİ Hidroloji Sözlüğü, <http://dsi.gov.tr/dsi-sozluukler>, (erişim tarihi: 06.04.2018)
- [7] Palmieri A., Shah, F., Annandale, G.W. and Dinar A., "Reservoir Conservation, Vol. I, The RESCON Approach", *World Bank*, Washington, D. C. (2003).
- [8] Chimwala M., "engineering a non-shifting river boundary between Malawi and Tanzania", *Nyasa Times*, 22 February, (2009).
- [9] Morris G.L. and Fan J.H., "Reservoir Sedimentation Handbook", *McGraw-Hill*, New York, (1997)
- [10] Mahmood K., "Reservoir sedimentation: impact, extent, mitigation", *World Bank Tech. Rep. 71*, Washington, D. C., (1987).
- [11] White W. R., "Evacuation of sediment from reservoirs", *Thomas Telford*, London (2001).
- [12] Hasan Z. A., Bin Yusoff M. S., and Talib S. H. Bi . A., "Bukit Merah reservoir sedimentation assessment," *2011 Int. Conf. Environment Sci. Eng.*, 8: 86-90, (2011).
- [13] Chitata T., Mugabe F. T. and Kashaigili J. J., "Estimation of small reservoir sedimentation in semi-arid Southern Zimbabwe," *J. Water Resour. Prot.*, 6: 1017-1028, (2014).
- [14] Inal C., Fakioglu P., Bulbul S., "Determination of sediment volumes in dams with hydrographic surveys," *Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech.*, 3(4): (2015).
- [15] Issa I.E., Al-Ansaril N., Knutsson S., "Mosul dam reservoir sedimentation characteristics, Iraq", *Journal of Environmental Hydrology*, 22: Paper 3, (2014).
- [16] Wulandari D. A., Legono D. and Darsono S., "Evaluation of deposition pattern of Wonogiri Reservoir sedimentation," *Int. J. Civ. Environ. Eng.*, 15(2): 15-20, (2015).
- [17] El-Sersawy H., "Sediment deposition mapping in Aswan high dam reservoir using Geographic Information System (GIS)," *Ninth International Water Technology Conference, IWTC9*, Sharm El-Sheikh, Egypt, 239-247, (2005)
- [18] Güvel Ş. P. et al., "Investigation of sedimentation effects on dam reservoirs: Berdan Dam Example Abstract," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, 1: 89-97, (2017).
- [19] Shuklaa S. et al., "Assessment of sedimentation in Pong and Bhakra reservoirs in Himachal Pradesh, India, using geospatial technique," *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8: 148-156, (2017).
- [20] Adeogun A. G. et al., "Cost effectiveness of sediment management strategies for mitigation of sedimentation at Jebba Hydropower reservoir, Nigeria," *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 30: 141-149, (2018).
- [21] Khaba L., Griffiths J. A. "Calculation of reservoir capacity loss due to sediment deposition in the Muela reservoir, Northern Lesotho," *International Soil and Water Conservation Research*, 5: 130-140, (2017).
- [22] <http://barajlar.dsi.gov.tr/> (erişim tarihi: 09/04/2018).
- [23] "Netcad GIS 7.6." [Online]. Available: <http://portal.netcad.com.tr/display/HELP/NETCAD+GI> S. [Accessed: 12-July-2018].
- [24] "Netcad Netsurf Module 7." [Online]. Available: <http://portal.netcad.com.tr/display/HELP/NETSURF>. [Accessed: 12-July-2018]



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Farklı alüminyum kaynaklarından Co-Al içerikli metal oksitlerin üretimi ve yapısal özelliklerine etkisinin incelenmesi

*The syntesis of Co-Al based metal oxides from different aluminum sources and their effect on the structural*

*Yazar(lar) (Author(s)): Bilge COŞKUNER FİLİZ*

ORCID: 0000-0002-2737-119X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Coşkuner Filiz B., “Farklı alüminyum kaynaklarından Co-Al içerikli metal oksitlerin üretimi ve yapısal özelliklerine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 723-728, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.423622

# Farklı Alüminyum Kaynaklarından Co-Al İçerikli Metal Oksitlerin Üretimi ve Yapısal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Bilge COŞKUNER FİLİZ\***

Kimya Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
(Geliş/Received : 15.05.2018 ; Kabul/Accepted : 06.06.2018)

## ÖZ

Bu araştırma çalışmasında, farklı alüminyum kaynakları kullanılarak emdirme yöntemi ile spinel yapıda kobalt (Co) ve alüminyum (Al) içerikli metal oksitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Boehmit ( $Al(OH)_3$ ) ve korundum ( $\alpha-Al_2O_3$ ) olmak üzere iki farklı Al kaynaklarına kobalt(II)klorürün ( $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ) ıslak emdirme ile elde edilen örneklerin termal analizleri (DTA/TG) gerçekleştirilerek Al kaynağının Co-Al oksit sıcaklığına olan etkisi belirlenmiştir. Termogravimetrik analiz sonucunda belirlenen üç farklı sıcaklıkta örnekler ısıtma işlemi tabii tutularak kristal, yüzey ve morfolojik yapıda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapısal analizler sonucunda, kullanılan Al kaynağının ve ısıtma sıcaklığının Co-Al oksit üretiminde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda tek fazlı spinel yapıdaki  $CoAlO_4$  üretimi için Al kaynağı olarak boehmit ( $Al(OH)_3$ ) kullanılması ve emdirme yöntemi sonrasında ısıtma sıcaklığının  $500\text{ }^\circ\text{C}$  seçilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kobalt, alüminyum, metal oksit, üretim.

## The Syntesis of Co-Al Based Metal Oxides From Different Aluminum Sources and Their Effect on The Structural Properties

### ABSTRACT

In this research study, cobalt (Co) and aluminum (Al) -based metal oxides were produced in the spinel structure by impregnation technique by using different Al sources. The samples were synthesized by wet impregnation of cobalt (II) chloride ( $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ) on two different Al sources as boehmit ( $Al(OH)_3$ ) and corundum ( $\alpha-Al_2O_3$ ). Thermal analyses (DTA/TG) of the samples were used for understanding the effect on oxide temperature was determined. As a result of the thermogravimetric analysis, the samples were subjected to heat treatment at three different temperatures and the changes in crystal, surface and morphological structure were investigated. As a result of the structural analysis, it has been found that the Al source and the heat treatment temperature have a significant effect on the production of Co-Al oxide. As a result of experimental studies, it is suggested that boehmit ( $Al(OH)_3$ ) is used as Al source for  $CoAlO_4$  production in monophasic spinel structure and heat treatment temperature  $500\text{ }^\circ\text{C}$  is chosen after impregnation method.

**Keywords:** Cobalt, aluminum, metal oxide, synthesis.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Spinel oksitler olarak adlandırılan  $AB_2O_4$  kimyasal yapısındaki oksitler iki farklı katyonik iyon içermektedirler. Bu oksitler kimyasal ve termal olarak kararlı olmaları sebebiyle manyetik ve katalitik uygulamalar olmak üzere pek çok sektörde geniş kullanım yelpazesine sahiptirler [1].

Kobalt alüminat ( $CoAl_2O_4$ ) kobalt ve alüminyum oksitlerden oluşan ikili metal oksit olup genellikle iki oksit bileşeni arasındaki katı-hal reaksiyonuyla yüksek sıcaklıkta sentezlenir [2]. Özellikle Thenard'ın mavisi olarak bilinen yoğun bir mavi rengi ile hem termal hem de kimyasal olarak kararlı bir bileşik olması nedeniyle ileri teknolojik proseslerde kullanımı önem

kazanmaktadır [2, 3]. Bununla beraber, asit, baz, güneş ve atmosferik koşullara karşı dayanıklı yapısı sayesinde yarı iletken, sensör, renklendirilmiş plastik, boya, elyaf, kağıt, kauçuk, cam, çimento ve seramik gövdeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır [4].  $CoAl_2O_4$ 'ün kristalinin büyüklüğü, malzemeye opaklık gibi özel özelliklerini verdiği için temel bir öneme sahiptir [5]. Bu sebeple uygun kaynaklar kullanılarak üretilmesi araştırma-geliştirme çalışmalarının temelini oluşturmuş ve bu alanda araştırmacıların dikkatini çekmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Co-Al oksitlerin üretiminde sol-jel [4, 6], karışık metal alkoksit hidrolizi [7], kompleks polimer tekniği [8], jel yakma tekniği [9], birlikte çöktürme [10] ve hidrotermal [11] gibi çeşitli yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Çözelti temelli üretim yöntemleri, düşük sıcaklıklarda sıvı başlatıcılar içerisindeki bileşen katyonlarının

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : bilgecoskuner@gmail.com

quasiatomik dağılımına bağlı olarak saf nano boyutlu parçacıkların sentezine olanak sağlamaktadır [8]. Merino vd. 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada, CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>'ün lizin ve aspartik asitin yakıt olarak kullanıldığı jel-yanma yöntemi ile 600 °C, 900 °C ve 1100 °C'de kalsine etmişlerdir [5]. Salavati-Niasari vd. 2009 yılında sol-jel tekniği ile alüminyum nitrat, kobalt nitrat başlatıcılar ve glikol monoetil eter ile sitrik asiti kullanarak hazırlanmış oldukları yapıyı 350 °C'de 2 saat kalsine ederek CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sentezini gerçekleştirmişlerdir [4]. Otero Areána vd. alkoksitlerin oksidasyon yöntemi ile bimetalik kobalt-alüminyum izopropoksiti (Co(Al(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) kısmi oksidasyon ederek Co-Al oksit üretimini gerçekleştirmişlerdir [7]. Cho ve Kakihana, kobalt nitrat, alüminyum nitrat, sitrik asit ve etilen glikol başlatıcılarını kullanarak kompleks polimerizasyon-katı hal yöntemi ile CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> üretimini gerçekleştirmişlerdir. 350 °C ila 1000 °C arasında kalsine ettiğinde sıcaklığın artmasıyla beraber yapının kristalliliğinin arttığını söylemektedirler [8]. Bu çalışmalarda dikkat çeken nokta üretimde sol-jel tekniğinin kullanılması olup bu proses için kobalt ve alüminyum kaynağı dışında maliyet arttırıcı kimyasal ajanların kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma ile sol-jel tekniğine alternatif olarak spinel Co-Al oksit yapısının elde edilebilmesi için emdirme yöntemi uygulanmıştır. Boehmit (Al(OH)<sub>3</sub>) ve korundum ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) olmak üzere farklı Al kaynakları kullanılarak elde edilen oksitlerin yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilerek kararlı haldeki spinel yapının oluşabilmesi için gerekli olan ısı işlem sıcaklıkları belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1 Hammaddeler (Materials)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kimyasallar deneyler öncesi herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmamış olup geldikleri saflıkta kullanılmışlardır. Kobalt kaynağı olarak kobalt(II)klorür heksahidrat (CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, Merck, %97); alüminyum kaynağı olarak alüminyum hidroksit (boehmit, Al(OH)<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O, Merck, toz saflığında) ve alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sigma-aldrich,  $\geq$ 98%) kullanılmıştır. Tüm deneylerde saf su kullanılmıştır.

### 2.2 Co-Al İçerikli Oksitlerin Sentezlenmesi (Synthesis of Co-Al Based Oxides)

Co-Al-O numunelerinin sentezlenmesinde, numunenin Co içeriği %ağ. 15 olacak şekilde emdirme yöntemi ile sentezler gerçekleştirilmiştir. İlk adım olarak, 85-90 °C saf su içerisine CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O eklenerek manyetik karıştırma altında 20 dk çözülmüştür. Daha sonraki adımda Al kaynağı Co içerikli çözelti içerisine eklenmiştir. 85-90 °C'de çözeltinin buharlaşma prosesi tamamlanana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra numune 110 °C'de bir gece kurutulmuş ve havanda öğütülmüştür. Elde edilen toz haldeki numuneler termal analiz (DTA/TG) sonuçlarına göre belirlenen 300 °C, 500 °C ve 700 °C sıcaklıklarında 4 saat ısı işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem esnasında

sürükleyici bir gaz kullanılmamıştır. Numuneler oda sıcaklığında yüksek sıcaklık fırını içerisine yerleştirilmiş ve 5 °C/dk ısıtma hızı ile hedeflenen sıcaklığa yükseltilecek, statik şartlar altında ısı işlemine tabi tutulmuşlardır. Isıl işlem sonrasında havanda öğütülerek karakterizasyon işlemleri için hazır hale getirilmişlerdir. Sentezlenen numuneler Al kaynağına bağlı olarak Co/Al(OH)<sub>3</sub> ve Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak kodlandırılmıştır. Ayrıca kalsinasyon sıcaklıkları kodlamada belirtilmiştir.

Numunelerin karakteristik özellikleri; termal, kristal, yüzey ve morfolojik özellikler olmak üzere dört farklı temele bağlı karakterizasyon teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. 110 °C'de kurutulmuş numunelerin termal özellikleri, Perkin Elmer Pyris Diamond DTA/TG cihazı kullanılarak incelenmiştir. Cihaz, analizler öncesi indiyum metalinin erime noktası ile kalibre edilmiştir. Analizler 30-900 °C sıcaklık aralığında, 10 °C/dk ısıtma hızında, oksijen atmosferinde (200 ml/dk) platin kroze içerisinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kristal özellikleri, X ışınlarının 45 kV ve 40 mA değerlerinde CuK $\alpha$  tüpünde üretildiği Philips Panalytical X'Pert Pro XRD cihazıyla incelenmiştir. Toz haldeki numuneler, alüminyum numune kabında pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasına dikkat edilerek analiz için hazırlanmıştır. Analizler 0,01 2 $\theta$  adım sayısında ve 1,2 sn tarama zamanında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonrasında numunelerin kristal fazları X'Pert High Score Plus programı ile analiz edilmiş, Scherrer-Debye denklemi ile kristal boyutları hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$D_p = \frac{0.9 \lambda}{\beta_{1/2} \cos \theta} \quad (1)$$

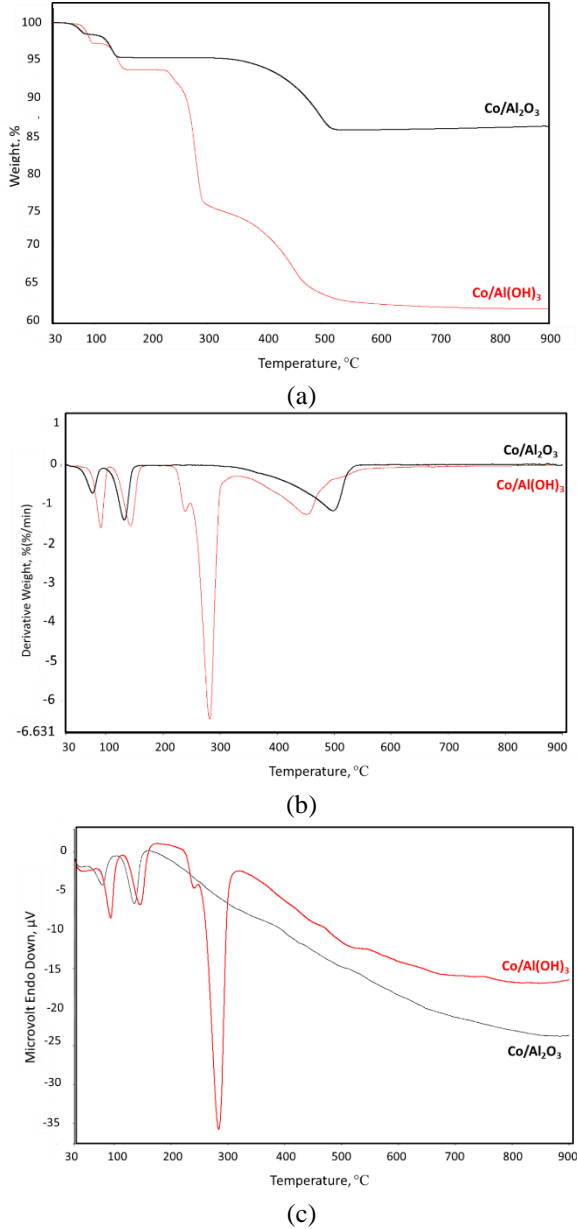
Bu eşitlikte D<sub>p</sub> kristal boyutu (nm),  $\lambda$  X-ışını dalga boyu (0.1542 nm),  $\beta$  (°) ve  $\theta$  (°) ifade etmektedir.

Numunelerin yüzey özellikleri, Quantachrome, Autosorb-1 marka yüzey analiz cihazında belirlenmiştir. 180 °C'de 3 saat'lik gaz giderme işleminden sonra numunelerin çok noktalı Brunauer-Emmett-Teller (BET) spesifik yüzey alanları ölçülmüştür. Numunelerin morfolojik özellikleri ZEISS EVO LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Numuneler analiz öncesinde karbon bant üzerine yapıştırılmış ve altın ile kaplanarak SEM analizi için hazır hale getirilmişlerdir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 1'de Co/Al(OH)<sub>3</sub> ve Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunelerine ait termal analiz sonuçları verilmektedir. Genel olarak incelendiğinde her iki numunenin termal davranışının farklı olduğu görülmektedir. Şekil.1a'da verilen Co/Al(OH)<sub>3</sub> ve Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunelerine ait TG analiz sonuçları incelendiğinde, Al kaynağının sıcaklığa bağlı olarak yapıların kütleli değişiminde farklı davranışlar sergilemesine neden olduğu belirlenmiştir. 900 °C'de tamamlanan analizler sonucunda her iki numunedeki kütleli düşüş miktarları arasındaki yaklaşık ağırlıkça %20.50'lik fark dikkat çekmektedir. Şekil.1a, b ve c birlikte değerlendirildiğinde, Co/Al(OH)<sub>3</sub> numunesinin

sıcaklığın artışı ile yapısında meydana gelen kütle değişiminin dört ana basamaktan oluşan 5 adet reaksiyon gerçekleştiği görülmüştür. Bu reaksiyonlar, endotermik özellikte olup kütle azalışına sebep olmuşlardır.



**Şekil.1** Co-Al numunelerine ait termal analiz sonuçları: (a) TG, (b) DTG ve (c) DTA (Thermal analysis results of Co-Al samples: (a) TG, (b) DTG and (c) DTA)

İlk reaksiyon, 85 °C civarında başlamış olan 103.80 °C'de %ağ. 2.752 düşüşü ile tamamlanan yüzey nemlerinin uzaklaşması reaksiyonudur. İkinci reaksiyon adımı bunu takiben gerçekleştirmiş olup 222,69 °C'de %ağ. 3,582 ağırlık kaybı ile tamamlanmıştır. Üçüncü reaksiyon basamağında, birbirini ardı ardına takip eden iki kademede gerçekleşen bir reaksiyondur. İlk ve yavaş kademelerin gerçekleştiği maksimum sıcaklık 239,35 °C olup, hızlı reaksiyonun ise 282.09 °C'de gerçekleştiği ve toplamda %ağ. 18,52 kütle kaybı ile son bulduğu

belirlenmiştir. Dördüncü reaksiyon basamağı 304,55°C ile 555,19 °C arasında %ağ. 13,015 kütle kaybı ile gerçekleştiği görülmektedir. 555,19 °C sonrasında herhangi bir reaksiyonun olmadığı görülmekte olup toplamda %ağ. 35,12'lik kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Şekil.1'de verilmekte olan Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesine ait termal analiz sonuçları incelendiğinde 3 basamaklı endotermik reaksiyon sonucunda toplamda %ağ. 14,626'lık kütle kaybı olduğu görülmektedir. Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin yüzey nemlerinin uzaklaşması etkin olarak 77,32 °C'de gerçekleşmiş ve 95,52 °C'de %ağ. 1,616'lık kütle kaybı ile sonlanmıştır. İkinci reaksiyon 95,52 °C-155,22 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmiştir. Bu endotermik adımdaki kütle kaybı %ağ. 3,14'dür. Üçüncü reaksiyon %ağ. 9,874'lük kütle kaybı ile 310 °C-538,90 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiş olup T<sub>m</sub> 498,13 °C olarak belirlenmiştir. Bu reaksiyon sonrasında herhangi bir endo ya da ekzo termik reaksiyonun gerçekleşmediği termal analiz sonuçlarında görülmektedir.

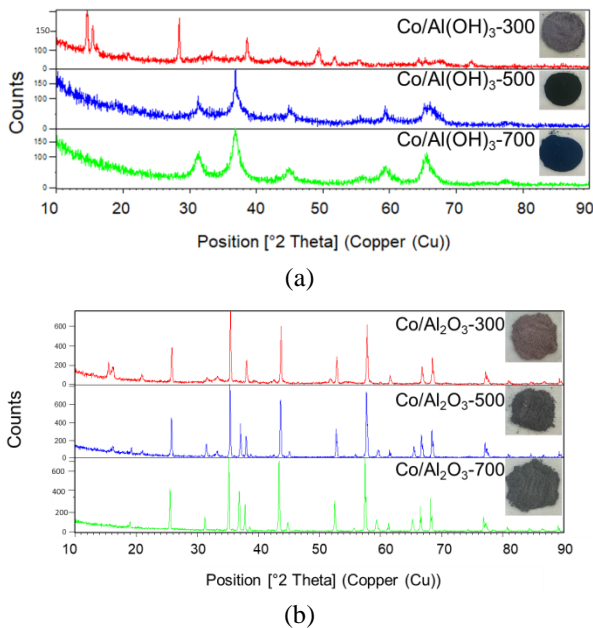
Her iki numuneye ait termal analiz sonuçları karşılaştırıldığında ilk iki basamağın benzerlik gösterdiği dikkatleri çekmektedir. İlk basamak yüzey neminin numuneden uzaklaşması ve ikincisi ise kobalt klorüre ait hidrat yapısındaki suların numuneden uzaklaşmasına tekabül etmektedir [12]. Ayrıca boehmit, 222,64 °C-304,55 °C aralığında gerçekleşen iki kademeli reaksiyonlar sonucunda alüminaya (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dönüşmektedir (Eşitlik 2 ve 3) [13].



Bununla beraber son reaksiyon basamağında kobalt yapısındaki kristal suların tamamen kaybı gerçekleşerek kimyasal yapı dönüşümünün tamamlandığı ve 550 °C sonrasında da bir reaksiyon gerçekleşmediği görülmektedir.

Şekil.2'de farklı alümina kaynaklarından hazırlanan Co-Al-O numunelerine ait X-ışını kırınım desenleri verilmektedir. Şekil.2a'da farklı sıcaklıklarda termal işleme tabi tutulmuş Co/Al(OH)<sub>3</sub> numunelerine ait XRD sonuçları görülmektedir. 300 °C'de kalsine edilmiş numunenin kristal yapısı incelendiğinde ortorombik yapıdaki AlOOH (JCPDS:00-017-0940) ve CoCl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O (JCPDS:00-023-0933) fazlarında oluştuğu tespit edilmiştir. AlOOH'a ait karakteristik pikler 14°, 28° ve 38° civarında ve CoCl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O ait ana pikler ise 2,59°, 15,61° ve 31,37° civarında kaydedilmiştir. 300 °C'de hazırlanan Co/Al(OH)<sub>3</sub>-300 numunesine ait kristal yapı sonuçlarının termal analiz sonuçları ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Boehmit ve CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O bileşenlerinden hazırlanan numunenin 300 °C'de işlem görmesi ile termal analiz sonuçlarından elde edilen, bünyedeki kristal suların ve nemin uzaklaştığı, fakat kristal fazın Co-Al oksit yapısına dönüşümünün tamamlandığı belirlenmiştir. Termal analiz sonucu değerlendirildiğinde, kütle azalmanın 300 °C'e sonrasında endotermik pik ile devam ettiği görülmektedir. 500 °C'de kalsine edilen Co/Al(OH)<sub>3</sub>-500 numunesinin kristal faz incelenmesi gerçekleştiğinde

yapının  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  (JCPDS:00-003-0896) 'e dönüştüğü belirlenmiştir.  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  yapısına ait karakteristik piklerin  $31,2^\circ$ ,  $36,8^\circ$  ve  $65,2^\circ$ 'de kaydedilmiştir. Bununla beraber kalsinasyon sıcaklığının  $700^\circ\text{C}$ 'ye çıkartılması ile beraber yapının  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  (JCPDS:01-070-0753) yapısını koruduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil.2a'da  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kaynağından hazırlanan numunelere ait optik kamera ile kaydedilen görüntüler iç grafik olarak verilmektedir. Görüntülerden de anlaşıldığı üzere,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kaynağından hazırlanan  $\text{Co}/\text{Al}(\text{OH})_3$  numunelerinin kalsinasyon sıcaklığının artırılması ile belirgin renk değişim gösterdiği belirlenmiştir.  $300^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan numune lila renginden fümeye dönüşmüş,  $700^\circ\text{C}$ 'de kalsinasyon sonrasında ise  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ 'e özgü kobalt mavisi rengini almıştır.



**Şekil.2** Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen numunelere ait X-ışını kırınım desenleri: (a)  $\text{Co}/\text{Al}(\text{OH})_3$  ve (b)  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (X-ray diffraction patterns of the samples calcined at different temperatures:(a)  $\text{Co}/\text{Al}(\text{OH})_3$  and (b)  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Şekil.2b'de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaynağından farklı sıcaklıklarda termal işleme tabii tutulmuş  $\text{Co}-\text{Al}-\text{O}$  numunelerine ait X-ışını kırınım sonuçları verilmektedir. Sonuçlar detaylı olarak incelendiğinde,  $300^\circ\text{C}$ 'de hazırlanmış olan numunenin çift fazdan oluştuğu belirlenmiştir. Yapı hekzagonal  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (JCPDS: 01-071-1128) olup  $25,7^\circ$ ,  $35,3^\circ$  and  $37,9^\circ$  karakteristik pikleri kaydedilmiştir. Ayrıca numunenin kaya tuzu kübik yapıdaki  $\text{CoO}_2$  (JCPDS:01-089-8399) kristallerine sahip olduğu belirlenmiştir.  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3-500$  kodlu numunenin de  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3-300$  kodlu numune ile benzer çift fazlı yapıda olduğu ve hekzagonal  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (JCPDS: 01-071-1127) ve kübik yapıdaki  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (JCPDS:03-065-3103) yapıları ihtiva ettiği analiz edilmiştir. Kalsinasyon sıcaklığının  $300^\circ\text{C}$ 'den  $500^\circ\text{C}$ 'ye artırılması sonucunda kobalt oksit fazının oksidasyon seviyesinin değişim göstererek

$\text{CoO}_2$ 'den  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 'e dönüştüğü dikkatleri çekmektedir.  $700^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3-700$  kodlu numunenin kristal fazları incelendiğinde yapının  $500^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan numuneyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Numunenin sırasıyla  $35,12^\circ$ ,  $43,33^\circ$  ve  $57,47^\circ$  karakteristik piklerine sahip  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (JCPDS: 01-088-0826) ve kübik yapıdaki  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (JCPDS:01-074-2120) fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca Şekil.2b'de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaynağından hazırlanan numunelerin  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$  numunelerinin optik kamera görüntüleri verilmektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaynağından hazırlanan numunelerin renginin  $300^\circ\text{C}$ 'de kobalt klorür monohidrat içeriği sebebiyle pudra pembesi renkte olduğu görülmektedir. Kalsinasyon sıcaklığının artışı ile rengin grinin tonlarında olduğu görülmektedir.

Tüm X-ışını kırınım sonuçları değerlendirildiğinde, kobalt alüminyum oksit üretimi için en uygun  $\text{Al}$  kaynağının  $\text{Al}(\text{OH})_3$  olduğu görülmektedir. Ayrıca kobalt alümina ( $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ) dönüşümünün gerçekleşmesi için uygulanacak olan termal işlemin en az  $500^\circ\text{C}$ 'de yapılması gerekmektedir. Elde edilen  $500^\circ\text{C}$  ve  $700^\circ\text{C}$ 'de sentezlenen  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$  ürünlerinin parçacık boyutları Scherrer-Debye denklemi kullanılarak  $27,76$  nm ve  $13,51$  nm olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görülmektedir ki, kalsinasyon sıcaklığının artırılmasıyla beraber elde edilen  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ 'ün parçacık boyutunda yaklaşık olarak % 51'lik azalma olmaktadır.

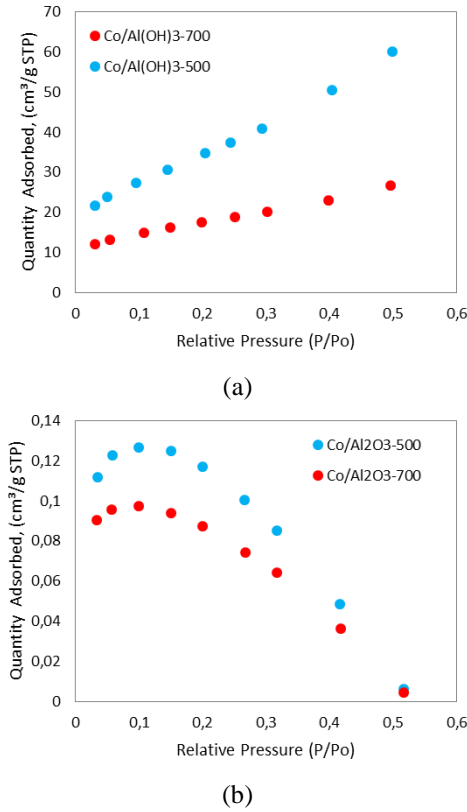
Tablo.1 ve Şekil.3'de farklı alümina kaynaklarından  $500^\circ\text{C}$  ve  $700^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan numunelere ait BET yüzey analiz sonuçları ve  $\text{N}_2$  yüzey adsorpsiyon izotermi verilmektedir.

**Çizelge.1**  $500^\circ\text{C}$  ve  $700^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan numunelere ait BET yüzey analiz sonuçları (BET surface analysis results of samples prepared at  $500^\circ\text{C}$  and  $700^\circ\text{C}$ )

Al kaynağı	$T_k$ , $^\circ\text{C}$	$A_{\text{BET}}$ , $\text{m}^2\text{g}^{-1}$	$V_g$ , $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$	$D_g$ , nm
$\text{Al}(\text{OH})_3$	500	133,4357	0,136796	4,10073
	700	59,9071	0,142884	9,54039
$\text{Al}_2\text{O}_3$	500	0,0217	0,000774	142,44810
	700	0,0160	0,000466	116,59784

DTA/TG ve XRD sonuçları beraber değerlendirildiğinde üretim için belirlenen sıcaklıklarda hazırlanan numunelerin yüzey özelliklerinin aydınlatılmasına karar verilmiştir.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  kaynağından hazırlanan kobalt alüminaların mezogözenekli yapıda ve BET yüzey alanının  $\sim 133$   $\text{m}^2\text{g}^{-1}$  olduğu belirlenmiştir. Kalsinasyon sıcaklığının  $200^\circ\text{C}$  artmasıyla beraber BET yüzey alanında yaklaşık % 55'lik bir düşüş ve gözenek büyüklüğünde ise yaklaşık %133'lük bir artış tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaynağından hazırlanan  $\text{Co}-\text{Al}$  numunelerinin oldukça düşük yüzey alanı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca düşük gözenek hacmine sahip numunelerin makro gözenek büyüklükleri dikkat çekmektedir.

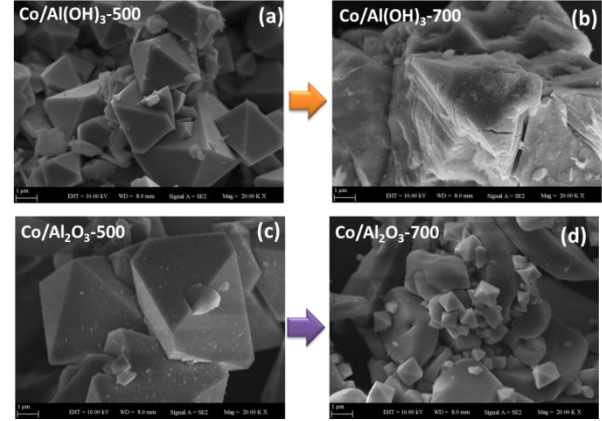




**Şekil.3** 500 °C ve 700 °C’de hazırlanan numunelere ait N<sub>2</sub> yüzey adsorpsiyon izotermi: (a) Co/Al(OH)<sub>3</sub> ve (b) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (N<sub>2</sub> surface adsorption isotherms of samples prepared at 500 °C and 700 °C: (a) Co/Al(OH)<sub>3</sub> and (b) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Şekil.4’de farklı alümina kaynaklarından 500 °C ve 700 °C’de hazırlanan numunelere ait SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil.4a’da verilmekte olan Al(OH)<sub>3</sub> kaynağından sentezlenen tek fazlı CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> kristallerin oktahedral yapıda olduğu dikkat çekmektedir. Bununla beraber yapıların boyut ölçümleri en küçük 0,42 µm en büyük 3,6 µm olup ortalama 2,22 µm olarak ölçülmüştür. Kalsinasyon sıcaklığının 500 °C’den 700 °C’ye yükseltilmesiyle beraber oktahedral yapıların kafes yapılarındaki bozunma dikkati çekmektedir (Şekil.4b).

Şekil.4c’deki 500 °C Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaynağından hazırlanan numuneye ait SEM görüntüsü incelendiğinde, kristal yapıları farklılık göstermesine rağmen Al(OH)<sub>3</sub> kaynağından 500 °C’de sentezlenen numune ile benzer yapısal özellik gösterdiği dikkatleri çekmektedir. En küçük parçacık boyutu 3,75 µm ile 5,25 µm ortalama boyutlara sahip oktahedral yapılar olduğu ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, kalsinasyon işleminin 700 °C’de gerçekleştirilmesi ile yığın yapılar üzerindeki 0,8 µm büyüklüğündeki oktahedral yapılar olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 4.** 500 °C ve 700 °C’de hazırlanan numunelere ait SEM görüntüleri: (a) Co/Al(OH)<sub>3</sub>-500, (b) Co/Al(OH)<sub>3</sub>-700, (c) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-500 ve (d) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-700 (SEM images of samples prepared at 500 °C and 700 °C: (a) Co/Al(OH)<sub>3</sub>-500, (b) Co/Al(OH)<sub>3</sub>-700, (c) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-500 and (d) Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-700)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, boehmit ve korundum olmak üzere farklı Al kaynakları ile kobalt klorürün emdirme yöntemini takiben ısıtım işlem sonrası tek fazlı spinel CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> üretimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Al kaynağının ve ısıtım sıcaklığının Co-Al oksit üretiminde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda, tek kristal faza sahip sentezi için Al kaynağı olarak boehmit kullanılması önerilmektedir. Sol-jel yöntemi ile karşılaştırıldığında maliyet artırıcı ve CO<sub>2</sub> salınımına sebep olan organik ajanların kullanımını gerektirmeyen emdirme yöntemi takiben 500 °C’de uygulanan ısıtım sonrası mezo gözenekli yüksek yüzey alanlı spinel yapının oluştuğu tespit edilmiştir. Farklı yapıda sentezlenen spinel yapıdaki Co-Al içerikli oksitlerin özellikle bor içerikli kimyasal hidrürlerin dehidrojenasyonu, CO oksidasyonu, NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub> yanma reaksiyonları gibi katalitik uygulamalarda kullanım potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra katalitik özellikleri sebebiyle gaz, nem ve uçucu organik bileşiklerin tayininde sensör bileşeni olarak kullanımı geliştirilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırma çalışmasında, sağlamış olduğu laboratuvar imkanları ve teknik destek için Doç. Dr. Aysel Kantürk Figen’e teşekkürlerimi sunarım.

#### SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

%ağ.	: Yüzde ağırlıkça
°C	: Celcius derece
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
Dk	: Dakika
G	: Gram

**JCPDS:** Joint Committee on Powder Diffraction Standarts

**m<sub>2</sub>** : metrekaresi

**nm** : Nanometre

**NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub>**: Azot oksit/oksijen gazı

**sn** : saniye

**T<sub>m</sub>** : Erime sıcaklığı

**α** : Alfa

**θ** :Teta

**μm** : Mikrometre

**Tk:** Kalsinasyon sıcaklığı

**ABET** : BET yüzey alanı

**V<sub>g</sub>** :Gözenek hacmi

**D<sub>g</sub>** : Gözenek boyutu

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Duan X., Pan M., Yu F. and Yuan D., "Synthesis, structure and optical properties of CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel nanocrystals", *Journal of Alloys and Compounds*, 509: 1079–1083, (2011).
- [2] Srisawad N., Chaitree W., Mekasuwandumrong O., Praserttham P. and Panpranot J., "Formation of CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles via Low-Temperature Solid-State Reaction of Fine Gibbsite and Cobalt Precursor", *Journal of Nanomaterials*, 108369, 8, (2012).
- [3] Merino M.C.G., Estrella A.L., Rodriguez M.E., Acuña L., Lassa M.S., Lascalea G.E. and Vázquez P., "Combustion Syntheses of CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Powders Using Different Fuels", *Procedia Materials Science*, 8: 519 – 525, (2015).
- [4] Salavati-Niasari M., Farhadi-Khouzani M. and Davar F., "Bright blue pigment CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals prepared by modified sol–gel method", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 52: 321–327, (2009).
- [5] Gardey Merino M. C., Lascalea G. E., Sánchez L. M., Vázquez P. G., Cabanillas E. D. and Lamas D. G., "Nanostructured aluminium oxide powders obtained by aspartic acid-nitrate gel-combustion", *Journal of Alloys and Compounds*, 495: 578–582, (2010).
- [6] Chemlal S., Larbot A., Persin M., Sarrazin J., Sghyara M. and Rafiq M. "Cobalt spinel CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> via sol-gel process: elaboration and surface properties", *Materials Research Bulletin*, 35: 2515–2523, (2000).
- [7] Otero Areán C., Peñarroya Mentrut M., Escalona Platero E., Llabrés i Xamena F.X. and Parra J.B. "Sol–gel method for preparing high surface area CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinels", *Materials Letters*, 39: 22–27, (1999).
- [8] Cho W-S. and Kakihana M. "Crystallization of ceramic pigment CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals from Co–Al metal organic precursor", *Journal of Alloys and Compounds*, 287: 87–90, (1999).
- [9] Li W., Li J. and Guo J. "Synthesis and characterization of nanocrystalline CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel powder by low temperature combustion", *Journal of the European Ceramic Society*, 23: 2289–2295, (2003).
- [10] Lorenzelli V. and Bolis, V. "Preparation, bulk characterization and surface chemistry of high-surface-area cobalt aluminate", *Materials Chemistry and Physics*, 31(3): 221-228, (1992).
- [11] Chen Z., Shi E., Li W., Zheng Y., Wu N. and Zhong W. "Particle size comparison of hydrothermally synthesized cobalt and zinc aluminate spinels", *Journal of the American Ceramic Society*, 85(12): 2949-2955, (2002).
- [12] Coşkuner B., Figen A.K. and Pişkin, S. "Solid state preparation and reaction kinetics for Co/B as a catalytic/acidic accelerator for NaBH<sub>4</sub> hydrolysis", *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 109(2): 375-392, (2013).
- [13] Živković, Ž.D. and Dobovišek, B. "Kinetics of aluminium hydroxide dehydration", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 12(2): 207-215, (1977).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



**Transformatörlerde kazan kayıplarının azaltılmasında en uygun yatay şönt eleman boyutu ve konumunun parametrik sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi**

*Investigation of the optimal dimension and location of horizontal shunts in transformers with parametrical finite element analyses*

*Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Aytaç ÇINAR*

*ORCID: 0000-0002-1655-4281*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çınar M. A., “Transformatörlerde kazan kayıplarının azaltılmasında en uygun yatay şönt eleman boyutu ve konumunun parametrik sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 729-736, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.438023

# Transformatörlerde Kazan Kayıplarının Azaltılmasında En Uygun Yatay Şönt Eleman Boyutu ve Konumunun Parametrik Sonlu Elemanlar Analizleri ile İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Aytaç ÇINAR\***

İzmit Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

## ÖZ

Manyetik şönt kullanımı transformatörlerde meydana gelen kazan kayıplarının azaltılmasında etkin bir yöntemdir. Bu şönt elemanların kazan duvarlarının iç yüzeyine dikey olarak yerleştirilmesi, kazan kayıplarını önemli oranda azaltması sebebiyle transformatör üreticileri tarafından yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, şönt elemanların yatay biçimde kullanılması durumu değerlendirilmekte ve en uygun şönt eleman boyutu ve konumunun belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla 1250kVA gücünde düşük kayıplı bir dağıtım transformatörü incelenmiştir. Öncelikle, transformatörde meydana gelen kazan kayıpları benzetim çalışmaları ile belirlenmiş ve deneysel ölçümler ile doğrulanmıştır. Ardından kazan kayıplarını etkin biçimde azaltmak için yatay şönt elemanların en uygun boyut ve konumunun belirlenmesi amacıyla parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, göz önünde tutulan diğer kriterlere de bağlı olarak kazan kayıplarının yaklaşık %80 oranında azaltılabildiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Transformatör, kazan kaybı, yatay manyetik şönt, sonlu elemanlar analizi.

## Investigation of the Optimal Dimension and Location of Horizontal Shunts in Transformers with Parametrical Finite Element Analyses

### ABSTRACT

Magnetic shunting is an efficient way to reduce stray losses in transformer tank walls. Due to the vertical placement of these shunts inside the tank walls are greatly reduce these losses, this method are widely used by transformer manufacturers. In this study, authors are focused on horizontal shunting method and optimal dimensions and locations of these shunts are investigated. A 1250kVA high efficient distribution transformer is studied. First, stray losses on tank walls were calculated by simulations and obtained results were verified by measurements. Then, a number of analyses were conducted parametrically to obtain the optimal position and dimensions of the horizontal shunts. Analysis results show that, considering the other important issues such as cooling efficiency of tank walls, stray losses on tank walls are reduced by 80%.

**Keywords:** Transformer, stray loss, horizontal magnetic shunt, finite element analysis

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Transformatörler elektrik iletim ve dağıtım şebekesinde önemli görev üstlenen şebeke bileşenlerinden biridir. Anma yükündeki çalışma verimleri %98-99 düzeyinde olmasına karşın transformatörler, enerji şebekesinde yüz binler ile ifade edilen sayıları sebebiyle şebekede meydana gelen toplam güç kayıplarının üçte birini oluşturmaktadır. Bu durum transformatörleri kayıplara neden olan ikinci büyük bileşen haline getirmektedir.

Transformatörlerin çalışması esnasında meydana gelen güç kayıpları boşa çalışma kayıpları ile yükte çalışma kayıplarının toplamı biçiminde ifade edilmektedir. Yükten bağımsız olduğu kabul edilen boşa çalışma kayıplarının aksine yüklü çalışma kayıpları yük akımının karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yük

kayıpları transformatörün faz sargılarında meydana gelen I<sup>2</sup>R kayıpları, sargılarda ortaya çıkan eddy akımlarının meydana getirdiği kayıplar ile transformatörün metal yapısal bileşenlerinde meydana gelen eddy akımlarının oluşturduğu kayıpların toplamı biçiminde hesaplanmaktadır.

Transformatörün başta kazan duvarları olmak üzere metal yapısal bileşenlerinde ortaya çıkan eddy kayıpları toplam yüklü çalışma kaybının %20-50'si düzeyindedir [1]. Bu kayıpların çok büyük miktarı sargılarda meydana gelen kaçak akıların kazan duvarlarında oluşturduğu ve kazan kaybı olarak da adlandırılan güç kayıplarındır. Literatürde, transformatörlerin kazan kayıplarının hesaplanması, azaltılması ve çeşitli sayısal yöntemler ile analizi çalışmalarına yoğunlukla rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra kaçak akıların nüve tutucu elemanlar [2] ve iletken bağlantılarının gerçekleştirildiği bağlantı kutuları

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : aytac@kocaeli.edu.tr

[3] gibi yapısal elemanlar ile çoğunlukla kazan kapağı üzerine yerleştirilen buşinglerin bağlantı noktaları [4-5] gibi kısımlarda bölgesel olarak meydana getirdiği güç kayıpları da literatürde incelenmektedir.

Kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıpları transformatörün sargı akımları, bağlı kısa devre gerilimi, sargı yapısı, sargılar ile kazan duvarları arasındaki uzaklık gibi fiziksel ve elektriksel parametrelere ek olarak kazanın üretiminde kullanılan malzemenin elektromanyetik özelliklerine de bağlıdır. Kazan duvarlarının iç yüzeyine manyetik özellikli olmayan malzemeler ile ekranlama uygulamasının yanı sıra manyetik özellikli malzemeler kullanılarak imal edilen şönt elemanların kazan duvarlarının iç yüzeyine yerleştirilmesi ile de kazan kayıplarının önemli düzeyde azaltılması mümkün olmaktadır.

Literatürde kazan kayıplarını konu alan çalışmaların çok büyük kısmının, ortaya çıkan kayıpların büyüklüğü sebebiyle güç transformatörleri odaklı olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Dağıtım transformatörleri için gerçekleştirilen az sayıdaki çalışmadan biri olan [6]'da 50kVA gücündeki bir dağıtım transformatörünün kazan duvarlarında meydana gelen kayıpların alüminyum ekranlama uygulanarak azaltılması incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar, kazan kayıplarının %50 oranında azaltıldığını göstermektedir. [7]'de, ekranlama amacıyla kullanılan alüminyum malzemenin kayıplar üzerine etkisi 500kVA gücündeki bir transformatör yardımıyla değerlendirilmektedir. Teknik analizlere ek olarak gerçekleştirilen ekonomik analizler, ekranlama yönteminin küçük güçlü transformatörler için uygulanabilir olmadığını göstermektedir. [8]'de ise ekranlama ve manyetik şönt uygulanması yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, kazan kayıplarının azaltılmasında şönt uygulamasının ekranlama yöntemine kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Literatürde manyetik şönt uygulamalarının incelendiği çalışmaların tamamına yakınında bu elemanlar kazan duvarının iç yüzeyine dikey konumda yerleştirilmektedir. Yazarlar tarafından [9]'da, dikey olarak yerleştirilen şönt elemanların en uygun konum ve boyutunun belirlenmesine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada boyutları ve konumu bu yöntem ile belirlenen şönt elemanların kullanımı ile kazan kayıplarının %91.43, transformatörün toplam yüklü çalışma kayıplarının ise %14.9 oranında azaltıldığı görülmektedir.

Dikey şönt uygulamalarının aksine, literatürde yatay şönt uygulamasının incelendiği sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. [10-11]'de şönt elemanların yatay olarak sargı ile boyunduruk arasına yerleştirilmesi durumu incelenmektedir. Bu çalışmalarda ağ modeline dayanan bir sayısal yöntem oluşturulmuş ve bu yöntem yatay şöntlerin kaçak akılara olan etkisinin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır. [12]'de sargılar ile nüve arasına yatay olarak yerleştirilen şönt elemanlar ile nüve tutucu elemanlar ve kazan duvarlarına sirayet eden kaçak akının

oluşturduğu kayıpların sırasıyla %49.6 ve %25.8 oranında azaltılması sağlanmıştır. [13]'te ise şönt elemanların yatay olarak kazan duvarının iç yüzeyine yerleştirilmesi durumu incelenmektedir. Çalışmada 200MVA gücünde bir güç transformatörü için yatay ve dikey şönt uygulamaları güç kayıplarındaki azalma ve toplam ilave şönt ağırlığı bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmada sadece uzun yan duvarlara yatay şönt elemanlar yerleştirildiği, kısa yan duvarlarda ise alışlagelen dikey şönt elemanların kullanıldığı görülmektedir. Sonuç olarak yatay şönt elemanların dikey şönt eleman uygulanması yöntemi kadar etkin olduğu, bununla birlikte yatay şöntlerin ağırlığının %25 daha az olduğu vurgulanmaktadır.

2015 yılında yürürlüğe giren ve 2017 yılında revize edilen EN 50588-1 standardı ile transformatörlerde izin verilen boşa ve yükte çalışma kayıplarının sınır değerleri yeniden düzenlenmiştir. Yerini aldığı standart ile karşılaştırıldığında bu düzenleme ile transformatörün gücüne bağlı olarak izin verilen boşa ve yükte çalışma kayıplarının sınır değerleri sırasıyla %42.50 ve %21.43'e varan oranlarda azaltılmıştır. Bu durum özellikle transformatör üreticileri için kayıplara neden olan her bileşenin değerlendirilmesi ve kayıpların azaltılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, transformatörlerin kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıplarının azaltılması amacıyla şönt elemanların yatay olarak konumlandırılması yöntemi değerlendirilmektedir. Bu amaçla, 1250kVA gücünde, 34.5/0.4kV gerilim düzeyinde ve 50Hz frekanslı bir dağıtım transformatörü incelenmiştir. Çalışmada transformatörün kazan duvarları üzerinde meydana gelen kayıplar benzetim çalışmaları ile hesaplanmış ve elde edilen kayıp değeri deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. Ardından bu kayıpların etkin biçimde azaltılması amacıyla kullanılacak olan yatay şönt elemanların en uygun boyutunun ve en uygun konumunun belirlenmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla parametrik analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2. EDDY KAYIPLARININ HESAPLANMASI (CALCULATION OF EDDY LOSSES)

Transformatörlerin faz sargılarında meydana gelen kaçak akılar kazan duvarları başta olmak üzere transformatörün metal yapısal bileşenleri üzerinde güç kayıplarına sebep olmaktadır. Bu kayıplar bileşenler üzerinde bölgesel olarak yüksek sıcaklıklar meydana getirerek transformatörün yaşlanmasını hızlandırmakta ve zaman zaman arızalara yol açmaktadır.

Bu kayıpların doğru biçimde hesaplanabilmesi, kayıpların azaltılması için en uygun yöntemin uygulanabilmesi amacıyla önem taşımaktadır. Metal bileşenlerin elektromanyetik özellikleri göz önünde tutulduğunda meydana gelen güç kayıplarının sayısal olarak hesaplanmasının kolay olmadığı görülmektedir. Bu sebeple, oluşturulan üç boyutlu modeller ve sonlu elemanlar analizi gibi matematiksel yöntemler bu

kayıpların hesaplanabilmesinde kolaylıklar sağlamaktadır..

Transformatör modelinin zaman domeninde gerçekleştirilen üç boyutlu analizinde,

$$\vec{B}=\nabla\times\vec{A} \quad (1)$$

$$\nabla\times\vec{H}=\vec{J} \quad (2)$$

$$\nabla\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla\times\frac{1}{\mu}(\nabla\times\vec{A})=\vec{J}-\sigma\frac{\partial\vec{A}}{\partial t} \quad (4)$$

eşitliklerinden faydalanılmaktadır. Bu eşitliklerde;  $\vec{H}$  manyetik alan şiddeti,  $\vec{J}$  akım yoğunluğu,  $\mu$  geçirgenlik,  $\sigma$  iletkenlik,  $\vec{E}$  elektrik alan şiddeti,  $\vec{B}$  manyetik alan yoğunluğu ve  $\vec{A}$  manyetik vektör potansiyelini simgelemektedir.

Kaçak akının metal bileşen üzerinde etki ettiği deri kalınlığı,

$$\delta=\sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\mu_r\sigma}} \quad (5)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu değer malzemenin elektromanyetik özelliklerine önemli oranda bağlıdır. 50Hz'lik şebeke frekansında bu kalınlık değeri milimetre düzeyindedir. Transformatörü oluşturan yapısal bileşenlerin boyutlarıyla kıyaslandığında çok küçük olan bu değer sebebiyle, sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında çok yoğun ağ yapısına ve dolayısıyla çok fazla sayıda sonlu elemana gereksinim duyulmaktadır. Bu ihtiyaç beraberinde yüksek işlemci kapasitesini gerektirmekte ve çözüm süresini uzatmaktadır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak amacıyla kazan duvarının modellenmesinde yüzey empedans yöntemi kullanılmaktadır. Bu sayede kazan yapısında oluşturulan sonlu eleman sayısı ve çözüm süresi önemli ölçüde azalmaktadır.

Buradan yola çıkarak metal yapısal bileşenlerde meydana gelen güç kayıplarının değeri;

$$P=\iint_S\sqrt{\frac{\omega\mu\mu_0^2}{2\sigma}}ds \quad (6)$$

biçiminde hesaplanmaktadır.

### 3. İNCELENEN TRANSFORMATÖR (STUDIED TRANSFORMER)

EN50588-1 standardı ile düşük kayıp sınıflarındaki dağıtım transformatörleri için izin verilen en yüksek boşa ve yükte çalışma kayıp sınır değerleri düzenlenmektedir. Bu gerekliliklerin karşılanabilmesi amacıyla, transformatörün üretiminde düşük özgül kayıp değerine sahip nüve malzemesi kullanılması, iletken kesitine bağlı olarak sargı direncinin azaltılması ve modern üretim tekniklerinin kullanılmasına ek olarak kazan kayıplarının azaltılması da önem taşımaktadır.

Bu çalışmada 1250kVA gücünde, 34.5/0.4kV gerilim seviyesinde, 50Hz frekanslı ve Dyn11 bağlantı grubundaki bir düşük kayıplı dağıtım transformatörü incelenmiştir. AA0AK sınıfı gerekliliklerine uygun olarak tasarlanan transformatörde nüve tasarımı ve üretiminde H0-DR tip düşük kayıplı nüve malzemesi, primer ve sekonder sargıların üretiminde ise bakır iletken kullanılmıştır.

Transformatörün aktif kısmına ilişkin görünüm Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. İncelenen transformatör (Studied transformer)

### 4. EDDY KAYIPLARININ ANALİZİ VE AZALTILMASI (STRAY LOSS ANALYSES AND LOSS REDUCTION)

Transformatörün kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıplarının başlıca sebebi sargı akımlarının meydana getirdiği manyetik alandan kaynaklanan ve kazan duvarlarına sirayet eden kaçak akılardır. Bu kayıpların büyüklüğü faz sargıları ile kazan duvarları arasındaki mesafeyle ters orantılı olarak değişmektedir [9]. Bununla birlikte, kayıpları azaltmak amacıyla kazan boyutlarının büyütülerek bu mesafenin artırılması toplam kazan hacmini artıracağından dolayı kullanılan yağ miktarını ve toplam ağırlığı da artırmaktadır. Bu sebeple kazan kayıplarının azaltılması amacıyla manyetik şönt eleman uygulaması başta olmak üzere uygulanan yöntemler büyük önem kazanmaktadır.

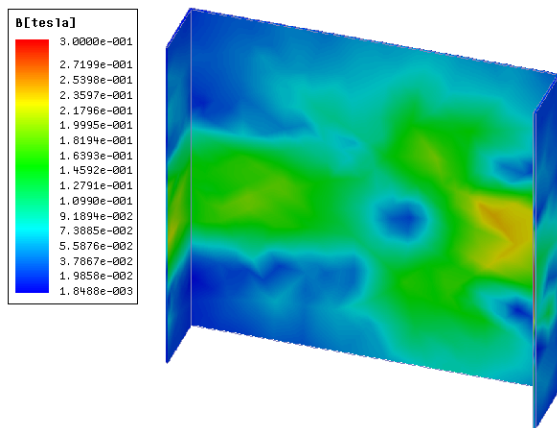
Bu çalışma ile en uygun yatay şönt eleman boyutlarının ve konumunun belirlenmesi hedeflenmektedir. Uygulanan yöntemin etkinliğinin belirlenmesi için öncelikle kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıplarının değerinin yüksek doğruluk ile elde edilmesi gerekmektedir. Önceki bölümde parametreleri verilen dağıtım transformatörü için kazan duvarlarında ortaya çıkan kayıplar benzetim çalışmaları ile hesaplanmış, elde edilen sonuçlar deneysel ölçümler ile doğrulanmıştır.

Kazan kayıplarının benzetim yoluyla hesaplanması amacıyla nüve, sargılar ve kazan duvarlarının üç boyutlu modellerinden faydalanılmaktadır. Kaçak akılar transformatörün yapısında mevcut olan nüve tutucu

elemanlar ve diğer metal bileşenler üzerinde de güç kayıpları meydana getirmektedir. Bununla birlikte, kazan duvarları ile kıyaslandığında bu bileşenlerde meydana gelen kayıpların çok küçük olması sebebiyle modelleme aşamasında bu bileşenler ihmal edilmiş ve modele dahil edilmemiştir. Elektromanyetik analizler için gerekli olan işlemci gücünü ve çözüm süresini azaltmak amacıyla transformatör kazanı duvarları düz levha olarak modellenmiş, dalga duvar yapısı göz ardı edilmiştir. Kazan malzemesi olarak elektriksel iletkenliği  $\sigma = 5e6$  S/m ve bağıl geçirgenliği  $\mu_r = 500$  olan düşük karbon içeriğe sahip demir malzeme tanımlanmıştır. Kazan kayıplarının hesaplanması için transformatörün kısa devre çalışmasının benzetimi gerçekleştirilmiştir. Tüm elektromanyetik analizler ANSYS Maxwell v16.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaçak akıların kazan duvarlarında meydana getirdiği güç kayıpları benzetim çalışması sonucunda 1460.2W olarak hesaplanmaktadır. Bu değer kazan yan duvarları ile üst kapak ve kazan tabanında meydana gelen toplam kayıp değeridir. Analiz sonuçları bu kaybın %95'inin kazan duvarlarında meydana geldiğini göstermektedir. Transformatörün kazan tabanında meydana gelen kayıp değeri ihmal edilebilir düzeydedir. Transformatörlerde kazan kapağında meydana gelen güç kayıplarının ise başlıca nedeni yüksek akım taşıyan iletkenlerin buşing bağlantı noktalarında meydana getirdiği kayıplardır. Kapağın iç yüzeyine şönt eleman yerleştirmek yapısal sebeplerden dolayı mümkün olmadığından dolayı bu kayıpları azaltmak için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Yazarlar tarafından [4]'te açıklanan yöntem bu çalışmada incelenen transformatöre uygulanmış olup, kapakta meydana gelen kayıpların da göz ardı edilebilecek seviyeye düşürülmesi mümkün olmuştur.

Şekil 2'de kazan duvarlarında meydana gelen akı yoğunluğu dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2. Kazan duvarlarında meydana gelen akı yoğunluğu dağılımı (Flux distribution on tank walls)

Elde edilen benzetim sonuçlarının doğrulanması amacıyla deneysel ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim sürecinde, transformatörün modellenen her bir parçası üzerindeki güç kayıplarının ayrı ayrı belirlenmesi

mümkün olmaktadır. Buna karşın, deneysel olarak bu kayıpların doğrudan doğruya ölçümü mümkün değildir. Bu amaçla, transformatörün rutin testlerinden biri olan kısa devre çalışma deneyi EN60076-1 standardında belirtilen gerekliliklere uygun olarak iki kez gerçekleştirilmiştir. İlk olarak transformatöre kazan dışında kısa devre testi uygulanarak kısa devre kaybı ölçülmüştür. Ardından aynı ölçümler kazan içerisinde tekrarlanmıştır. İki ölçüm değeri arasındaki fark kazan duvarlarında meydana gelen kayıplar olarak kabul edilmiştir. Tüm ölçümler a-eberle PQ-Box 200 Mobil Enerji Analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

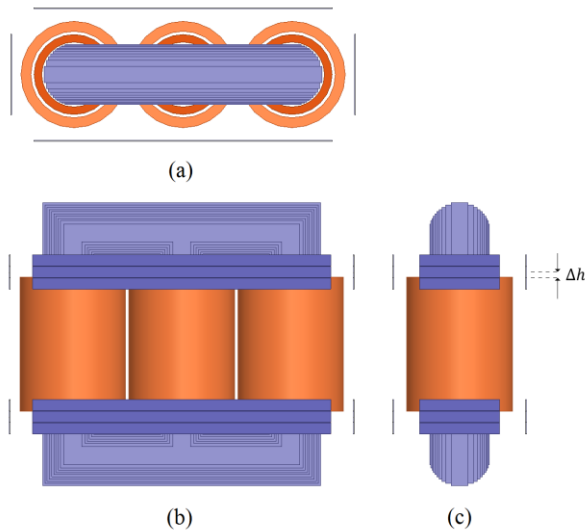
Çizelge 1'de benzetim ve test sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 1. Kazanda meydana gelen güç kayıpları (Power losses on tank walls)

Benzetim (W)	Deneysel ölçüm (W)	Hata oranı (%)
1460.2	1378.1	5.62

Literatürde yer alan araştırmalar kazan duvarları içerisine dikey olarak yerleştirilen manyetik şönt elemanlar ile kazan duvarlarında meydana gelen eddy kayıplarının önemli ölçüde azaltılabildiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, kayıpları en etkin düzeyde azaltacak olan en küçük ve en büyük dikey şönt eleman boyutlarının belirlenmesine yönelik olarak [9]'da yazarlar tarafından geliştirilen bir yöntem önerilmektedir. Buna karşın, özellikle hermetik kazanlı transformatörlerde geniş bir yüzey alanına sahip olan dikey şönt elemanların kullanılması sonucunda kazan içerisindeki yağ sirkülasyonu engellenmekte ve dalga duvar yapısının soğutma kapasitesi azalmaktadır. Yatay şönt elemanların kullanılması durumunda ise üst ve alt şönt paketler arasındaki boş alan sebebiyle kazan içerisindeki yağ sirkülasyonu mümkün olmaktadır. Bu sebeple yatay şönt kullanımı dikey şönt uygulamasına göre avantajlı olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, parametrik olarak gerçekleştirilen analizler yardımıyla en uygun yatay şönt eleman boyutunun ve konumunun belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla kazanın uzun yan duvarları için 50\*1340\*3mm, kısa yan duvarları için ise 50\*360\*3mm boyutlarında I-biçimli şönt elemanlar tanımlanmıştır. Bu elemanların genişlik ve kalınlık değerleri [9]'da yazarlar tarafından belirlenen yöntem esas alınarak belirlenmiştir. Bu elemanların ikili, üçlü ve dörtlü paketler halinde bir araya getirilerek kullanılması ile kazan kayıpları üzerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi ve en etkin yatay şönt yüksekliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu paketler kazan duvarlarının iç yüzeyinde faz sargılarının üst ve alt kenarlarına karşılık gelen bölgelerine simetrik olarak yerleştirilmek suretiyle analiz edilerek en etkin konumun da belirlenmesi öngörülmüştür.



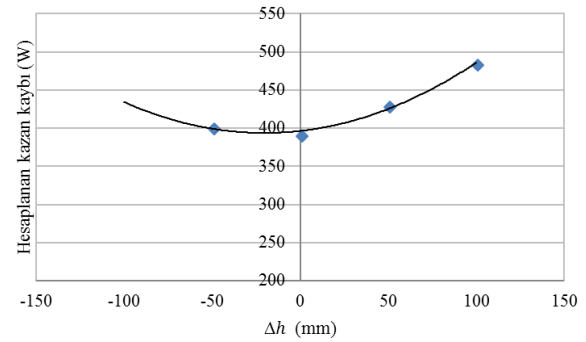
**Şekil 3.** Transformatör modelinin (a) Üstten, (b) Önden, (c) Yandan görünümü (a) Top, (b) Front, (c) Rear view of the transformer model)

Kazan duvarlarının iç yüzeyinde bu elemanların yerleştirilmesi için öngörülen yüzeyin sınırlarının belirlenmesinde de [9]'da açıklanan yöntem esas alınmıştır. Şekil 3'te örnek olarak yukarıda boyutları verilen I-biçimli şönt elemanların üçlü paketler halinde kazan duvarlarının iç yüzeyinde sargıların üst ve alt kenarlarına karşılık gelen kısımlara yerleştirilmesi durumu gösterilmektedir. Burada  $\Delta h$  değeri şönt paket yüksekliğinin orta noktası ile faz sargısının bitimi arasındaki uzaklığı tanımlamaktadır. Şekilde kazan duvarları gösterilmemektedir.

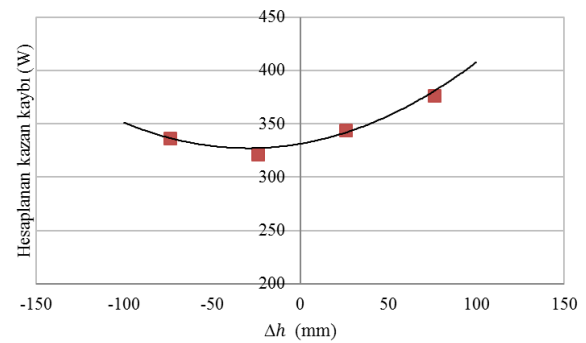
Şekil 4-6'da, I-biçimli şönt elemanların sırasıyla ikili, üçlü ve dördü paketler halinde kullanılması durumları için  $\Delta h$  değerine bağlı olarak kazan duvarlarında meydana gelen kayıpların değişimi gösterilmektedir.

Buna göre, her üç şönt kombinasyonu için kazan kayıplarında görülen minimum değerlerin  $-50\text{mm} < \Delta h < 0$  aralığında elde edildiği görülmektedir. Bu aralıkta kazan kayıplarının en küçük değerleri; ikili şönt paketler kullanılması durumunda  $\Delta h=0\text{mm}$  için  $391.34\text{W}$ , üçlü şönt paketler kullanılması durumunda  $\Delta h=-25\text{mm}$  için  $323.17\text{W}$ , dördü şönt paketler kullanılması durumunda ise  $\Delta h=-50\text{mm}$  için  $285.47\text{W}$  olarak hesaplanmıştır.

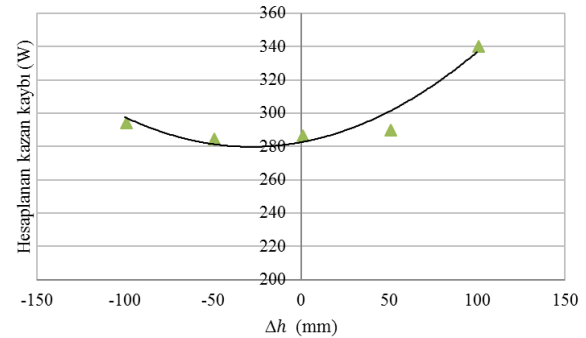
$\Delta h$ 'in pozitif değer alması durumu Şekil 3(b-c) için şönt paketlerin y ekseninde sargı merkezinden uzaklaşmasını,  $\Delta h$  değerinin negatif değer alması durumu ise şönt paketlerin y ekseninde sargı merkezine yaklaşmasını tanımlamaktadır. Şönt paketlerin ikili, üçlü ve dördü olarak kullanılmasından bağımsız olarak her iki durumda da kazan kayıplarının değerinin artış gösterdiği görülmektedir.



**Şekil 4.** İkili yatay şönt paketlerin konumuna bağlı olarak kazan kayıpları (Tank losses vs. location of double I-shaped horizontal shunts)



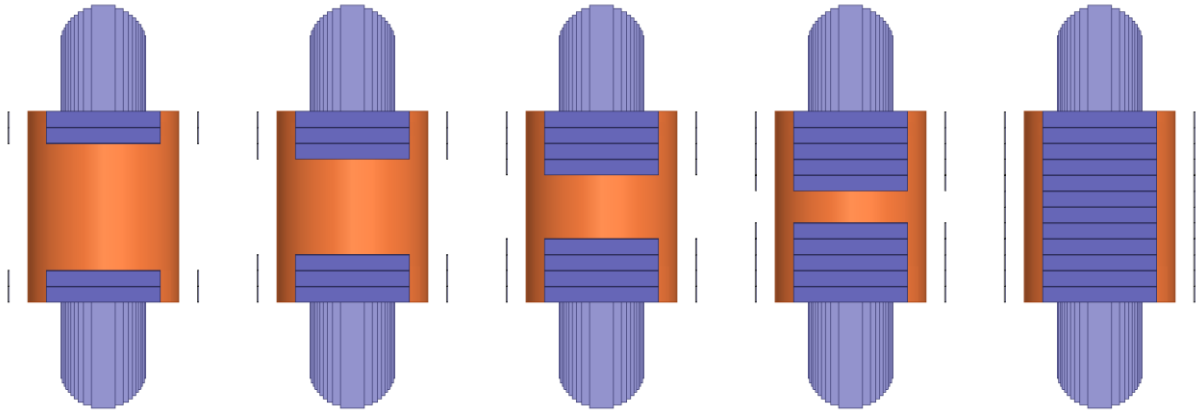
**Şekil 5.** Üçlü yatay şönt paketlerin konumuna bağlı olarak kazan kayıpları (Tank losses vs. location of triple I-shaped horizontal shunts)



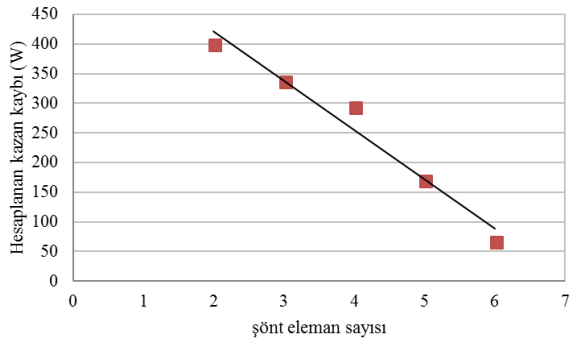
**Şekil 6.** Dördü yatay şönt paketlerin konumuna bağlı olarak kazan kayıpları (Tank losses vs. location of quadruple I-shaped horizontal shunts)

Şekil 4-6'da sonuçları verilen analizler için kazan duvarları üzerinde gözlenen akı dağılımları incelendiğinde, meydana gelen güç kayıplarının yoğunlukla kazan duvarlarının sargılara karşılık gelen yüzey alanı içerisinde meydana geldiği görülmektedir. Bu sebeple, sargılara karşılık gelen alana yerleştirilen yatay şönt paketlerin miktarına bağlı olarak kazan kayıplarının değişimi de Şekil 7'de gösterilen benzetimler ile incelenmiştir.





**Şekil 7.** Sargıya karşılık gelen tank yüzeyine yatay şönt elemanların yerleştirilmesi (Placement of horizontal shunts on tank walls corresponding to the phase windings)

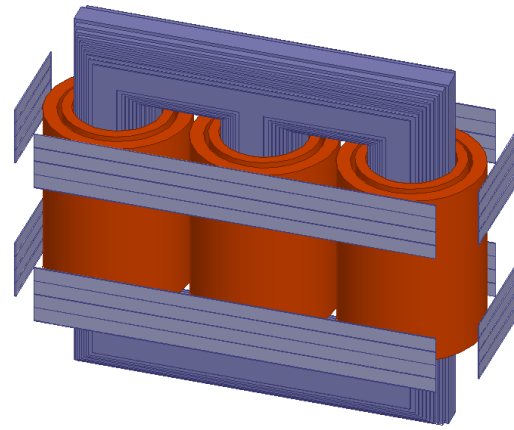


**Şekil 8.** Yatay şönt eleman sayısına bağlı olarak kazan kayıplarının değişimi (Tank losses vs. number of horizontal I-shaped shunt elements)

Bu benzetim çalışmaları sonucunda kazan duvarlarında meydana gelen kayıpların değişimi her bir şönt paketindeki I-biçimli eleman sayısına bağlı olarak Şekil 8'de verilmektedir. Buna göre, kayıp değerlerinin şönt paketin toplam yüksekliğinin artışıyla ters orantılı olarak hızla azaldığı görülmektedir.

Kazan duvarlarının sargılara karşılık gelen yüzey alanının tamamıyla şönt elemanlar ile kaplanması durumunda kazan kayıplarının yaklaşık %95 oranında azaldığı hesaplanmaktadır. Bununla birlikte bu durum, önceki bölümlerde de bahsedilen kazan duvarlarının soğutma kapasitesini önemli ölçüde etkileyecektir. Bu sebeple Şekil 4-6'da farklı şönt yapıları için verilen analiz sonuçları göz önünde tutulduğunda kazan duvarı üzerinde faz sargılarının üst ve alt kenarlarına yakın olarak yerleştirilen ve aralarında yeterli boşluk bırakılan şönt yapıların arasında  $\Delta h = -25\text{mm}$  konumuna yerleştirilen ve her birinde dört adet I-biçimli şönt eleman kullanılan paket yapısının en efektif sonuç verdiği değerlendirilmektedir.

Şekil 9'da bu durum için transformatörün üç boyutlu modeli gösterilmektedir.

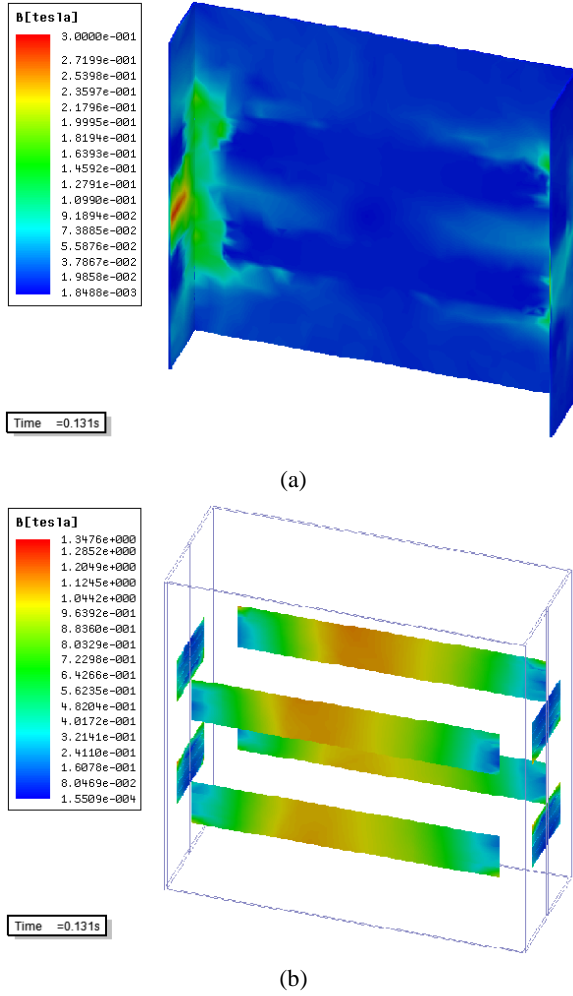


**Şekil 9.**  $\Delta h = -25\text{mm}$  için dörtlü yatay şönt paketlerin yerleşimi (placement of quadruple horizontal shunt packages for  $\Delta h = -25\text{mm}$ )

Şekil 10(a)'da transformatörün kazan duvarları üzerinde meydana gelen akı dağılımı gösterilmektedir.

Şekil 2'de görülen akı dağılımı ile karşılaştırıldığında, kullanılan yatay şönt paketlerin kazan duvarları üzerinde faz sargılarına karşılık gelen yüzeylerdeki akı dağılımlarını önemli ölçüde engellediği görülmektedir. Şönt elemanların mevcut olmadığı yüzeylerde meydana gelen kayıp güç değeri ise 285.47W olarak hesaplanmaktadır. Bu durum, seçilen şönt eleman boyutlarının ve konumunun kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıplarının %80.45 oranında azaltılmasını sağladığını ortaya koymaktadır.

Benzetim çalışmalarında şönt elemanların tasarlandığı malzeme nüve üretiminde de kullanılan H0-DR tip nüve malzemesi olarak tanımlanmış olup bu elemanların öngörülen toplam ağırlığı yaklaşık 31.2kg olarak hesaplanmaktadır.



**Şekil 10.**  $\Delta h=-25\text{mm}$  için dörtlü yatay şönt paketler kullanılması durumunda, (a) kazan duvarları (b) şönt elemanlar üzerindeki akı dağılımları (Flux distribution of (a) tank walls, (b) quadruple shunt packages, for  $\Delta h=-25\text{mm}$ )

Şekil 10(b)'de ise yatay şönt paketler üzerinde meydana gelen akı yoğunluğu gösterilmektedir. Analiz sonuçları bu elemanlar üzerinde en yüksek akı yoğunluğu değerinin 1.1T civarında olduğunu göstermektedir. Bu malzemenin doyma indüksiyonu 1.7T düzeyinde olup, 1.1T indüksiyon değerine karşılık olarak için öngörülen 0.3W/kg kayıp değeri [14] şönt elemanlar üzerinde ortaya çıkan kayıpların göz ardı edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, transformatörlerin kazan duvarlarında meydana gelen eddy kayıplarının azaltılması amacıyla yatay şönt uygulaması için en uygun şönt paket boyutları ve konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle prototip bir düşük kayıplı dağıtım transformatörünün kazan duvarlarında meydana gelen eddy kayıpları benzetim çalışmaları ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel ölçümler ile doğrulanmıştır.

**Çizelge 2.** Yatay şönt paketlerin kazan kayıplarına olan etkisi (Effects of the horizontal shunts on tank walls)

	Kazan kaybı (W)	Şönt elemanlarda oluşan kayıplar (W)	Toplam kazan kaybı (W)
Şönt eleman kullanılmaması durumu	1460.2	-	1460.2
Yatay şönt eleman kullanılması durumu	285.47	7.61	293.08

Ardından farklı boyutlar ve konumlardaki yatay şönt paketleri için parametrik olarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilerek kazan duvarlarında meydana gelen güç kayıplarına olan etkileri incelenmiştir.

Kullanılacak yatay şönt paketin yüksekliğinin belirlenmesi faz sargılarının yüksekliğine ve kazan duvarlarının soğutma kapasitesine olan etkisine bağlı olarak değerlendirilmektedir. Kazan duvarının iç yüzeyinde sargıların üst ve alt kenarlarına karşılık gelen yüzeylere yerleştirilecek olan yatay şönt paket yüksekliğinin artması ile kayıpların giderek daha fazla oranda azaltılabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte analiz sonuçları, kullanılacak yatay şönt paket yüksekliğinin sargı yüksekliğinin ortalama olarak %30' u kadar seçilmesinin kazan kayıplarının tatminkar düzeyde azaltılabilmesi için yeterli olduğunu göstermektedir.

Yatay şönt paket yüksekliğinin ise ortalama olarak %75' lik kısmının kazan duvarının sargıya karşılık gelen yüzeye yerleştirilmesinin yeterli olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda sargıda meydana gelen kaçak akının büyük kısmının kazan duvarlarına sirayet etmesi şönt paketler tarafından engellenmektedir.

Bununla birlikte, literatürde yer alan çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde uygulamada yaygın şekilde kullanılmakta olan dikey şönt uygulamasının yatay şönt kullanımına kıyasla kazan kayıplarının azaltılmasında daha etkin sonuçlar ortaya koyduğu sonucuna varılmaktadır.

## 5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 7160183 no' lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Prototip transformatörün imalatında ve deneysel çalışmalarda Sönmez Transformatör San. ve Tic. A.Ş. tarafından sağlanan imkanlar kullanılmıştır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Valkovic Z., "Some aspects of stray losses in large power transformers", *Applied Electromagnetics*, 36(25): 238-243, (2002).

- [2] Mokkapaty S.P.K., Weiss J., Schramm A., Magdaleno-Adame S., Schwarz H. and Olivares-Galvan J.C., "3D finite element analysis of magnetic shunts and aluminum shields in clamping frames of distribution transformers", *IEEE Int. Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*, Ixtapa-Mexico, 1-6, (2015).
- [3] Olivares Galvan J., Campero Littlewood E., Hernandez J., Escarela Perez R., and Adame S., "Evaluation of stray losses in throats of distribution transformers using finite element simulation", *Andean Region Int. Conf.*, Ecuador, 7-10, (2012).
- [4] Çınar M.A., Alboyacı B., Çürükova S., Sönmez O. ve Yapıcı R., "Reduction of eddy current losses around bushing holes on the top-plate of a high efficient transformer", *Sakarya Univ. Journal of Science*, 21(4): 691-697, (2017).
- [5] Kulkarni S., Olivares J., Escarela Perez R., Lakhiani V. and Turowski J., "Evaluation of eddy current losses in the cover plates of distribution transformers", *IEE Proc-Science Meas. and Tech.*, 151(1): 313-318, (2004).
- [6] Kirar M., "Study of stray losses reduction through finite element method", *IEEE India Conf.*, India, 1-4, (2013).
- [7] Olivares J.C., Canedo J., Moreno P., Driesen J., Escarela R. and Palanivasagam S., "Experimental study to reduce the distribution transformers stray losses using electromagnetic shields", *Electric Power Systems Research*, 63(1): 1-7, (2002).
- [8] Milagre A.M., Ferreira da Luz M.V., Cangane G.M., Komar A. and Avelino P.A., "3D calculation and modelling of eddy current losses in a large power transformer", *Int. Conf. on Electrical Machines*, Japan, 2282-2286, (2012).
- [9] Çınar M.A., Alboyacı B., Çürükova S., Sönmez O. ve Yapıcı R., "Calculation of optimum dimensions of magnetic shunt elements to reduce stray losses on transformer tank walls", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4): 1337-1346, (2017).
- [10] Djurovic N. and Monon J.E., "3-dimensional computation of the effect of the horizontal magnetic shunt on transformer leakage fields", *IEEE Trans on Magnetics*, 13(5): 1137-1139, (1977).
- [11] Djurovic N. and Monson J.E., "Stray losses in the step of a transformer yoke with a horizontal magnetic shunt", *IEEE Trans on Power Apparatus and Systems*, 101(8): 2995-3000, (1982).
- [12] Li L., Fu W.N., Ho S.L., Niu S. and Li Y., "Numerical analysis and optimization of lobe-type magnetic shielding in a 334 MVA single-phase auto-transformer", *IEEE Trans on Magnetics*, 50(11): 1-4, (2014).
- [13] Moghaddami M., Sarwat A.I. and deLeon F., "Reduction of stray loss in power transformers using horizontal magnetic wall shunts", *IEEE Trans on Magnetics*, 53(2): 1-7, (2017).
- [14] TRAN-COR H Grain Orients Electrical Steels, AK Steel, (2013).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Yapay sinir ağları ile kablosuz yerel alan ağlarında veri trafiği optimizasyonu

## *Data traffic optimization in wireless local area networks with artificial neural networks*

Yazar(lar) (Author(s)): Cemal KOÇAK<sup>1</sup>, Hacı Bayram KARAKURT<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-8902-0934

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-1591-4502

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Koçak C., Karakurt H. B. “Yapay sinir ağları ile kablosuz yerel alan ağlarında veri trafiği optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 737-747, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.443219

# Yapay Sinir Ağları ile Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Veri Trafik Optimizasyonu

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Cemal KOÇAK<sup>1\*</sup>, Hacı Bayram KARAKURT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, 06500, Beşevler, ANKARA

<sup>2</sup>HAVELSAN, Hava Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çankaya/Ankara

(Geliş/Received : 12.07.2018 ; Kabul/Accepted :09.08.2018)

## ÖZ

Gelişen teknoloji ile birlikte kablosuz yerel alan ağlarında (Wireless Local Area Network-WLAN) hizmet kalitesi (Quality of Service-QoS) istekleri de artmaktadır. Yapılan birçok çalışmada WLAN'larda hizmet kalitesini artırmak için çeşitli metotlar ve farklı algoritmalar kullanılmıştır. WLAN'larda ortama erişim kontrol (Medium Access Control- MAC) katmanında hizmet kalitesini etkileyen Request to Send Threshold (RTS Eşik Değeri-RTSED), Fragmentation Threshold (Parçalama Eşik Değeri-PED) ve Buffer Size (Arabellek Boyutu-AB) hizmet kalitesini direkt etkilemektedir. WLAN'larda hizmet kalitesini artırmak için kullanılan kanal kullanım durumu, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiği ağıdaki performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu çalışmada WLAN'larda Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları-YSA) kullanılarak RTSED, PED ve AB parametreleri optimize edilip, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiğinin ideal değerleri elde edilmiştir. Riverbed Modeller benzetim aracı kullanılarak 11 düğümlü ve 27 farklı giriş değerleri seçilerek kanal kullanım durumu elde edilmiştir. Alınan veri trafiği ile gönderilen veri trafiği sonuç değerleri YSA Modellemesi ile WLAN'larda performans tahminini sağlanmıştır. 1000 epoch eğitim sonucu ortalama karesel hata değerinin  $10^{-6}$ 'dan daha az olduğu, ayrıca test ve tahmin yeteneklerinin  $10^{-6}$ 'dan büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu değere göre, geliştirilmiş YSA modelinin ezberlemediğini, girdi ve çıktı verileri arasında bir ilişki kurabileceği anlaşılmıştır. Böylece geliştirilen model sayesinde elde edilen bu sonuçlarla en iyi öğrenme değerlerinin elde edildiği kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz yerel alan ağları, yapay sinir ağları, alınan veri trafiği, gönderilen veri trafiği.

## Data Traffic Optimization in Wireless Local Area Networks with Artificial Neural Networks

### ABSTRACT

In recent years, quality of service (QoS) has been rapidly increasing in wireless local area networks (WLANs) with the increasing technology. In many studies, various methods and different algorithms are used to improve the quality of service in WLANs. RTS Threshold Value (RTSTV), Fragmentation Threshold Value (FTV) and Buffer Size (BS) are affect service quality directly at MAC (Medium Access Control) layer in WLAN. Channel utilization, data traffic received and data traffic sent parameters are important improve quality of service in WLANs. In this study, RTSED, PED and AB parameters were optimized by using Artificial Neural Networks (ANN) in WLAN and ideal values of received data traffic and received data traffic were obtained. Using the Riverbed Modeller simulation tool, 11 nodes and 27 different input values were selected to obtain channel utilization status. With the ANN Modeling of the results of the data traffic sent and data traffic received provides the estimation of the performance in the WLAN. It is observed that the average squared error value of 1000 epoch training result is less than  $10^{-6}$ , and that the test and estimation abilities are larger than  $10^{-6}$ . According to this value, it means that the improved YSA model can not memorize, it can establish a relation between input and output data. Thus, it is proved that the best learning values are obtained with these results obtained by the developed model.

**Keywords:** Wireless local area network, artificial neural networks, data traffic received, data traffic sent

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

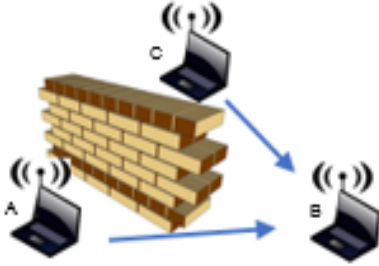
Kablosuz yerel alan ağları (Wireless Local Area Network-WLAN) kampüs, hastane veya ofis gibi ortamlarda elektromanyetik dalgaların fiziksel bağlantı olmadan bir noktadan bir noktaya bir frekans kanalında iletilmesini sağlayan kablosuz ağ teknolojisidir. Son yıllarda özellikle kullanımı artan ses ve video konferans uygulamaları nedeniyle WLAN'larda performansın mümkün olan en iyi seviyeye gelmesi gerekliliğini ortaya

çıkartmıştır [1-2]. WLAN'larda hizmet kalitesi desteği, uygulamalardaki performanslar için anahtar rol ve öneme sahiptir. Hizmet kalitesini desteklemek için genellikle kullanılan IEEE 802.11e'nin MAC protokolünde DCF (Distributed Coordination Function-DCF) kontrol performans kriterleri arasında alınan veri trafiği, gönderilen veri trafiği, alıcı kanal kullanımı ve gönderici kanal kullanımı öne çıkmaktadır. Bu performans kriterlerini RTSED, PED ve AB direkt olarak etkilemektedir [3-4].

RTSED, WLAN'larda CSMA/CA (Carrier-sense Multiple Access with Collision Avoidance) protokolü

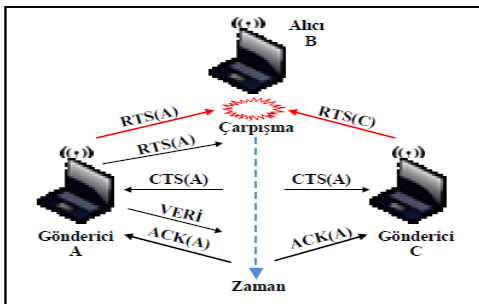
\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : \* cckocak@gazi.edu.tr

tarafından aktif kullanılan eşik değeridir. CSMA/CA protokolünde hedef düğümde gönderime uygun (Clear to Send-CTS) sanal sinyali gelmesi ile birlikte verilerin iletimi başlamaktadır. Bu sanal paket sinyalleri gönderim isteği (Request to Send-RST) değerinden büyük veri gelmesi halinde enerji kaybının daha büyük maliyet ortaya çıkarması nedeniyle aktif olmamaktadır. RSTED gizli düğüm probleminde de önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Birden fazla düğüm aynı düğüme ver gönderirken alıcı düğümde paketlerin çarpışmasına neden olmaktadır. Şekil 1’de görüldüğü üzere iki hedef düğümde (a ve c) alıcı düğüme (b) veriler gönderilirken a ve c birbirine göremezler. Bu nedenle hedef düğüme aynı anda veri gönderilirken a ve c birbirleri ile haberleşemediği için paketlerde çarpışma meydana gelmektedir. RST eşik değerinin ideal seçilmesi, ağdaki gecikmeler için de önemlidir. CSMA/CA’nın aktif edilmesi ağdaki alınan ve gönderilen veri trafiği için önemli olduğundan RSTED ağdaki bütün performanslar dikkate alınarak en uygun düzeyde seçilmelidir [5].



Şekil 1. Gizli düğüm problemi (Hidden node problem)

RTS/CTS mekanizmasının aktif olabilmesi için RSTED değeri ideal olarak seçildiğinde, düğümler tarafından aynı anda gönderilen çerçevelerin çarpışmasını önleyecek alınan veri trafiğini ve gönderilen veri trafiğini artıracaktır [Şekil 2] [5].



Şekil 2. RTS/CTS mekanizmasında çarpışma (Collision in RTS/CTS mechanism)

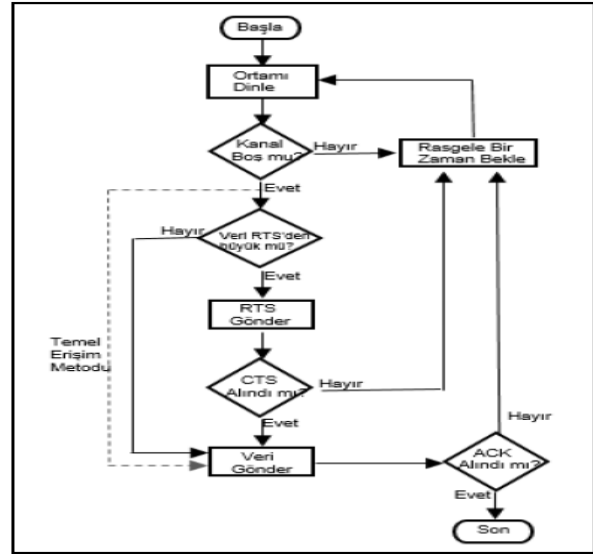
Kablosuz yerel alan ağlarında DCF kontrol fonksiyonunda CSMA/CA protokolünde hedef düğümde CTS sinyali gelmesi ile birlikte verilerin iletimi başlamaktadır. Kanal kullanımını artırmak için büyük veriler hedef düğüme iletilirken parçalara (fragments) ayrılarak iletilmektedir. Bu parçaların bölünebileceği eşik değer PED (fragmentation threshold)

olarak adlandırılmakta ve bayt cinsinden ifade edilmektedir [6].

Bit cinsinden ifade edilen AB'nin büyük olması daha fazla hafızaya ihtiyaç duyurmaktadır. Arabelleğin düşük olması durumunda ise ağda arabellek sıkışıklığına ve dolayısıyla kanal tıkanıklığına sebep olmaktadır. Bu nedenle en az maliyetli (düşük hafıza) ve en az paket kaybı için en ideal AB seçilmelidir [7].

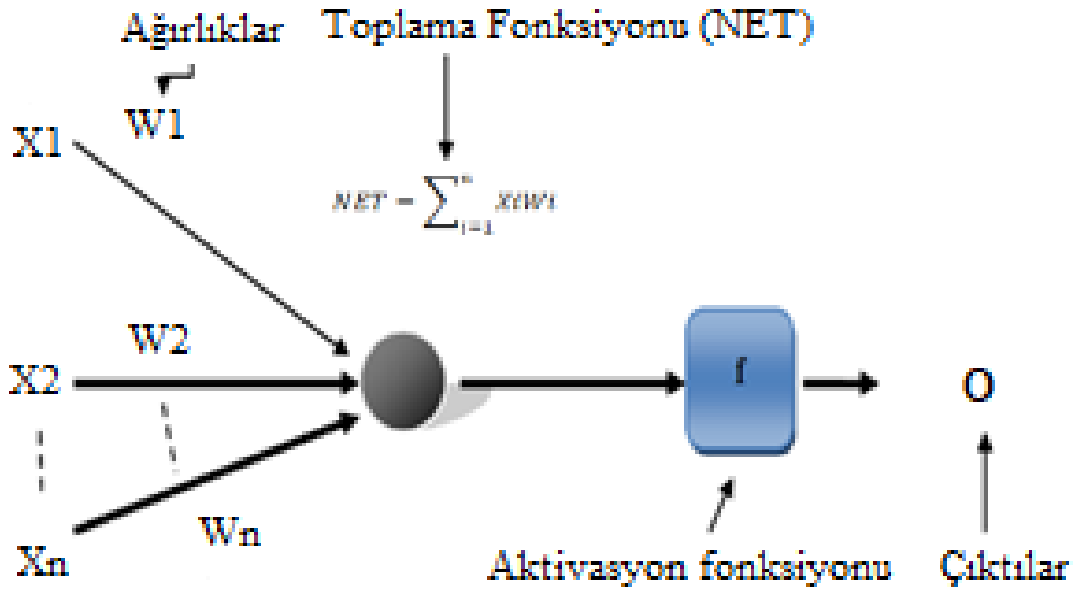
Veri trafiği genel olarak banttaki veri transferi olarak tanımlanır. Banttan geçen verilerin oluşturmuş olduğu trafik hedef düğümlere gidiyorsa gönderilen veri trafiği, hedef düğümde geliyorsa alınan veri trafiği olarak adlandırılmaktadır. Alınan ve gönderilen veri trafiği ne kadar yüksek olursa performansta o kadar pozitiftir. Veri trafiği, veri akışı veya veri aktarımı olarak da adlandırılmaktadır. Alınan ve gönderilen veri trafikleri WLAN'larda kanal kullanım oranını ile paket kayıpları ve paket iletim hızını etkilediğinden performans için önemli parametrelerdir [8].

Bütün bu parametreler birlikte ele alındığında alınan ve gönderilen veri trafiğini ideal değerlere getirmek için kanalın bekleme süresi, RSTED'nin değeri, arabellek boyutu ve PED değerleri dikkate alınmalıdır. Şekil 3’de görüldüğü gibi temel RST/CTS erişim metodunun aktif olabilmesi için gelen verinin RSTED değerinden büyük olması gerekmektedir [9].



Şekil 3. Temel ve RTS/CTS erişim metodları (Basic and RST/CTS access methods)

YSA, insan beynindeki öğrenme yöntemini taklit ederek elde ettiği öğrenme yöntemleri ile yeni bilgiler türetebilmek üzere geliştirilen mantıksal yazılımlardır. İlk yapay sinir ağları da sinir aktivitesinde düşüncelere ait mantıksal hesaplama ile ortaya çıkartılmıştır. Temel YSA hücrelerinde girişler ( $X_n$ ), ağırlıklar ( $W_n$ ), toplama fonksiyonu (NET), aktivasyon fonksiyonu eşik değeri (b), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıkış değeri (O) Şekil 4’de görüldüğü gibidir [10-11].



Şekil 4. YSA temel yapısı (Basic ANN structure) [10]

YSA ile birçok problem çözümü gerçekleştirilebilir. Örneğin parça işleme sırasında kesici takımın en aza indirgemek için yapılan bir çalışmada 4 giriş (kesme hızları, ilerleme oranları, kesici takım tipi ve zamanı) ve 3 çıkış (x, y ve z titreşim değerleri) ile YSA algoritması geliştirilmiştir. Bu bağlamda, yüksek güvenilirli YSA yapısı ile en iyi model tespit edilmiştir [12].

Yapılan başka bir çalışmada kablosuz ağlarda Access Point (AP) koordinatları için YSA kullanılmış ve sinyal gücü alımı en ideal değere getirilmiştir. Yapılan bu çalışmada giriş olarak AP sayısı, frekans bandı, alıcı eşik değeri gibi farklı giriş parametreleri kullanılmıştır. Çıkış parametreleri olarak sinyal boyutları kullanılmıştır [13].

Yapılan bu çalışmada, WLAN'larda 802.11e CSMA/CA protokolünde verilerin iletilmesindeki kalan kullanımının maximum olması, alınan veri trafiğinin ve gönderilen veri trafiğinin yüksek ve ideal değerlerde olması için uygun RSTED, PED ve AB parametreleri hesaplamalarında YSA tabanlı yeni bir yöntem kullanılmıştır. Kullanılan YSA yöntemiyle WLAN'larda ideal alınan ve gönderilen veri trafiği için en uygun parametreler önerilerek performans geliştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada, kablosuz yerel alan ağlarında CSMA modelinde veri iletimi esnasında RSTED, PED ve AB parametrelerinin, alınan ve gönderilen veri trafiğine etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla test çalışmaları Riverbed Modeler (OPNET Modeller) benzetim aracı kullanılarak 11 adet düğüm kullanılmıştır. Şekil 5'te düğümlerin yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 5. Hedef düğümlerin yerleşimi (Locations of target nodes)

Düğüm yerleşiminde her bir düğüm için hedef düğüm simetrik düğüm seçilmiştir ve düğüm 4 ve düğüm 7 arasındaki veri akışı analiz edilmiştir [Çizelge 1].

**Çizelge 1.** Alınan ve gönderilen ortalama veri trafiği için hedef düğümler (Destination nodes for average received and sent data traffic)

HEDEF DÜĞÜMLER		
node 1	<----->	node 10
node 2	<----->	node 9
node 3	<----->	node 8
node 4	<----->	node 7
node 5	<----->	node 6

Yapılan test sonuçları incelendiğinde kanal kullanım durumu RSTED, PED ve AB'ye bağlı olarak alıcı için %5,83 ile %19,6 arasında, verici için ise %0,58 ile %2,08 arasında değişmektedir. Alınan veri trafiği ise 453.001 bit/saniye ile 1.080.477 bit/saniye arasında değişmektedir. Gönderilen veri trafiği ise 44.665 bit/saniye ile 117.564 bit/saniye arasında değişmektedir. Giriş parametrelerinde RSTED ve PED değerleri sırası ile 600 bayt, 900 bayt ve 1200 bayt seçilirken, AB ise 9000 bit, 12000 bit ve 15000 bit seçilmiştir [Çizelge 2].

çözerek ağdaki gecikmeleri önlemektedir. Bu yöntemde kanal belli bir süre DIFS (Distribution Inter Frame Space) beklemektedir. Daha sonra verilerin iletimi için hedef düğüme RTS sinyali gönderilmektedir. Burada hedef düğümden veri aktarımı uygunluğu için SIFS (Short Inter-Frame Space) süresi kadar beklemektedir. Daha sonra hedef düğümden CTS mesajı geldikten sonra verilerin iletimi sağlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılması için gelen verinin belirlenen RSTED değerinden büyük olması gerekmektedir. Saklı düğüm

**Çizelge 2.** 27 farklı giriş değerleri test sonuçları (27 different input values test results)

Test No	RTSED (bayt)	PED (bayt)	AB (Bit)	Kanal Kullanım Durumu (Alıcı %)	Kanal Kullanım Durumu (Verici %)	Alınan Veri Trafiği	Gönderilen Veri Trafiği
1	600	600	9000	10,75	1,25	547.725	64.826
2	600	600	12000	19,6	2,08	1.041.157	110.998
3	600	600	15000	19,45	1,94	1.029.788	100.998
4	600	900	9000	9,68	1,02	503.070	50.902
5	600	900	12000	17,25	1,86	922.228	102.865
6	600	900	15000	17,09	1,69	930.434	89.055
7	600	1200	9000	8,88	0,95	464.714	51.496
8	600	1200	12000	16,05	1,59	882.342	84.935
9	600	1200	15000	16,94	1,76	922.743	102.256
10	900	600	9000	9,44	0,96	564.168	57.200
11	900	600	12000	18,52	2,03	1.079.527	117.564
12	900	600	15000	18,26	1,97	1.050.169	114.878
13	900	900	9000	8,2	0,87	508.493	54.458
14	900	900	12000	15,68	1,74	930.463	107.933
15	900	900	15000	15,13	1,72	942.382	102.021
16	900	1200	9000	7,02	0,74	453.001	47.517
17	900	1200	12000	14,08	1,64	869.619	100.447
18	900	1200	15000	15	1,61	931.431	97.473
19	1200	600	9000	8,04	0,92	568.112	65.527
20	1200	600	12000	16,59	1,67	1.065.258	95.066
21	1200	600	15000	17,04	1,76	1.080.477	110.960
22	1200	900	9000	6,67	0,72	499.593	55.048
23	1200	900	12000	14,5	1,44	976.559	88.436
24	1200	900	15000	14,52	1,56	973.551	99.012
25	1200	1200	9000	5,83	0,58	466.978	44.665
26	1200	1200	12000	13,7	1,43	943.827	89.538
27	1200	1200	15000	13,29	1,44	906.218	99.012

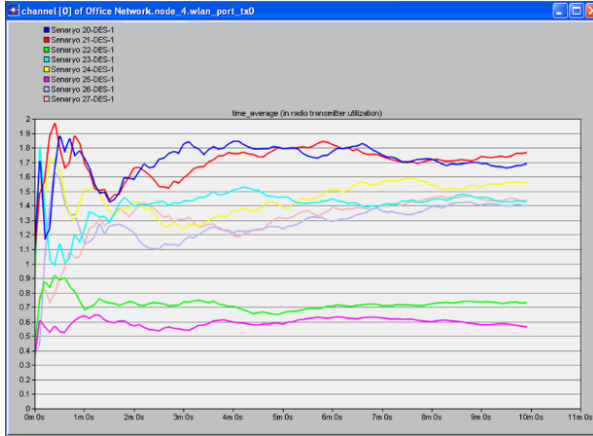
## 2.1 RSTED

Kablosuz yerel alan ağlarında 802.11e modelinde, veri iletimi esnasında verilerin çarpışmalarını ve paket kayıplarının olmaması için CSMA/CA yöntemi kullanılmaktadır. CSMA/CA gizli düğüm problemini

problemlerinde RSTED uygun değerlerde seçilmediğinde sistem boşa (idle) düşmekte ve CSMA/CA aktif edilemediğinden gizli düğüm problemine sebep olmaktadır [14].



Riverbed Modeler benzetim aracı kullanılarak RSTED değerinin ölçülmesi için yapılan test çalışmalarında evrensel kümede 600-900-1200 bayt RSTED değerleri seçilmiştir ve verici içinde kanal kullanım durumu ölçülmüştür [Şekil 6]. RSTED değeri artarken alıcı ve verici kalan kullanım durumu düzenli olarak azalmaktadır. Alınan veri trafiği ise düzenli olarak artmaktadır. Gönderilen veri trafiği 600 bayt 900 bayt arasında azalmakta, 900 bayt ve 1200 bayt arasında ise artmaktadır.



Şekil 6. Örnek verici kanal kullanım durumu performans karşılaştırması (Performance comparison of sample transmitter channel utilization)

## 2.2 PED

Kablosuz ağlarda DCF kontrol fonksiyonlarında CSMA/CA modelinde büyük veri blokları taşınırken veri iletiminde bazı gecikmeler ve paket kayıpları meydana gelmektedir. Bu gecikmelerin ve paket kayıplarının en aza indirgenmesi için verilerin daha küçük parçalara ayrılması gerekmektedir. Bu parçalama işleminin gerçekleşebilmesi için gelen verinin belli bir boyutun üzerinde olması gerekmektedir. Bu parçaların bölünebilmesi için PED'den büyük olması gerekmektedir [15].

CSMA/CA'da PED değeri için evrensel küme belirleme aşamasında genel olarak PED'in 1024 bayta kadar verimli çalışma alanı olduğu görülmektedir [16].

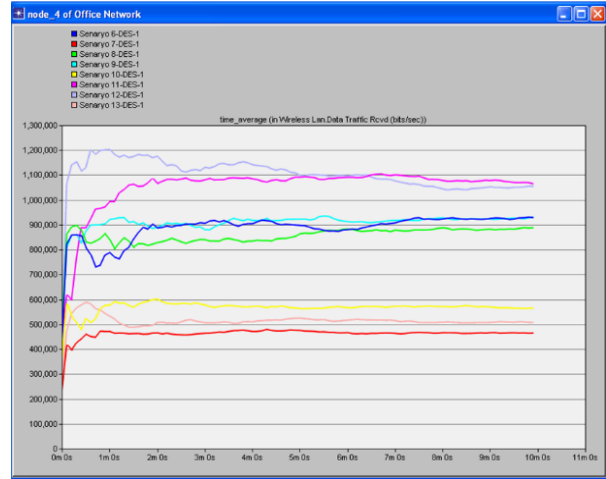
Riverbed Modeler benzetim aracı kullanılarak PED değerinin ölçülmesi için yapılan test çalışmalarında evrensel kümede 600-900-1200 bayt PED değerleri seçilmiştir ve ortalama alınan veri trafiği ölçülmüştür [Şekil 7]. PED değeri artarken alıcı ve verici kalan kullanım durumu düzenli olarak azalmaktadır. Alınan veri trafiği ise düzenli olarak artmaktadır. Gönderilen veri trafiği 600 bayt 900 bayt arasında azalmakta, 900 bayt ve 1200 bayt arasında ise nispeten az olmakla beraber artmaktadır.

## 2.3 AB

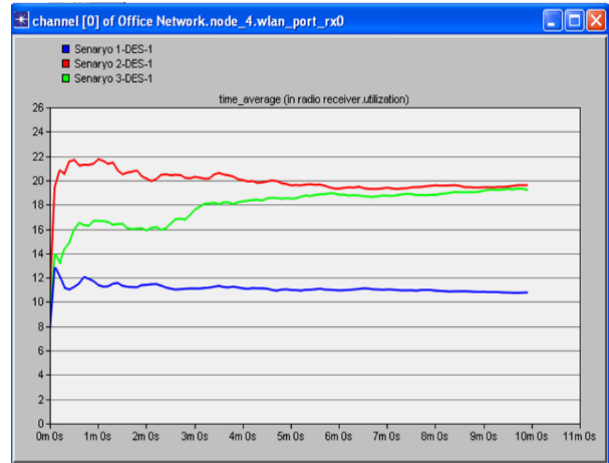
DCF kontrol fonksiyonunda CSMA/CA modelinde bekleme süreleri rastgele belirlendiği için AB boyutunun da dinamik olarak uygun değerlerde seçilmesi gerekmektedir. Sabit arabellek boyutları RSTED ve PED

değerleri dikkate alınmadan yapıldığında ağlarda performans düşüklüğüne sebep olmaktadır [17-18].

Riverbed Modeler benzetim aracı kullanılarak AB değerinin ölçülmesi için yapılan test çalışmalarında evrensel kümede 9000-12000-15000 bit AB değerleri seçilmiştir ve alıcı içinde kanal kullanım durumu ölçülmüştür [Şekil 8]. AB değeri artarken alıcı kanal durumu düzenli olarak artmaktadır. Verici kanal durumu 9000 bit ile 12000 bit arasında artmakta, 12000 bit ile 15000 bit arasında ise azalmaktadır. Alınan ve gönderilen veri trafiği de 9000 bit ile 12000 bit arasında artmakta, 12000 bit ile 15000 bit arasında ise azalmaktadır.



Şekil 7. Örnek alınan veri trafiği performans karşılaştırması (Performance comparison of received sample data traffic)



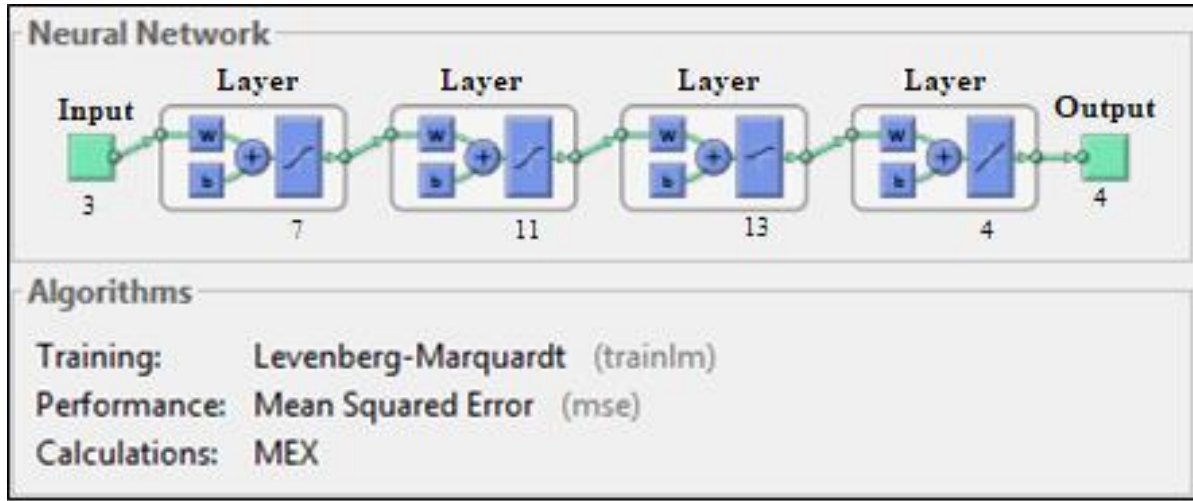
Şekil 8. Örnek alıcı kanal kullanım durumu performans karşılaştırması (Performance comparison of sample receiver channel utilization)

## 3. YAPAY SİNİR AĞI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORK)

YSA, sınıflandırma için önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Uygun ağ yapısına sahip olan sinir ağı, girdi değişkenleri arasındaki korelasyon / bağımlılığı ele alabilir. Güçlü öğrenme ve uyarlanabilir yetenekler nedeniyle, özellikle kablosuz iletişim ve ağ iletişimi uygulamalarında [19-23] YSA tekniği kullanılmıştır.

Bu çalışmada, WLAN'larda RTSED, PED ve AB parametrelerinin belirlenmesi ve yüksek güvenilirlikli bir YSA modeli oluşturularak alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiğinin ideal değerleri elde edilmesi amaçlanmıştır. CSMA/CA modelindeki tıkanıklık ve gizli düğüm probleminin çözümü için RSTED'in, paket kayıplarının ve gecikmenin önlenmesi için PED'in ve maliyet içinde AB'nin ideal seçimi ağ performansı üzerinde etkilidir. Riverbed Modeller (OPNET Modeller) benzetim aracı kullanılarak RTSED, PED ve AB parametre değerlerine göre Alıcı Kanal Kullanım Durumu (%), Verici Kanal Kullanım Durumu (%), Alınan Veri Trafiği ve Gönderilen Veri Trafiği değerleri

Bu çalışmada, istatistiksel hata analizi yöntemleri açısından, çıktılar için Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması tekniği kullanılmıştır. Levenberg – Marquardt yöntemi, çoğu problem için en hızlı eğitim yöntemidir. Ancak, bazen diğer eğitim yöntemleri, çözüme training yönteminden daha hızlı ulaşabilir. Transfer fonksiyonları da çeşitlilik göstermektedir. Bunlar logsig, tansig, purelin, hardlim, tribas, vb. olarak adlandırılabilir [24]. Bu çalışma için kullanılan modelde tansig, logsig ve purelin transfer fonksiyonları kullanılmıştır. YSA sonuçları istatistiksel yöntemlerle test edilmiştir. Bunlar RMSE'nin istatistiksel hataları (Ortalama Karesel Hata),  $R^2$  (Varyansın Mutlak



Şekil 9. Geliştirilen 4 katmanlı algılayıcı YSA mimarisi (ANN model architecture with improved 4 layer MLP.)

belirlenmiş ve işlemler gerçekleştirilmiştir. RTSED, PED ve AB değerlerinin etkileri, işlem parametrelerine göre tanımlanmaya çalışılmıştır. Daha sonra hizmet kalitesini arttırmak için kullanılan kanal kullanım durumu, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiği gibi parametrelerin iyileştirilmesi için YSA kullanarak RTS Eşik Değeri, Parçalama Eşik Değeri ve Arabellek Boyutunun tahmin edilmesi sağlanmıştır.

### 3.1. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) MODELİ (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS MODEL)

YSA'da, her işlem birimi bilgi toplanması ve işlenmesi ve ilgili bileşene sonuçların gönderilmesi ile ilgilidir. YSA yapısının tüm hareketi, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyon ve aktivasyon fonksiyonu açısından incelenebilir. Eğitim ve Test olmak üzere iki aşamada çalışır. Eğitim aşaması, uygun RSTED, PED ve AB değerleri eğitir. Eğitimin asıl amacı, giriş değerlerinin ağırlıklarının ve normal yorumların sözlüğünü oluşturmaktır. Bir sonraki aşama test etmektir.

YSA çalışma sonuçları istatistiksel yöntemle analiz edilmiştir. İlk olarak çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. RTSED, PED ve AB değerlerine göre alınan veri trafiği ile gönderilen veri trafiği sonuç değerleri geliştirilen YSA modeli kullanılarak tahmin edilmiştir.

Frakسیونu) ve MEP (Ortalama Hata Yüzdesi) dir.  $R^2$ , RMSE ve MEP değerleri için kullanılan formüller (1), (2) (3) 'de gösterilmiştir [25].

$$RMSE = \left( \frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (2)$$

$$MEP = \frac{\sum_j \left( \frac{t_j - o_j}{t_j} \right) \times 100}{p} \quad (3)$$

3 girişli ağ modeli (RSTED, PED ve AB) ve 4 çıkış (Alıcı Kanal Kullanım Durumu (%), Verici Kanal Kullanım Durumu (%), Alınan Veri Trafiği ve Gönderilen Veri Trafiği) 4 + 11 + 13 + 4 olarak modellenmiştir. Matlab programı tarafından elde edilen YSA modelinin ağ yapısı Şekil 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3'te verilen Çoklu regresyon analizi sonuçlarına göre,  $R^2 = 0,999999999$ , RMS= 3,02E-05 ve MEP%= 0,003845 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.** YSA verilerinin karşılaştırılması ve regresyon analizi.(Comparison of ANN data and regression analysis)

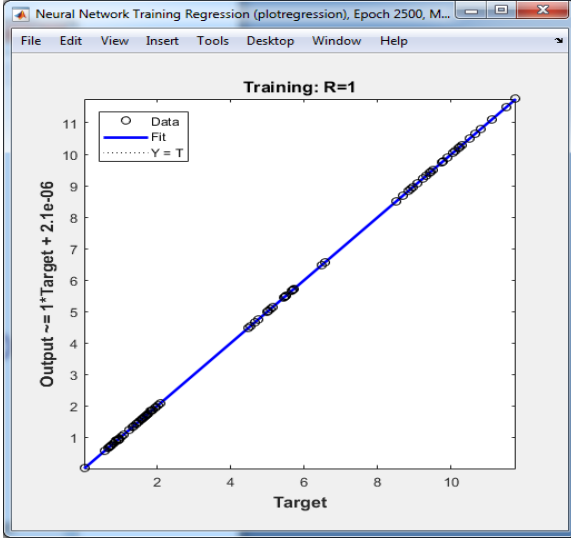
Alıcı Kanal Kullanım Durumu (%)				Verici Kanal Kullanım Durumu (%)			
YSA	Average error	RMS	R <sup>2</sup>	YSA	Average error	RMS	R <sup>2</sup>
	MEP%	0,000221	0,999997		MEP%	0,000222	0,999997
YSA	0,120442	0,000156	54,58946	YSA	0,12026	0,000158	61,2456
1,074827	0,016127	3,01E-08	1,155252	1,250157	0,012526	2,45E-08	1,562891
1,960002	9,31E-05	3,33E-12	3,841607	2,080002	8,67E-05	3,25E-12	4,326407
1,946159	0,059564	1,34E-06	3,787533	1,938196	0,093009	3,26E-06	3,756602
0,963991	0,414164	1,61E-05	0,929278	1,023861	0,378485	1,49E-05	1,04829
1,724815	0,010743	3,43E-08	2,974986	1,860444	0,023876	1,97E-07	3,461252
1,707892	0,064847	1,23E-06	2,916894	1,69159	0,094108	2,53E-06	2,861478
0,890064	0,232411	4,26E-06	0,792214	0,947721	0,239878	5,19E-06	0,898175
1,602972	0,126327	4,11E-06	2,569521	1,592189	0,137703	4,79E-06	2,535067
1,692032	0,116176	3,87E-06	2,862972	1,761875	0,106545	3,52E-06	3,104204
0,946031	0,21518	4,13E-06	0,894975	0,958096	0,19829	3,62E-06	0,917949
1,852676	0,036518	4,57E-07	3,43241	2,029249	0,037004	5,64E-07	4,117851
1,826789	0,04323	6,23E-07	3,337159	1,968987	0,051424	1,03E-06	3,87691
0,819958	0,005158	1,79E-09	0,672331	0,870108	0,012444	1,17E-08	0,757088
1,567492	0,032371	2,58E-07	2,457032	1,741004	0,05772	1,01E-06	3,031096
1,511925	0,071083	1,16E-06	2,285916	1,721662	0,096599	2,76E-06	2,964118
0,702767	0,109194	5,88E-07	0,493881	0,739469	0,071736	2,82E-07	0,546815
1,408779	0,055336	6,07E-07	1,984659	1,638768	0,075149	1,52E-06	2,685559
1,508106	0,540369	6,57E-05	2,274382	1,60217	0,48635	6,13E-05	2,566948
0,806627	0,326748	6,9E-06	0,650647	0,916921	0,334654	9,48E-06	0,840744
1,658929	0,004308	5,11E-09	2,752044	1,669925	0,004492	5,63E-09	2,788649
1,703949	0,002993	2,6E-09	2,903442	1,759916	0,004775	7,06E-09	3,097304
0,6656	0,209833	1,96E-06	0,443024	0,721502	0,208609	2,26E-06	0,520565
1,450271	0,018699	7,35E-08	2,103286	1,439777	0,015498	4,98E-08	2,072957
1,451951	0,003377	2,4E-09	2,108162	1,560192	0,012289	3,68E-08	2,434198
0,582784	0,037061	4,67E-08	0,339637	0,580219	0,037736	4,79E-08	0,336654
1,370131	0,009552	1,71E-08	1,877259	1,429718	0,019747	7,97E-08	2,044092
1,322482	0,490476	4,25E-05	1,748958	1,446282	0,436284	3,95E-05	2,091733

**Çizelge 3.** YSA verilerinin karşılaştırılması ve regresyon analizi.(Comparison of ANN data and regression analysis)  
(DEVAM)

Alınan Veri Trafığı				Gönderilen Veri Trafığı			
	Average error	RMS	R2		Average error	RMS	R2
	MEP%	1,9E-05	1		MEP%	3,02E-05	1
<b>YSA</b>	0,001829	1,15E-06	1830,976	<b>YSA</b>	0,003845	2,92E-06	2114,305
5,477266	0,000289	2,51E-10	30,00044	6,483002	0,006194	1,61E-07	42,02931
0,010412	0,006329	4,34E-13	0,000108	11,1	0,001778	3,9E-08	123,2099
10,29791	0,000267	7,56E-10	106,0469	10,10003	0,002241	5,12E-08	102,0105
5,03088	0,003572	3,23E-08	25,30975	5,090023	0,003471	3,12E-08	25,90834
9,222288	8,76E-05	6,53E-11	85,0506	10,28693	0,004192	1,86E-07	105,821
9,304329	0,000119	1,22E-10	86,57054	8,906003	0,005646	2,53E-07	79,31689
4,647311	0,003682	2,93E-08	21,5975	5,149988	0,007536	1,51E-07	26,52238
8,82345	0,000336	8,76E-10	77,85326	8,493972	0,00556	2,23E-07	72,14756
9,227637	0,002246	4,29E-08	85,14929	10,22596	0,003564	1,33E-07	104,5703
5,641521	0,002811	2,52E-08	31,82676	5,719974	0,000452	6,69E-10	32,7181
10,79521	0,00053	3,27E-09	116,5366	11,75604	0,003086	1,32E-07	138,2044
10,50163	0,000617	4,2E-09	110,2841	11,48803	0,002033	5,46E-08	131,9749
5,08494	0,000205	1,09E-10	25,85662	5,446034	0,0043	5,48E-08	29,65929
9,304661	0,000333	9,61E-10	86,57672	10,7929	0,003748	1,64E-07	116,4866
9,42384	0,00021	3,9E-10	88,80876	10,20193	0,001617	2,72E-08	104,0795
4,529689	0,007076	1,03E-07	20,51809	4,751977	0,005828	7,67E-08	22,58128
8,696149	0,000477	1,72E-09	75,623	10,04511	0,004099	1,7E-07	100,9043
9,313567	0,007979	5,52E-07	86,74253	9,747216	0,000866	7,12E-09	95,00821
5,681064	0,000994	3,19E-09	32,27448	6,553091	0,005963	1,53E-07	42,943
10,65263	0,000504	2,88E-09	113,4786	9,506973	0,003919	1,39E-07	90,38253
10,80481	0,000341	1,36E-09	116,7439	11,09601	0,000134	2,22E-10	123,1215
4,996021	0,00182	8,27E-09	24,96023	5,504967	0,003041	2,8E-08	30,30467
9,765536	0,000555	2,93E-09	95,36569	8,844043	0,005012	1,96E-07	78,2171
9,735482	0,000286	7,76E-10	94,77961	9,900987	0,002152	4,54E-08	98,02954
4,669832	0,001115	2,71E-09	21,80733	4,467008	0,011379	2,58E-07	19,95416
9,438292	0,000236	4,95E-10	89,08136	8,953984	0,002058	3,39E-08	80,17383
9,062757	0,00637	3,33E-07	82,13357	9,900811	0,003933	1,52E-07	98,02605

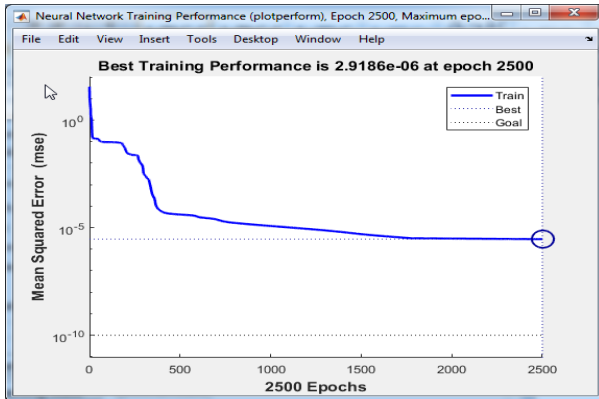
### 3.2. SONUÇLAR VE ANALİZ (RESULTS AND ANALYSIS)

YSA modelinin eğitim sonucu Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'da görüleceği gibi eğitim yüzdesi maksimumdur. Eğitim değerinin 0.999999 (R=1) olması bu eğitim değerinin kabul edilebilir olduğunu ve benzetim sonuçlarından elde edilen değerler ile YSA'dan elde edilen verilerin örtüştüğünü göstermektedir.



Şekil 10. YSA eğitim sonucu (ANN training result)

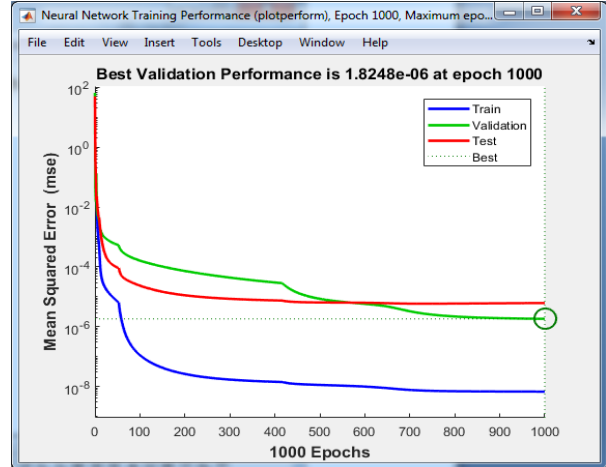
Şekil 11, YSA'nın Eğitim performansını göstermektedir ve YSA modelinin performansı Riverbed Modeller benzetiminden elde edilen gerçek çıkış değerleri ve çıkış değerleri arasındaki sapma ile bağlantılıdır. 2500 epoch eğitim sonucunda ortalama karesel hatanın  $10^{-5}$  değerine kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 11. YSA eğitim performansı (ANN training performance)

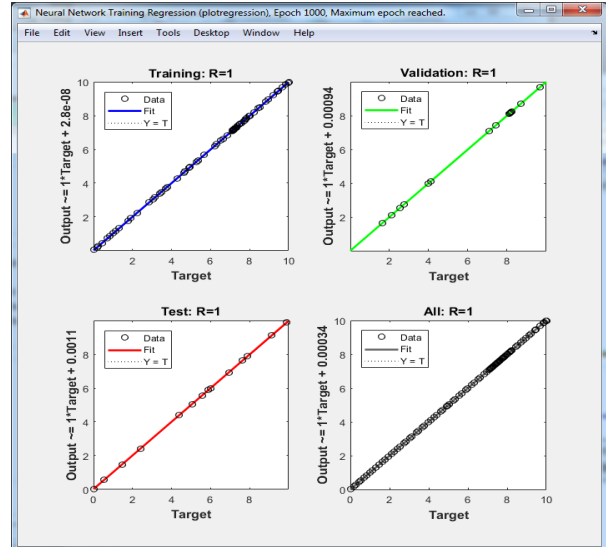
1000 epoch eğitim yapıldıktan sonra YSA modelinin eğitim, onaylama ve test performansının karşılaştırılması ise Şekil 12'de verilmiştir. 1000 epoch eğitim sonucu ortalama karesel hata değerinin  $10^{-6}$ 'dan daha az olduğu, ayrıca test ve tahmin yeteneklerinin  $10^{-6}$ 'dan büyük olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, geliştirilmiş YSA modelinin ezberlemediğini gösterir, aynı zamanda girdi ve çıktı verileri arasında bir ilişki kurabileceği anlamına gelir. Böylece geliştirilen model sayesinde elde edilen bu

sonuçlarla en iyi öğrenme değerlerinin elde edildiği kanıtlanmıştır.



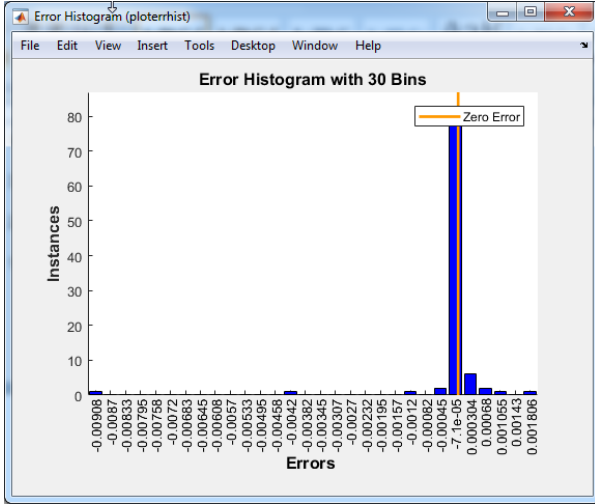
Şekil 12. YSA modelinin eğitim, onaylama ve test performansının karşılaştırılması (Comparison of training, validation and test performance of the ANN model)

YSA modelinin eğitim, test ve onaylama performansı tahminleri Şekil 13'de görülmektedir. YSA modelinin performansı, gerçek çıkış değerleri ve tahmini çıkış değerleri arasındaki sapma ile ilgilidir.



Şekil 13. YSA sonuçları: eğitim, onaylama ve test (ANN results: training, validation and testing)

Şekil 14, YSA'nın hata histogramını (30 Bins) göstermektedir. Grafikten  $-7.1e^{-0.5}$  hata aralığında tahmin yapıldığını anlaşılmaktadır.



Şekil 14. YSA hata histogramı-30 bins (YSA error histogram-30 bins)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kablosuz yerel alan ağlarında hizmet kalitesini artırmak için çeşitli metodlar ve farklı algoritmalar kullanılmaktadır. WLAN'larda CSMA/CA protokolünde gizli düğüm problemini çözmek ve ağdaki gecikmeleri önlemek için RSTED'nin, paket kayıplarını önlemek için PED'in büyük önemi bulunmaktadır. Depolama boyutunda kazanç sağlamak ve gecikmeleri önlemek için ise AB'nin uygun değerlerde belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada RTSED, PED ve AB giriş parametreleri kullanılarak ideal alıcı ve verici kanal kullanım durumu, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiği çıkış değerlerinin tahmin edilmesi için YSA geliştirilmiştir. Test çalışmalarında Riverbed Modeller (OPNET Modeller) benzetim aracı kullanılarak giriş parametrelerine göre çıkışlar elde edilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçları  $RMS= 3,02E-05$ ,  $R^2= 0,999999999$  ve  $MEP\%= 0,003845$  olarak hesaplanmıştır. YSA modelini kullanarak tahmin edilen alıcı ve verici kanal kullanım durumu, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiği çıkış değerleri deneysel olarak elde edilen değerler ile iyi bir uyum içindedir. Burada, hesaplama dayanan YSA, giriş parametrelerine bağlı olarak çıkış değerlerini tahmin etmek için kullanılabilir. Sonuç olarak, YSA modeli ile deneysel bir çalışma gerektirmeyen; alıcı ve verici kanal kullanım durumu, alınan veri trafiği ve gönderilen veri trafiği çıkış değerleri tahmini hem basitlik hem de hızlı hesaplama sağlayabilir. Böylece YSA ile WLAN'larda performansın artırılması sağlanmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Doğançay U. U., "802.11 Standartlarını Kullanarak Pozisyon Tespiti", *Yüksek Lisans Tezi*, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [2] Stallings, W., "Wireless Communications and Networks", 2nd ed., *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, NJ, (2005).
- [3] Singh H., Singh T., Kaur M., "Improving the quality of Service of EDCF over DCF For Real Time Applications Using Probability Algorithm", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 3(4): 6330- 6333, (2014).
- [4] Dalvi A., Svamy P., Meshram B.B., "DCF Improvement for Satisfactory Throughput of 802.11 WLAN", *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3:7, 2862-2868, (2011).
- [5] Borsuk B, Koçak C., "Kablosuz Ağlarda Gizli Düğüm Probleminde IEEE 802.11 MAC Katmanı RTS/CTS Mekanizmasının Çoklu Ortam Uygulamalarında Performansa Etkisi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(2): 187-195, (2016).
- [6] Karakurt H. B., Koçak C., "On wireless network PCF, DCF and EDCF with fragmentation threshold", *XVII. Academic Informatics Conference*, Eskisehir/Turkey, (2015).
- [7] Biçen M., Çalhan A., Yücedağ İ., "Kablosuz Heterojen Algılayıcı Ağlarda Bulanık Mantık Tabanlı Ağ Geçidi Seçimi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4: 655-660, (2016).
- [8] Inderjeet K., Manju B., Harpreet B., "Performance Evaluation of Wlan by Varying PCF, DCF and Enhanced DCF Slots To Improve Quality of Service.", *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*, 2(5): 29-33, (2012).
- [9] Hussein H., Elsayed H.A., "A Predictive Model For Mac Protocol (P-Mac) Of Cognitive Radio Network Using Exponential Smoothing Model.", *MIC-WCMC 2012 MOSHARAKA International Conference*, Palma de Mallorca, Spain, (2012).
- [10] Kaplan Y., Saray U., Emeksiz C., Yeşilnacar Y.O., Önal S., Karaca V., "Yapay Sınır Ağı Geri Yayınım Algoritması kullanılarak Rüzgar Hızı Tahmini.", *IX. Clean Energy Symposium, UTES'13*, (2013).
- [11] Erdem S., "YSA ve GA Temelli Yeni Bir Algoritma İle Doğrusal Olmayan Optimizasyon.", *İşletme Fakültesi Dergisi*, 8(2): 219-231, (2007).
- [12] Ulas H.B., Özkan M.T., Malkoc Y., "Vibration Prediction İn Drilling Processes With HSS And Carbide Drill Bit By Means Of Artificial Neural Networks.", *Neural Computing And Applications*, First Online, (2018).
- [13] Yigit T., Ersoy M., "Testing and Design of Indoor WLAN Using Artificial Intelligence Techniques.", *Elektronika Ir Elektrotehnika*. 20(6): 154-157, (2014).
- [14] Karakurt H.B. "Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Kontrol Fonksiyonları İçin Parçalama Eşik Değeri İle Performans Geliştirme", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2015).
- [15] Isizoh A. N., Anazia A.E., Okide S.O., Okwaraoka C.A.P., "Effects Of Different Fragmentation Thresholds On Data Dropped And Retransmission Attempts In A Wireless Local Area Network", *Onyeyili T.I./ International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(2): 76-79, (2013).
- [16] Zhai H., Kwon Y., Fang Y., "Performance analysis of IEEE 802.11 MAC protocols in wireless LANs", *Wireless Communications And Mobile Computing*, 4: 917-931, (2004).
- [17] Li T., "Improving Performance for CSMA/CA Based Wireless Networks", *Doctoral Thesis*, Hamilton Institute National University of Ireland, Maynooth Maynooth, Co. Kildare, Ireland, (2007).

- [18] Malone D., Clifford P., Leith D.J., “On Buffer Sizing for Voice in 802.11 WLANs”, *IEEE Communications Letters*, 10(10): 701-703, (2006).
- [19] Sun, H., Chen, X., Shi, Q., Hong, M., Fu, X., Sidiropoulos, N. D., “Learning to optimize: Training deep neural networks for wireless resource management.”, *In Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2017 IEEE 18th International Workshop on*, 1-6, (2017).
- [20] C. Jiang, H. Zhang, Y. Ren, Z. Han, K. C. Chen, and L. Hanzo., “Machine learning paradigms for next-generation wireless networks,” *IEEE Wireless Communications*, 24(2): 98–105, (2017).
- [21] Kato, N., Fadlullah, Z. M., Mao, B., Tang, F., Akashi, O., Inoue, T., Mizutani, K., “The deep learning vision for heterogeneous network traffic control: Proposal, challenges, and future perspective.”, *IEEE Wireless Communications*, 24(3): 146-153, (2017).
- [22] S. Bi, R. Zhang, Z. Ding, and S. Cui., “Wireless communications in the era of big data.”, *IEEE Communications Magazine*, 53(10): 190–199, (2015).
- [23] T. J. O’Shea and J. Hoydis., “An introduction to machine learning communications systems,” available online *arXiv:1702.00832*, (2017).
- [24] Özkan, M. T., “Experimental and artificial neural network study of heat formation values of drilling and boring operations on Al 7075 T6 workpiece.”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 20(4): 259-268, (2013).
- [25] M. T. Özkan, H. B. Ulas, M. Bilgin., “Experimental design and artificial neural network model for turning the 50crv4 (sae 6150) alloy using coated carbide/cermet cutting tools”, *Materials and Technology.*, 48(2): 227–236, (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## ZnO ilavesinin magnezyum alüminat spinel'in özelliklerine etkisi

*The effect of ZnO addition on properties of magnesium aluminate spinel*

Yazar(lar) (Author(s)): Nuray CANİKOĞLU

ORCID: 0000-0003-3480-5096

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Canikoğlu N., "ZnO ilavesinin magnezyum alüminat spinel'in özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 749-754, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.439622



# ZnO İlavesinin Magnezyum Alüminat Spinel'in Özelliklerine Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Nuray CANİKOĞLU\*

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya-Türkiye

(Geliş/Received : 02.07.2018 ; Kabul/Accepted : 07.08.2018)

## ÖZ

MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımının katı hal reaksiyonu sonucunda magnezyum alüminat (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) spinel oluşmaktadır. Bu çalışmada spinel sentezi için başlangıç malzemesi olarak manyezit atığı ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmıştır. Bu sayede manyezit fabrikasından çıkan atığın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca başlangıç karışımına ilave edilen ZnO'in magnezyum alüminat spinelin yoğunlaşması üzerine etkileri incelenmiştir. Manyezit atığı, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ağırlıkça %1, 2, 3 ve 4 oranlarında ZnO ilavesiyle hazırlanan karışımlar kuru preslenmiş ve sonrasında farklı sıcaklıklarda (1300-1350-1400-1450 ve 1500°C) 1 saat süre ile sinterlenmişlerdir. Üretilen ürünlerin XRD, SEM-EDS analizleri yapılmış, bulk yoğunluk, görünür gözenek ve mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre magnezyum alüminat üretimi için optimum şartlar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Magnezyum alüminat (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), spinel, ZnO, bulk yoğunluk.

## The Effect of ZnO Addition on Properties of Magnesium Aluminate Spinel

### ABSTRACT

The magnesium aluminate spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) is obtained at the end of solid-state reaction of MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mixture. In this study, magnesite waste and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were used as initial materials for spinel synthesis. In this way, the recycling of waste materials disposed from magnesite factory was aimed. In addition, the effect of ZnO added into beginning mixture on densification of magnesium aluminate spinel was investigated. The initial mixture containing magnesite waste, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 1, 2, 3 and 4 wt. % ZnO addition were dry pressed and the specimens were exposed to sintering process at different temperatures (1300-1350-1400-1450 and 1500°C) for 1 hour. The produced specimens were exposed to XRD, SEM-EDS analysis, bulk density, % apparent porosity and micro-hardness measurements were performed. In the light of findings, the optimum conditions for magnesium aluminate spinel production were determined.

**Keywords:** Magnesium aluminate (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), spinel, ZnO, bulk density.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Spinelin genel formülü AB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> şeklindedir ve kübik kristal yapıya sahiptir; kübik sıkı paket latisinde anyonlar bulunmaktadır, A ve B katyonları tetrahedral ve oktohedral yapının tamamını veya bir kısmını işgal eder. Magnezyum alüminat (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) endüstride en iyi bilenen spinellerdendir [1].

Son yıllarda yüksek mukavemet, sertlik ve yüksek sıcaklıkta kararlılık özellikleri ve bu özelliklerin iyi kombinasyonu nedeniyle magnezyum alüminat (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) seramiklere ilgi artmıştır [2]. Mükemmel fiziksel, kimyasal ve termal özelliklere sahiptirler ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıkta da korumaktadırlar. Bu nedenle metalurji sektöründe refrakter uygulamalarında ve diğer yüksek sıcaklık proseslerinde yaygın şekilde kullanılmaktadırlar [3]. Ayrıca, bazı uygulamalarda kataliz desteği olarak, sensör, membran, adsorblayıcı olarak, optik özellikleri sebebiyle saydam seramik olarak kullanılmaktadırlar [1,2,4].

Magnezyum alüminatın ergime derecesi 2135°C'dir. MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> doğal olarak oluşmadığı için magnezyumla

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : nurayc@sakarya.edu.tr

alüminyum oksitlerin reaksiyonu ile üretilir. Magnezyum alüminat spinelin (MAS) teorik stokiometrik kompozisyonu (ağırlıkça) %71.68 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %28.32 MgO'dir [5].

Magnezyum alüminat spinel (MAS) genel olarak katı hal reaksiyonuyla Mg ve Al başlangıç malzemelerinin mekanik olarak karıştırılması veya öğütülmesi ve sonrasında uygulanan ısı işlem neticesinde üretilir. Yaş kimyasal çözelti tekniklerinde ise, Mg ve Al başlangıç malzemeleri kimyasal bir çözelti içerisinde çözündürülür ve 80-140°C arasındaki düşük bir sıcaklıkta termal işleme tabi tutulur. Her iki yöntemde de homojenleştirici bazı ilaveler kullanılmaktadır. Geleneksel katı hal yönteminde yoğun ve benzer yapıda spinel üretimi için iki aşamalı ısı işlem gereklidir [6]. Bu çalışmada ise tek aşamada MAS seramik üretimi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca, geçmiş yıllarda MAS seramikler geleneksel basınçsız sinterleme yöntemiyle üretilmekteydi. Bu işlemin yoğun seramik üretilebilmesi için 1900°C'nin üzerinde gerçekleşmesi gereklidir, fakat bu yoğunlaşma aşırı büyümüş tane boyutuyla meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıkta daha küçük tane boyutuyla üretim için spark plazma sinterleme veya mikrodalga sinterleme

yöntemleriyle hızlı bir şekilde yoğunlaşma sağlanabilir. MAS seramiklerin nispeten küçük tane boyutuyla, düşük sıcaklıkta basınçsız sinterlenmesi arzu edilir ve bunun için de iki aşamalı sinterleme işlemi uygulanabilir [7].

MAS'ın içerisinde herhangi bir sinterleme yardımcısı olmadan düşük sıcaklıkta yoğun bir şekilde sinterlenmesi oldukça zordur. Dolayısıyla basınçsız sinterlenmenin gerçekleştirilmesi için literatürde sinterleme yardımcılarının ilavesiyle gerçekleştirilen spinel üretim çalışmaları bulunmaktadır. Örneğin;  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{CaB}_4\text{O}_7$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{ZnF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  katkıları gibi...

Bu çalışmada MAS seramiği üretiminde başlangıç tozları olarak, daha ekonomik olması için saf oksit tozlar değil atık bir malzeme olan manyezit atığı kullanılmıştır. Ekonomikliğe ilave olarak, manyezit atığının içinde bulunan oksit kalıntılarının sinterleme yardımcısı gibi davranarak yoğunlaşmayı teşvik edeceği ve daha düşük sıcaklıkta sinterlemeyi kolaylaştıracağı düşünülmüştür. Ayrıca, üretim öncesinde sisteme ilave edilen küçük miktarlarda ZnO'nin MAS seramiğin yoğunlaşmasına ve diğer bazı özelliklerine etkisinin incelenmesi de amaçlanmıştır.

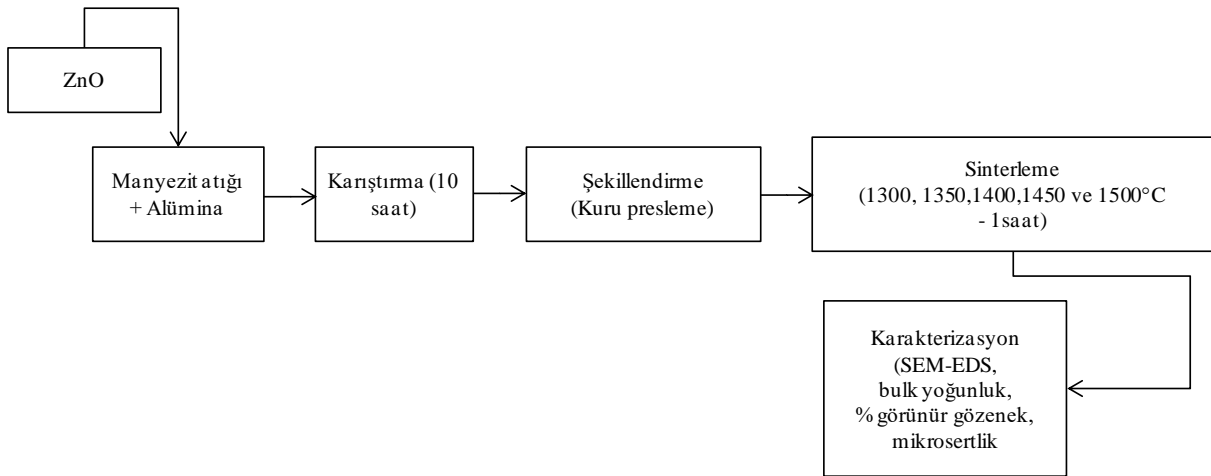
## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

MAS seramiğin üretilebilmesi için endüstriyel bir atık olan manyezit atığı ve alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) tozu kullanılmıştır. Manyezit atığı KÜMAŞ AŞ.'den, alümina tozu ise KALEMADEN'den temin edilmiştir. Kullanılan başlangıç malzemelerinin bileşimleri Çizelge 1. ve Çizelge 2.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Manyezit atığının kimyasal bileşimi (Chemical compound of magnesite waste)

Bileşen	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	L.O.I*
(ağ.%)	15,56	1,79	0,28	3,36	45	33,96

\* Loss on ignition: kızdırma kaybı



**Şekil 1.** Deneysel çalışmaların akım şeması (Flow chart of experimental studies)

**Çizelge 2.** Alümina tozunun kimyasal bileşimi (Chemical compound of alumina powder)

Bileşen	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	L.O.I*
(ağ.%)	99,85	0,06	0,29

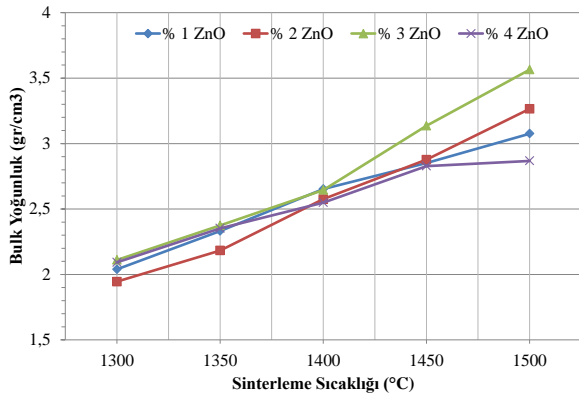
\* Loss on ignition: kızdırma kaybı

Çalışmada ilk olarak,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zengin MAS üretimi için (%78 $\text{Al}_2\text{O}_3$ -%22  $\text{MgO}$ ) bileşimine göre uygun miktarlarda manyezit atığı ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu tartılmıştır. Ayrıca bu tartımların içersine ağ. %1, 2, 3 ve 4 oranlarında ZnO ilavesi yapılmış ve 10 saat süre ile bilyalı değirmende kuru olarak karıştırılmışlardır. Hazırlanan karışımlar 60 MPa basınç altında kuru olarak preslenmiş, sonrasında şekillendirilen numuneler 1300, 1350, 1400, 1450 ve 1500°C sıcaklıklarda 1 saat süre ile sinterlenmişlerdir. Deneysel çalışmalara ait akım şeması Şekil 1.'de verilmiştir. Üretilen numunelerin Archimed yöntemiyle bulk yoğunlukları ve % görünür gözenek değerleri ölçülmüştür. Aynı şartlarda üretilen diğer numuneler ise önce metalografik olarak hazırlanmış ve sonrasında sinterleme sıcaklıklarının 50°C altındaki sıcaklıklarda termal olarak dağlanmışlardır. Elde edilen numuneler mikro yapı ve elementel analiz için SEM ve EDS analizlerine tabi tutulmuşlardır. İlave olarak, sinterlenen numunelerin mikrosertlik yöntemiyle 500 gr yük altında Vickers sertlikleri ölçülmüştür. Bütün sonuçlar göz önünde bulundurularak kullanılan başlangıç malzemeleriyle MAS üretimi için optimum şartlar belirlenmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneysel çalışmalarda açıklandığı gibi başlangıç hammaddeleriyle oluşturulan karışımlardan kuru presleme ile hazırlanmış olan numuneler farklı sıcaklıklarda sinterlenmişlerdir. Elde edilen numunelerin

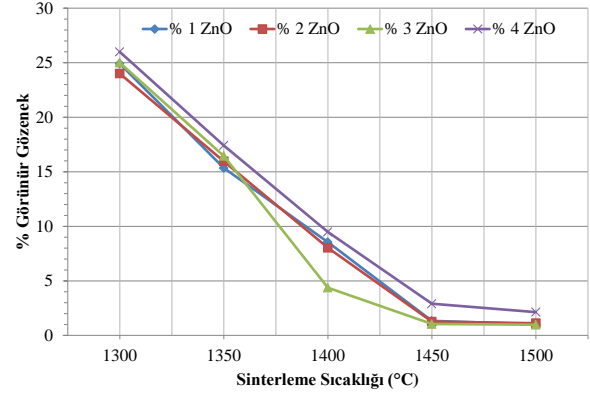
bulk yoğunluklarındaki değişim sinterleme sıcaklıklarına ve ilave edilen ZnO miktarına bağlı olarak Şekil 2.'de verilmiştir. Burada genel olarak sinterleme sıcaklığının artmasıyla yoğunluklarda artış olduğu görülmektedir. Ayrıca düşük ZnO miktarındaki artışın da yoğunluğu arttırdığı, sonrasında ZnO miktarının %4 olması halinde ise yoğunlukta düşüş meydana geldiği söylenebilir. İçerisinde ZnO ilavesi olmayan bileşimde en yüksek yoğunluk 1500°C sıcaklıkta 2,94 gr/cm<sup>3</sup> olarak elde edilirken (sonuç grafik üzerinde verilmemiştir), katkılı olarak üretilen numunelerde ise %3 ZnO ilaveli numunenin 1500°C'de sinterlenmesi sonucunda 3,56 gr/cm<sup>3</sup> ile en yüksek yoğunluk değeri sağlanmıştır. MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>'ün teorik yoğunluğu 3,58 gr/cm<sup>3</sup> olduğundan hareketle burada elde edilen spinelin relatif yoğunluğu %99,44 olarak hesaplanmıştır. Literatürde, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkısıyla ve saf hammaddelerle 1200-1400°C sıcaklıklarda üretilen spinellerde %95,2 ile 99,7 arasında relatif yoğunluk elde edilmiştir [8]. Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesiyle üretilen spinellerde 1650°C'de en yüksek relatif yoğunluk %96,17 olarak bulunmuştur. Yapılan bu ilavelerin yoğunluğu artırırken görünür gözenek de düşürdüğü belirtilmiştir [9]. Başka bir çalışmada ise, ZnO ilavesiyle kalsine magnezya ve kalsine alüminadan 1550°C'de üretilen MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinelin %99 relatif yoğunluğa ulaştığı rapor edilmiş ve bu durum ZnO ilavesiyle, anyon boşluğunun oluşumu ile spinelin yoğunlaşmasına neden olabileceği şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca ZnO miktarının çözünürlük sınırının üzerinde olması halinde özellikleri kötüleştirdiği de belirtilmiştir [10]. Dolayısıyla bu çalışmada atık bir malzemeden ekonomik bir şekilde 1500°C gibi çok yüksek olmayan bir sıcaklıkta %3 ZnO katkılı oldukça yoğun (relatif yoğunluk: %99,44) spinel üretilmiştir.



Şekil 2. Sinterleme sıcaklığıyla bulk yoğunluk değişimleri (Bulk density changes with sintering temperature)

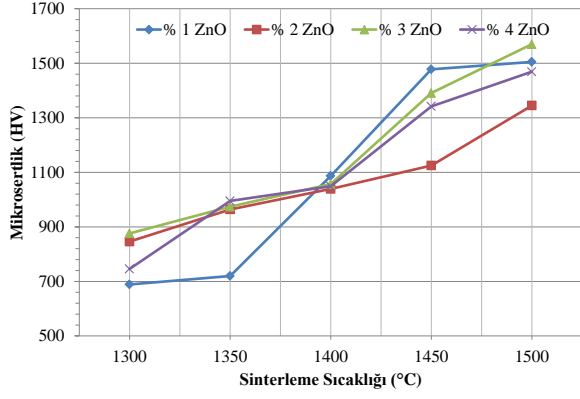
Şekil 3.'de ZnO katkılı üretilmiş olan numunelerin sinterleme sıcaklığına göre hesaplanan % görünür gözenek değerleri grafik olarak görülmektedir. Burada beklenildiği şekilde sinterleme sıcaklığının artması gözenek miktarını düşürmüştür. Ayrıca ZnO miktarının artması görünür gözenek değeri düşürürken, yoğunluk

değişiminde olduğu gibi ZnO miktarının belli bir değerinden sonra tam tersi bir durum söz konusu olmuş ve görünür gözenek miktarı artmıştır. Dolayısıyla bu durum Şekil 2'de verilen yoğunluk değişimleriyle tutarlıdır ve en düşük görünür gözenek miktarı %3 ZnO ilaveli numunenin 1500°C'de sinterlenmesi sonucunda %0,98 olarak belirlenmiştir.



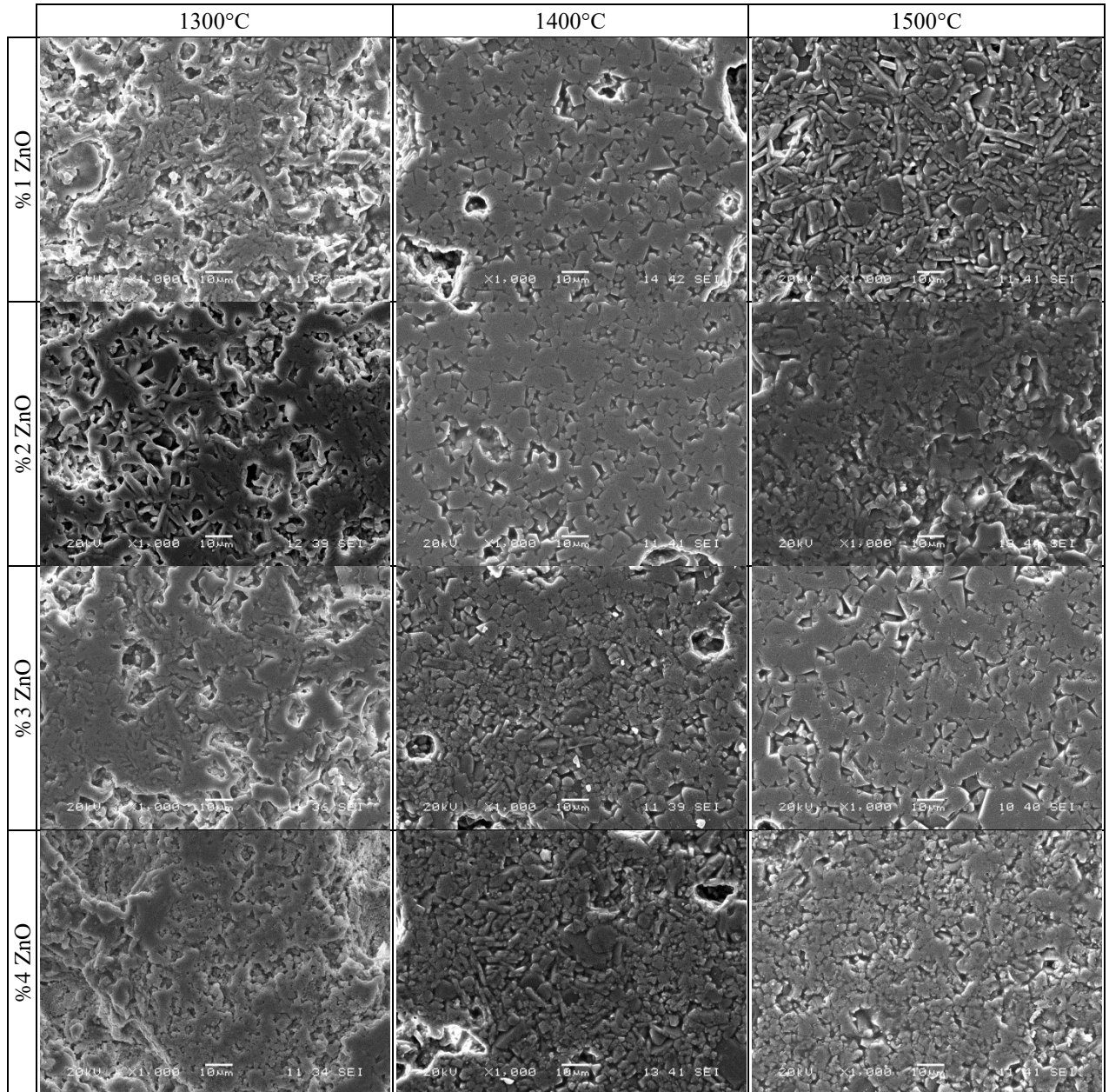
Şekil 3. Sinterleme sıcaklığıyla % görünür gözenek değişimleri (% Apparent porosity changes with sintering temperature)

%1, 2, 3 ve 4 ZnO ilavesiyle farklı sıcaklıklarda sinterlenerek üretilen numunelerin sertlikleri Vickers mikrosertlik yöntemi ile ölçülmüş ve sonuçlar grafik halinde Şekil 4.'de verilmiştir. Burada yoğunlaşmanın sıcaklıkla artması nedeniyle sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri 1570 HV olarak, %3 ZnO ilaveli numunenin 1500°C'de sinterlenmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu numunenin en yüksek yoğunluğa ve en düşük % görünür gözenek değerine sahip olduğu yukarıda da açıklanmıştır. Yapılan çalışmalarda MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinele ilave edilen oksit katkıların düşük sıcaklıkta sıvı faz sinterlemesine katkı sağlayacağı rapor edilmiş ve bu nedenle bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır [11]. Ayrıca, literatürde bulunan benzer çalışmalarda MAS seramiklerin sertliklerinin 2,89-7,79 GPa arasında olduğu belirtilmiştir [12]. Liu ve arkadaşları MAS seramiğin iki aşamalı olarak 1650°C'de ve 1550°C'de 10 saat sinterlenmesi sonrasında %96,17 relatif yoğunluk değeri ve 11,05 GPa Vickers sertlik değeri elde etmişlerdir [7]. Ghosh ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, ZnO ilavesinin spinelin yoğunluğunu artırırken mekanik özelliklerini de iyileştirdiğini açıklamışlardır [10]. Dolayısıyla, bu çalışmada hem başlangıç hammaddesi olan manyezit atığının içinde bulunan oksit kalıntıları, hem de belirli bir değere kadar ZnO ilavesi düşük sıcaklıkta sıvı faz sinterlemesini teşvik etmiş olup yüksek sertlik ve yoğunluğa sahip MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinelin üretilmesini sağlamıştır.



Şekil 4. Sinterleme sıcaklığıyla sertlik değişimleri (Hardness changes with sintering temperature)

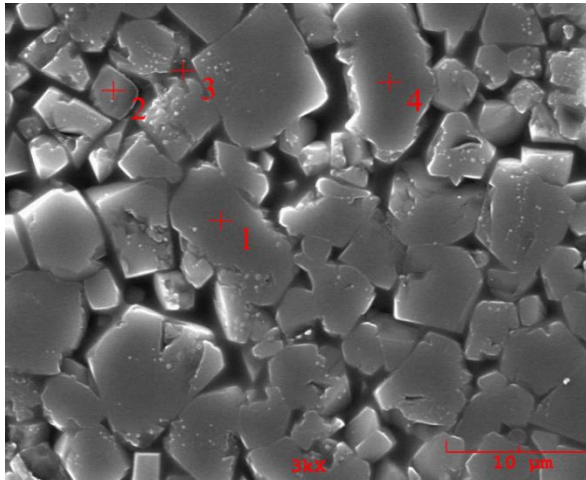
Yapılan bazı çalışmalarda, MAS seramiklerin kırılma tokluğunun düşük olmasından dolayı ilave edilebilecek  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SiC$  gibi bileşenlerin kırılma tokluğunu ve termal şok özelliklerini de arttırabilecekleri iddia edilmiştir [5,13,14]. Bu çalışmada üretilen spinelin yoğunluk ve sertlik özelliklerinin üzerinde durulduğu için bu ölçümler yapılmamış olup bu açıklamalardan dolayı kırılma tokluğu ve termal özelliklerinin de iyileşmiş olabileceği düşünülerek yapının içinde bulunan bu katkıları ayrıca da avantaj olarak değerlendirilmiştir. Manyezit atığı, alümina tozları ve  $ZnO$  katkısıyla farklı sıcaklıklarda sinterlenerek üretilen numuneler metalografik olarak hazırlanmalarının ardından termal olarak dağlanmışlardır. Şekil 5.'de bu numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin SEM görüntüleri (SEM images of samples sintered at different temperatures)

Görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığının artması gözeneklerin azalmasını sağlamıştır. 1300°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin hepsinde de gözenek boyutları ve dağılımları oldukça fazladır. 1500°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerde ise gözenekler küçülmüş ve azalmıştır, dolayısıyla yoğunluk artışı da buna bağlıdır. Ayrıca sıcaklığın artmasının tane büyümesine de sebep olduğu görülmektedir. Ancak, tane boyutunun yine de oldukça küçük ve yaklaşık 2-10 µm arasında olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır ve bu yapıda ZnO'nin varlığının tane sınırı hareketlerini sınırladığı şeklinde açıklanmıştır [10].

Şekil 6.'da ise daha önce açıklandığı gibi en iyi sonuçları veren %3 ZnO içeren ve 1500°C'de 1 saat sinterlenen numunenin EDS analizi verilmiştir. Burada 1, 2 ve 4 nolu noktalarda spinel yapıya ve ilave edilen ZnO'ye ait elementler (Mg, Al, O ve Zn) belirlenmiştir. İlave edilen ZnO spinel içerisinde katı çözelti oluşturduğu için tanelerden alınan analizde belirlenebilmiştir [10]. Taneler arası bölgeden alınan EDS analizinde ise ilave olarak hammaddeden gelen Si ve Ca elementleri de görülmüştür. Dolayısıyla manyezit atığının içinde bulunan oksit kalıntılarının tanelerin arasında sıvı faz oluşumunu sağladığı ve bu sayede önceki bölümlerde açıklandığı üzere sinterlemeyi kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

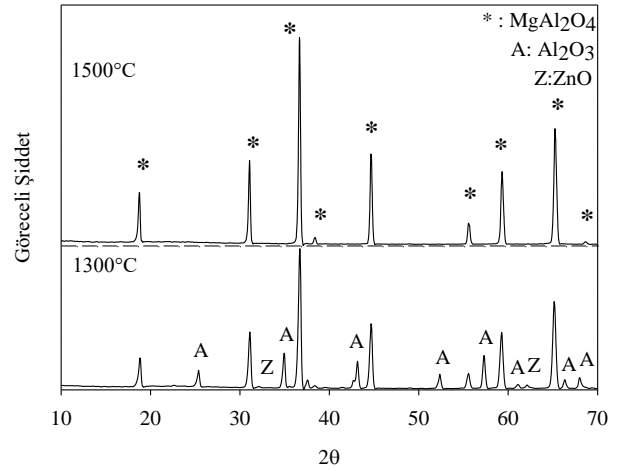


Elementler	1	2	3	4
O	30.276	36.261	25.887	30.909
Mg	13.686	12.568	11.120	13.324
Al	53.468	49.789	43.964	53.070
Si	-	-	15.071	-
Ca	-	-	1.519	-
Zn	2.570	1.382	2.439	2.698

Şekil 6. %3 ZnO içeren 1500°C'de 1 saat sinterlenen numunenin EDS analizi (EDS analysis of the sample containing wt.3% ZnO sintered at 1500°C for 1 hour)

En iyi sonuçları veren %3 ZnO içeren 1300°C ve 1500°C'de 1 saat sinterlenenmesi sonrasında elde edilen numunede oluşan spinel yapının belirlenebilmesi için

uygulanan XRD analizleri Şekil 7.'de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi 1300°C sıcaklıkta tam olarak spinel dönüşümü gerçekleşmemiş ve yapıda çokça Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazına rastlanmıştır. Sıcaklığın 1500°C'ye çıkarılmasıyla tam olarak MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spineli oluşmuş, yapıda dönüşmemiş herhangi bir faz belirlenmemiştir. İlave olarak her iki sıcaklıkta da amorf oluşumların meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla bu yapının manyezit atığının içinde bulunan ve sıvı faz sinterlemesine katkı sağladığı düşünülen ayrıca Şekil 6.'da verilen EDS analizinde de belirlenen oksit kalıntılardan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 7. %3 ZnO içeren 1300°C ve 1500°C'de 1 saat sinterlenen numunelerin XRD analizleri (XRD analyses of the samples containing wt.3% ZnO sintered at 1300°C and 1500°C for 1 hour)

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada magnezyum alüminat spinel, manyezit atığı ve alüminadan hareketle ve ZnO katkısıyla 1300-1500°C aralığında sinterlenerek üretilmiş ve numunelerin özellikleri incelenmiştir. Sisteme yapılan ZnO katkısı %3'e kadar özellikleri iyileştirmiş ve 1500°C sinterleme sıcaklığı sonrasında %99,44 relatif yoğunluğa ve 1570 HV sertliğe sahip MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel üretilmiştir. İlave olarak, üretilen ürünün tane boyutunun da yaklaşık 2-10 µm arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede atık bir hammaddeden ekonomik olarak spinel üretiminin sağlanabildiği söylenebilir. Ayrıca, ZnO katkısının MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel üretimi için belirli bir orana kadar teşvik edici olduğu da belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yapılan bu çalışmada hammadde temini için KÜMAŞ Manyezit Sanayi A.Ş.'ye ve yardımlarından dolayı Prof.Dr. Özkan Toplan'a teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Habibi N., Wang Y., Arandiyani H., Rezaei M., "Low-temperature synthesis of mesoporous nanocrystalline magnesium aluminate (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) spinel with high

- surface area using a novel modified sol-gel method”, *Advanced Powder Technology*, 28: 1249-1257, (2017).
- [2] Zhu L.L., Park Y. J., Gan L., Go S., Kim H. N., Kim J.M., Ko J. W., “Fabrication of transparent  $MgAl_2O_4$  from commercial nanopowders by hot-pressing without sintering additive”, *Materials Letters*, 219: 8-11, (2018).
- [3] Liu J., Lv X., Li J., Zhang L., Peng J., “Hot corrosion behavior of two-step sintered magnesium aluminate spinels in molten electrolyte”, *Journal of Alloys and Compounds*, 725: 1313-1319, (2017).
- [4] Araújo G. T., Brito T. S., Souza D. F., Silva A. M. A., Nunes E. H.M., Houmard M., “Preparation of  $Al_2O_3$  and  $MgAl_2O_4$ -based samples with tailored macroporous structures”, *Ceramics International*, 44: 580-587, (2018).
- [5] Şahin B., “Zirkon- $Y_2O_3$  ilavesiyle MgO-Spinel kompozit refrakterlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, (2008).
- [6] Rahmat N., Yaakob Z., Pudukudy M., Rahman N. A., Jahaya S. S., “Single step solid-state fusion for  $MgAl_2O_4$  spinel synthesis and its influence on the structural and textural properties”, *Powder Technology*, 329: 409-419, (2018).
- [7] Liu J., Lv X., Li J., Jiang L., “Pressureless sintered magnesium aluminate spinel with enhanced mechanical properties obtained by the two-step sintering method”, *Journal of Alloys and Compounds*, 680: 133-138, (2016).
- [8] SARIDAŞ S., “Spark plazma sinterleme yöntemi ile ışık geçirgenliğine sahip magnezyum alüminat spinel seramiklerinin üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016).
- [9] Li J., Liu J. H., Lü X. J., Lai Y. G., “Effect of  $Sc_2O_3$  addition on densification and microstructure of different spinelized magnesium aluminate spinels”, *Trans. Nonferrous Met. Soc.*, 26: 144-151, (2016).
- [10] Ghosh A., Das S. K., Biswas J. R., Tripathi H. S., Banerjee G., “The effect of ZnO addition on the densification and properties of magnesium aluminate spinel”, *Ceramics International*, 26: 605-608, (2000).
- [11] Liu J., Wang Z., Wang X., Liu H., Ma Y., “The effects of in situ formation of  $Y_3Al_5O_{12}$  on property improvement of magnesium aluminate spinel refractories”, Article in Press, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.014>
- [12] Ganesh I., “A review on magnesium aluminate ( $MgAl_2O_4$ ) spinel: synthesis, processing and applications”, *International Materials Reviews*, 58:2, 63-112, (2013).
- [13] Ceylantekin R., “ $ZrSiO_4$  ve  $ZrO_2$  ilavelerinin MgO- $MgAl_2O_4$  refrakterlerin mekanik, ısı şok ve korozyon davranışlarına etkileri”, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, (2009).
- [14] UĞUR P., “ $SnO_2$  ilavesiyle MgO- $MgAl_2O_4$  Kompozit refrakterlerin mekanik özelliklerinin, ısı şok ve korozyon davranışlarının araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi* Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Gri tahmin yöntemi ile İstanbul su tüketiminin modellenmesi

## *Water consumption model of Istanbul city by gray prediction method*

Yazar(lar) (Author(s)): Eyyup Ensar BAŞAKIN<sup>1</sup>, Mehmet ÖZGER<sup>2</sup>, Necati Erdem ÜNAL<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-9045-5302

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-9812-9918

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-4777-4279

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Başakın E.E., Özger M. ve Ünal N.E., "Gri tahmin yöntemi ile İstanbul su tüketiminin modellenmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 755-761, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.422727

# Gri Tahmin Yöntemi ile İstanbul Su Tüketiminin Modellenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Eyyup Ensar BAŞAKIN\***, Mehmet ÖZGER, Necati Erdem ÜNAL

İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.05.2018 ; Kabul/Accepted : 27.10.2018)

## ÖZ

Mühendislik yapılarının ekonomik ve sürdürülebilir hizmet verebilmeleri, yapım öncesi titiz bir planlama gerektirmektedir. Uzun hizmet ömrü ve yüksek ilk yatırım maliyetleri sebebiyle ön planlama su yapılarında ayrı bir önem taşır. Projelendirilecek su yapısının hangi boyut ve özellikte olması gerektiği, su tüketim miktarları ile ilişkilidir. Gelecekte gerçekleşmesi düşünülen su tüketim değerinin tespiti bu yapıların inşa sürecine önemli katkılar sunmaktadır. Ancak bazı bölgelerde geçmişte kullanılan su miktarına ait ölçümlerdeki yetersizlik veya eksik kayıtlar sebebiyle tahmin yapmak zorlaşmaktadır. Klasik tahmin yöntemleri belirli bir sayının altında veri ile sağlıklı performans sergileyemezler. Geçmiş kayıtların az olduğu durumlarda ise Gri Tahmin yöntemi en çok başvurulan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, güncel bir yöntem olan Gri Tahmin yöntemi kullanılarak İstanbul ilinin yıllık su tüketim değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Gri Tahmin yöntemlerinin sonuçları istatistiksel başarı kriterleri yardımıyla test edilmiş ve hidrolojide kullanımının mümkün olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Gri tahmin, su tüketimi, hidroloji, zaman serisi, matematik model.

# Water Consumption Model of Istanbul City by Gray Prediction Method

## ABSTRACT

Engineering structures require precise planning before its construction to provide economical and sustainable service. Due to long service life and high initial investment costs, preliminary planning is of particular importance for water structures. The size and type of the water structure to be projected is highly related to the amount of water consumption rate. The determination of water consumption rate which is considered to be realized in the future provides an important contribution to the construction process of these special structures. However, in some regions it is difficult to estimate the water demand because of inadequacies or missing records in previous water consumption rates. Classical prediction methods cannot perform well with limited number of data. Gray Prediction Model is one of the most commonly used methods when there are few records. In this study, annual water consumption rates of the province of Istanbul were estimated by using Gray Prediction Model which is a contemporary method. The results of the Gray Prediction Model was tested with the help of statistical error criteria and it was found out that this method gives satisfactory results in hydrology area even if number of data is limited.

**Keywords:** Gray prediction, water consumption, hydrology, time series, mathematical model.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm mühendislik disiplinlerinde olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de geleceğe yönelik tahminde bulunmak problem çözümlerinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Herhangi bir problemin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülen verilerin eşit zaman aralıklarında ölçülmesi sonucu oluşan veri setine zaman serisi denilmektedir. Zaman serileri saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak gruplara ayrılabilir. Zaman serileri kullanılarak yapılan tahmin çalışmalarında yeterli veri olduğu durumlarda regresyon analizi, stokastik analizler, yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi birçok

matematiksel tahmin yöntemi kullanılmıştır. Regresyon analizi ve klasik stotastik yöntemlerin normal dağılım, durağanlık, varyans sabitliği gibi koşulları sağlaması gerekliliği bu yöntemlerin uzun ve kompleks bir süreç

dönüştürmektedir ve bu yöntemlerin kullanım alanını kısıtlamaktadır. Bu bakımdan araştırmacılar arasında daha sade ve kullanışlı modellere eğilim son zamanlarda giderek yaygınlaşmıştır. Veri sayısının yetersiz olduğu durumlar için ise Gri Tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Su tüketim değerlerinin son birkaç yılda sağlıklı şekilde ölçülebildiği bölgelerde, gelecek tüketim değerlerinin tahmini hakkında bilgi sahibi olabilmek adına Gri Tahmin yönteminden yararlanmanın gerçekçi sonuçlar doğuracağı öngörülmüştür. Bu sayede uzun seneler ölçüm yapılmadan da istenen tahmin değerlerine yüksek güvenilirlik seviyelerinde ulaşmak mümkün kılınmıştır. Yapılan çalışmada, Gri Tahmin yöntemi tanıtılmış ve hidrolojide kullanımı test edilmiştir.

Su ekonomik ve sosyal kalkınmayı etkileyen, kritik ve sınırlı bir doğal kaynaktır. Bu kısıtlı doğal kaynağın kullanımının modellenmesi ve tahmini, ihtiyaca cevap verebilmesi adına önem arz etmektedir.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : basakin@itu.edu.tr



Uzun süreli bellek bileşenlerine ve kısa süreli bellek bileşenlere ayrılabilir tarihsel değişim modeline sahip, aylık belediye su kullanımını zaman serileri ile tahmin eden bir çalışmada, Maidment ve Parzen [1] su tüketimini su fiyatına ve birkaç değişkene bağlı bir fonksiyon ile temsil etmiştir. Uzun bellek bileşenler şunlardır: nüfus, su fiyatı ve aile gelirindeki yavaş değişimlerin yıl-yıl etkisini yansıtan bir eğilim ve bir yıl içinde su kullanımındaki değişimin döngüsel modelini yansıtan mevsimsellik. Kısa vadeli bileşenler ise şunlardır: ardışık su kullanım miktarlarının doğrusal bağımlılığını yansıtan otokorelasyon ve yağış olaylarının su kullanımı üzerindeki etkisini yansıtan iklim ilişkisi.

Çoklu regresyon kullanan ve su gereksinimlerini, sadece nüfus artışına bağlı, kişi başı su harcamaları ile ilişkili basit tahmin modellerinin aksine, çalışmada Dziegielewski ve Boland [2] su kullanımını hem su ihtiyacına hem de su kullanım yoğunluğunu belirleyen faktörlere bağlar. Bu yaklaşım, IWR-MAIN olarak anılan bilgisayarlı tahmin sistemine dahil edilmiştir. Model California'daki bir vaka çalışmasında gösterilmiştir.

Altunkaynak vd., [3] yaptıkları çalışmada, İstanbul ilinin 1994-2005 yılları arasında ölçülen aylık su tüketim değerlerini, Bulanık Mantık yöntemini kullanarak modellemişlerdir. Klasik yöntemlerin sağlaması gerektiği istatistiksel bazı özelliklerin sınırlamalarına takılmadan çalışan bu yöntem sayesinde %10 göreceli hatanın altında tahminlerde bulunmuşlardır.

Veri ön işleme teknikleri kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada Altunkaynak ve Niğussie [4] İstanbul ilinin 1992-2014 yılları arasındaki su tüketim değerlerini kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Sezonluk etkilerin çarpımsal ayrıştırma yöntemi ile ayrıştırıldığı bu model ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış modeller ile karşılaştırılmıştır. Her iki ön işleme yöntemi sonrasında tahminler yapay sinir ağları ile yapılmıştır. Daha sonra modellere ayrıştırılan değerler eklenerek tahmin sonucuna ulaşılmıştır. Çarpımsal ayrıştırma modelinin tahminleri ayrık dalgacık dönüşümlü modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

İzmir ilinin su tüketim değerlerinin tahmin edildiği çalışmada Firat vd., [5] bulanık mantık çıkarım sistemlerinden Mamdani ve Sugeno temelli ANFIS yöntemini kullanmışlardır. Zaman serisi değerleri kullanarak yaptıkları çalışmada 6 ayrı model oluşturmuş ve bu modeller ile iki ayrı çıkarım yöntemi olan Mamdani ve Sugeno temelli ANFIS'i karşılaştırmışlardır. ANFIS yöntemi içerdiği nöron ilişkileri sayesinde daha sistematik çalışma prensibine sahiptir ve Mamdani'nin aksine üyelik şekillerinin ve aralıklarının ayarlanmasında insan hatasını en aza indirebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı Sugeno temelli ANFIS çıkarım sisteminin Mamdani çıkarım sisteminden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Son yıllarda su kıtlığı ile mücadele eden Lefkoşa kentinin daha etkin su yönetiminin sağlanabilmesi adına Adamowski ve Karapataki [6] kentin su talebini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çoklu doğrusal regresyon ve

yapay sinir ağlarının kullanan araştırmacılar yaptıkları çalışmada farklı öğrenme algoritmalarına sahip yapay sinir ağlarının su talebini tahmin etmede çoklu doğrusal regresyondan daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca yapay sinir ağları içerisinde kullanılan eğitim algoritmalarından Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının Lefkoşa kenti su talebinin tahmini için en iyi eğitim algoritması olduğu sonucuna varmışlardır.

Nasseri vd., [7] yaptıkları çalışmada Tahran kentinin su talebini tahmin etmek için genişletilmiş kalman filtresi ve genetik programlama kullanmışlardır. Zaman serisi değerlerindeki gecikmeler yardımıyla oluşturdukları 5 ayrı model üzerinden tahmin çalışması gerçekleştirmişlerdir. Model parametrelerinin bulunması aşamasında genetik programlamadan yararlanan araştırmacılar etkin bir su yönetimi için, talep tahmini çalışmalarında genetik programlama ile birlikte genişletilmiş kalman filtresinin daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Zhang vd., [8] Pekin'in merkezi kent bölgesindeki kentsel su tüketimini analiz etmek için bir regresyon modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde su tüketimi temel tüketim ve mevsimsellik unsurlarına ayrılarak tahmin edilmiştir. Model sayesinde gerçek zamanlı günlük su kullanımının tahmini sağlanırken, su kullanımını etkileyen faktörlerin yapısını farklı zaman ölçeklerinde yorumlama imkânı da sağlanmıştır. Araştırmacılar daha fazla değişkenin modellere eklenerek daha iyi sonuçların elde edilebileceğine vurgu yapmışlardır.

Liu vd., [9] yaptıkları çalışmada kentsel su kullanımının en önemli belirleyicilerini nicel olarak tanımlamak için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşım, işlevin ve parametrelerin yapısını otomatik olarak eşzamanlı optimize eden genetik programlama (GP) adlı bir veri madenciliği modelini temel alır. Kentsel su kullanımı modeli, GP modeli kuzey Çin'deki 47 şehir için en uygun faktörleri tanımlamaktadır. Geleneksel regresif modellerle karşılaştırıldığında GP modeli, regresif modele göre daha iyi performans gösterir. GP modelinin Nash-Sutcliffe modeli verimlilik katsayısı (NSE) 0.87 iken regresif modelinin NSE değeri 0.79'dur. Vaka çalışmasının sonuçlarına göre, kentsel su kullanımı hem sosyo-ekonomik hem de doğal değişkenlerle belirlenmiştir. Toplam nüfus, hizmet endüstrisi göstergeleri, yeşil alan, konut alanı, su fiyatı ve yağış, kentsel su kullanımının belirleyici unsurlarıdır. Bu çalışmada geliştirilen yeni model ve bilgiler, kentsel su yönetimi için, özellikle su kıtlığı yaşayan şehirlerde yararlı olabilir.

Melbourne şehrinin günlük su tüketimi tahmin etmek için zaman serisi trend, mevsimsellik, iklimsel korelasyon ve otokorelasyon gibi dört faktörün etkisinde değerlendirilen çalışmada Zhou vd., [10] bu faktörler ışığında bir denklem elde etmişlerdir. Temel tüketimdeki yıllık bazda uzun vadeli eğilim, zamanın bir fonksiyonu olarak bir polinom ile temsil edilmiştir. Mevsimsel su kullanımı, mevsimsel, iklimsel ve kalıcılık bileşenleri ile yaz ve kış olarak altı ay ayrı ayrı modellenmiştir.

Geliştirilen model, 1 Aralık 1996'dan 31 Ocak 1997'ye kadar yaz döneminde bağımsız bir veri seti kullanılarak test edilmiştir. Ototregresyon yardımıyla çözülen denklem ve yapılan tahminler %89 doğrulukta sonuçlar vermiştir.

### 1.2 Gri Tahmin Yönteminin Hidrolojide Kullanımı

(Usage of gray prediction methods in hydrology)

Trivedi ve Singh [11] hidroloji alanında nispeten yeni bir yaklaşım olan gri sistem teorisini kullanarak, yağış-akış sürecini modellemek için bir model kurmuşlardır. Gri sistem teorisi, bir girdi-çıkıktı süreci ile belirsiz iç ilişkiler, belirsiz mekanizmalar ve yetersiz bilgi arasındaki ilişkiyi araştırmak için bir yaklaşım geliştirir. 1993-1997 yılları arasında toplanan Hindistan'ın Kothuwatari havzasındaki on altı fırtına olayı, diferansiyel hidrolojik gri modellerin geliştirilmesi ve tahmini için kullanılmıştır. Model parametrelerinin tahmini için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modelin performansı nitel ve nicel istatistik endeksleri vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Çeşitli hata endekslerinin daha düşük değerleri ve daha yüksek korelasyon endeks değerleri, modelin çalışma alanı için makul bir doğrulukla fırtına akışını tahmin etme yeteneğini doğrulamaktadır.

Gelecekteki yağış tahminleri, taşkın tahmini süresini kısaltmanın bir yoludur. Yu vd., [12] bulanık hedef regresyon metodu kullanılarak model parametrelerinin tahmin edildiği, gri modele dayalı yağış tahmin modelini önermektedir. Tahmini iyileştirmek için bir adım tahmin tekniği tanıtılmıştır. On tarihi fırtına olayı, önerilen modeli kalibre etmek ve doğrulamak için kullanılmıştır. Model sonuçları, önerilen modelin makul yağış kütlesi eğrileri sergilediğini ve yağış hiyetografını 1-3 saat önceden tahmin edilmesini sağladığını göstermektedir.

Son yıllarda havza özellikleri ile yağış-akış arasındaki dinamik ilişki geniş bir biçimde incelenmiştir. Havza yağış-akışı durağan olmayan bir süreç olduğu için, en deterministik taşkın öngörme yaklaşımları, uyarlanabilir algoritmalar yardımı olmadan etkisizdir. Ho ve Lee [13] yağış tahmin modelini, havza akış modelini ve gerçek zamanlı güncelleme algoritmasını bütünleştiren etkili bir akış tahmin sistemi önermektedir. Mevcut saatlik yağış verilerine dayanan gri yağış öngörme tekniğini benimsemiştir. Değişen jeo-iklim koşullarının, kararsız ve doğrusal olmayan havza sisteminin hidrolojik tepkisi üzerindeki etkilerini simüle etmek için bir jeomorfoloji tabanlı akış modeli kullanılmış ve akış güncelleme algoritması, ölçülen akış verilerine göre havza akışını tahmin etmek için birleştirilmiştir. Sonuçlar, tahmini ve gözlemlenen hidrografların üç havza için de iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. Önerilen akış tahmin sistemi, taşkın olayları sırasında can ve mal kaybını en aza indirmeye yardımcı olabileceği vurgulanmıştır.

Lin vd., [14] bir rezervuara gelen akışı tahmin etmek için değiştirilmiş gri bir model önermiştir. Arka plan değerinin integral formu, orijinal gri model GM (1,1) için doğruluk ve uygulanabilirliği artırmak için kullanılır. Fourier serisi tahmin ile ilgili aşırı değerleri ele alacak şekilde değiştirilir; tahmini gecikme olgusunun

dezavantajlarını iyileştirmek için üstel yumuşatma kullanılır. Son olarak, tahmin doğruluğu daha iyi olan nihai gri model olarak, yani EFGM (1,1) elde edilir. Bir tayfunun rezervuara girişinde önemli değişiklikler yapması nedeniyle, bulanık gri modifikasyon modeli FEFGM (1,1) oluşturmak için bulanık üyelik işlevi uygulanır. Gri modellerin sonuçları Ototregresif Hareketli Ortalama (ARIMA) ile karşılaştırılmıştır. Farklı indeksleri değerlendirerek, tahmin edilen EFGM (1,1) aşırı değerinin hataları, GM (1,1) ve ARIMA'dan daha iyi performans gösterir, ancak FEFGM (1,1)' den daha kötüdür. FEFGM (1,1) tayfun sırasında bulanık, üstel yumuşatma ve Fourier serilerinin birleşik etkileri ile rezervuar akış girişi tahmini konusunda yüksek hassasiyet göstermektedir.

Chou [15] yağış-akış süreçlerini dalgacık tabanlı çok çözünürlüklü analiz ile modellemek için yeni bir yaklaşım önermektedir. İlk olarak, her çözünürlük seviyesinde dalgacık katsayılarını elde etmek için gözlemlenen etkili yağış ve doğrudan akış zaman serilerini ayırtmak için dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Daha sonra bu dalgacık katsayıları, her bir çözünürlük seviyesinde çift serili diferansiyel hidrolojik gri modelleri kullanarak yağış-akış proseslerini modellemek için uygulanmıştır. Her çözünürlük seviyesindeki tahmini gri parametrelerin ortalaması, sadece önerilen yaklaşımı doğrulamak için bilgi sağlamakla kalmaz aynı zamanda her çözünürlük seviyesindeki ortalama sistem özelliklerini de temsil etmektedir. Tahmin sonuçlarının çeşitli çözünürlük seviyelerinde toplamı genel tahmini vermekle beraber bu prosedürün yağış akış prosesinin modellenmesi için uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Şehirlerdeki konut su tüketimi, orta ve uzun vadeli verilerin tahmininde düşük doğruluğa yol açan rastgele, dalgalanma ve ayrıklığın tipik sıralı özelliklerine sahiptir. Bu problemi çözmek için modifiyeli doğrusal olmayan gri Bernoulli modeli öneren Wang vd., [16] uyum derecesini iyileştirmek için ham verilerin dönüştürülmesine bir kısmi düzen getirmiştir. Orijinal verideki titreşim özelliklerini tanımlamak ve en iyi güç ve zaman hareketi parametrelerini bulmak için kendi kendine uyarlanabilir yapay balık sürüsü algoritması (SAFSA) kullanılmıştır. Wuhan'ın 2004 ve 2014 arasındaki konut su tüketiminin zaman serisi verileri, su tüketimini tahmin etmede optimize edilmiş modelin etkililiğini doğrulamak için kullanılmıştır. Sonuçlar, modifiyeli modelin birkaç geleneksel gri modele göre daha yüksek tahmin kesinliği olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmadaki amaç, elde az verinin bulunduğu durumlarda etkili bir yöntem olan Gri Tahmin yönteminin performansını göstermektir. Klasik istatistik modellerin her koşulda çalışmadığı bilinen bir gerçektir. Belirli sayının altındaki veri setleri ile çalışmak istenirse parametrelerin anlamsızlığı, modelin yanlılığı, normal dağılmama, varyans sabitliğinin sağlanamaması gibi bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Gri Tahmin yöntemi bahsi geçen sınırlamaların hiçbirine takılmadan

modelleme yapabilmektedir. Modelleme çalışması kapsamında Gri Tahmin yöntemi içerisindeki iki alt modelleme yöntemi ile tahmin başarı performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada veri seti olarak İstanbul'un yıllık su tüketim değerleri kullanılmıştır. Rezervuar optimizasyonu problemleri sırasında etkili şekilde kullanılabilen bir tahmin modeli oluşturmak hedeflenmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1 Gri Tahmin (GM 1,1) (Gray Prediction)

Veri sayısının kısıtlı olduğu durumlarda modelleme yapabilmek yeteneğine sahip olan bu model endüstri, ekonomi, sosyal bilimler ve mühendislik bilimleri tarafından son yıllarda oldukça fazla kullanım alanı bulmuştur [17]. Çalışma prensibi olarak, bilinen verilerin beyaz, bilinmeyen verilerin ise siyah olarak adlandırılması ve beyaz veriler yardımıyla siyah verilerin beyaz verilere yakınlştırılması yani grileştirilmesini esas almaktadır. Gri sistem; gri tahmin, gri karar verme, gri ilişkisel analiz ve gri modeller olarak farklı çalışma gruplarına ayrılmaktadır. Gri tahmin sürecinde GM (n, m), n diferansiyel denklem mertebesini, m ise değişken sayısını göstermektedir. Hesaplama kolaylığı sağlaması açısından en çok kullanılan model GM (1,1) modelidir. Gri model kullanılırken yalnızca pozitif değerli veriler kullanılabilir. Gri tahmin 3 ana model aşamasına sahiptir. Bunlar; birikim üretme işlevi, ters birikim üretme işlevi ve gri modeldir. GM (1,1) modeli tek değişkene sahip birinci derecen modelini temsil etmektedir ve modelleme adımları aşağıdaki gibidir.

Formüller daha düzgün yazılmalı, karışık görünüyor.

1. **Adım:** Zaman serisini oluşturan tek değişken değerleri n büyüklüğe sahip bir sırayla  $X^{(0)}$  ham zaman serisi dizisi olsun.

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)); n \geq 4 \quad (1)$$

2. **Adım:** Ham zaman serisi dizisine Birikim Üretim İşlevi uygulanarak monoton artan  $X^{(1)}$  dizisi oluşturulur. Bu işlem zaman serisi değerlerinin kümülatif olarak toplanmasını ifade etmektedir.

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n)); n \geq 4 \quad (2)$$

$$X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

3. **Adım:** 2. adımda üretilen diziden ortalama değerler üretilerek  $Z^{(1)}$  dizisi oluşturulur.

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), \dots, z^{(1)}(n)) \quad (4)$$

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (5)$$

4. **Adım:**

$X^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$  eşitliği oluşturularak a ve b parametreleri tahmin edilir. Bu tahmin aşamasında en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır.

Denklemler matris formunda yazılmak istenirse  $Y=B\tilde{a}$  eşitliği elde edilebilir. Burada Y, B ve  $\tilde{a}$  matrisleri ifade etmektedir.

$$B = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ -z^{(1)}(4) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ X^{(0)}(4) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{pmatrix} \quad \tilde{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \quad (6)$$

$\tilde{a}$  vektörünün elde edilebilmesi için sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmelidir.

$$Y = B\tilde{a} \quad (7)$$

$$B^T Y = B^T B\tilde{a} \quad (8)$$

$$\tilde{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (9)$$

5. **Adım:**  $\frac{dx^{(1)}(k)}{dk} + ax^{(1)}(k) = b$  şeklindeki diferansiyel denklem çözülerek tahmin modeli elde edilir.

$$X^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (10)$$

Tahmin için kullanılacak son Gri model ise;

$$X^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} (1 - e^a) \quad (11)$$

olarak hesaplanır.

6. **Adım:**

Tahmin modeli kullanılarak tahmin işlemi gerçekleştirilir.

### 2.2 Yuvarlanan Gri Tahmin Modeli (YGM 1,1) (Rolling Gray Prediction Model)

Bu model oldukça basit bir algoritmaya sahip olup, verilerin her parametre tahmini için birer adım ilerletilerek tekrar hesaplama yapılmasına dayanır. Örneğin, beşinci tahmin verisi ilk dört değerden tahmin edilirken, altıncı değer hesaplanırken modelden birinci değer çıkarılarak 2,3,4 ve 5 inci değerler modele dahil edilir. Yeni bir model oluşturularak tahmin gerçekleştirilir. Bu süreç son elemana dek tekrar eder. Kullanılacak veri sayısı deneme yanılma yolu ile seçilebilir. En düşük hata oranını veren model seçilerek öngörü yapılabilir. Bu model tahmin edilecek değerlerin kendine en yakın noktalara benzeme ihtimalinin fazla olması durumu üzerine temellendirilir.

### 2.3 Model performans kriterleri (Model performance criteria)

Literatürde, tahmin modellerinin doğruluğunu belirlemek için farklı performans ölçütleri önerilmiştir. Bu çalışmada, ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve verimlilik katsayısı (CE) kullanılmıştır.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|gerçekleşen_i - tahmin_i|}{gerçekleşen_i}}{n} * 100 \quad (12)$$

Denklem hataların mutlak değerinin ortalamasının, gerçek değerlerin yüzdesi olarak gösterilmesini sağlar ve n veri sayısını ifade eder.

$$CE = 1 - \left[ \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{Ti} - T_{Gi})^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_o - T_{Gi})^2} \right] \quad (13)$$

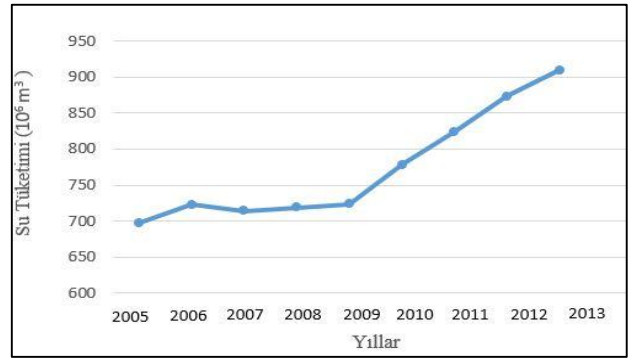
Denklemdaki ifadeler; CE=Verimlilik Katsayısı, n=toplam gözlem ve tahmin değeri sayısı,  $T_{Ti}=i$  nci tüketim tahmin değeri,  $T_{Gi}=i$  nci tüketim ölçüm değeri,  $T_o$ =Ölçülen tüketim değerleri ortalamasıdır. Verimlilik katsayısı değeri hidrolojik verilerin tahmin edilen ve gerçekleşen değerlerinin hangi ölçüde yakınlık gösterdiğini ölçen bir yöntemdir. Bu katsayı hata karelerinin ortalaması ve gerçekleşen değerlerin varyansına bağlı bir parametre olup, hata karelerinin gerçekleşen değerlerin varyansına oranının birden çıkarılması ile elde edilir. Bu oranın 1'den çıkarılması ile eksi sonsuz ve bir arasında bir değer elde edilir. Bu değer 0.5 ile 0.7 arasında olması tahminin "kabul edilebilir", 0.7-0.85 arasında olması "iyi", 0.85-1 arasında olması ise "çok iyi" olarak adlandırılabilir. [18]

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Gri tahmin modeli ile İstanbul ilinin 2005-2013 yılları arasında gerçekleşen su tüketimi değerleri kullanılmıştır. Değerler yıllık değerler olarak ölçülmüş ve 9 adettir. Gri tahmin modelinin az veriye sahip olunan ve monoton artan değerlere sahip veri setlerinde yüksek performans sağladığı bilinmektedir. Verilerin yıllara göre değişimi Şekil-1 ve Çizelge-1 de verilmektedir. Şekil-1 den de görüldüğü üzere seri bir veri hariç monoton artan özellik sergilemektedir.

**Çizelge 1.** İstanbul ili su tüketim değerleri (Water consumption values of Istanbul city)

YILLAR	SU TÜKETİM DEĞERLERİ (m <sup>3</sup> )
2005	697507414
2006	723051451
2007	714314288
2008	718346791
2009	723655328
2010	778027398
2011	823749364
2012	872936475
2013	909454169



**Şekil 1** İstanbul ili su tüketim değerleri grafiği (Water consumption in the Istanbul city)

Çizelge 2 de yıllık su tüketimi zaman serilerinin temel istatistiksel özellikleri gösterilmiştir. Değişim katsayısı 1.0 civarında çıkmaktadır. Dolayısıyla serinin varyansı oldukça yüksektir.

**Çizelge 2.** Zaman serisi istatistiksel parametreleri (Statistical parameters of the time series)

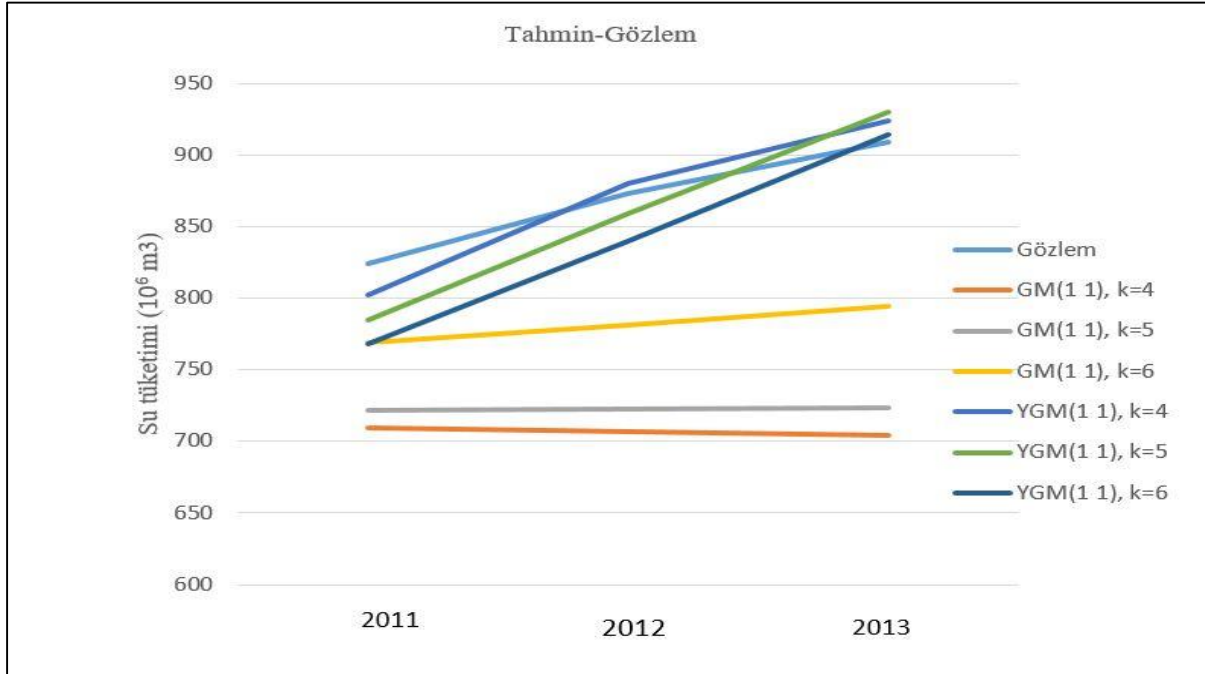
Değer	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
Su tüketimi (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	773 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	776 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0,87	-0,79

GM(1 1) ve YGM(1 1) modelleri oluşturulurken ham zaman serisinden kaç adet veri ile hesaplamalara başlanacağı k sayısı ile belirlenmiştir. İlk olarak k=4 değeri için ilk 4 veri kullanılarak GM ve YGM modeli oluşturulmuştur. Daha sonra k sayısı birer birer artırılarak yeni modeller oluşturulmuştur. Son olarak, verilerin k=6 adeti model oluşturulurken kullanılmış, geri kalan 3 veri ise test kısmında kullanılmıştır. Farklı k değerleri ile oluşturulan modellerin MAPE ve CE değerleri Çizelge-3 de verilmiştir.

GM ve YGM modelleri oluşturulurken ilk kaç verinin kullanılacağı belirten bir k değeri belirlenmiş ve farklı k değerleri için modeller oluşturulmuştur. Çizelge-3 den anlaşılacağı üzere GM(1 1) modelinde k değeri arttıkça hata değeri küçülmekte, YGM (1 1) modelinde ise k değeri arttıkça hata artmaktadır. k=4 değeri için GM(1 1) modelinin giderek azalan bir tahmin seyri sergilediği görülmektedir bunun nedeni 2006 yılından sonra tüketim değerlerinde az miktarda bir düşüş olmasıdır. 2007 yılından itibaren sürekli artışa geçen tüketim değerleri sayesinde k=5 ve k=6 için kurulan GM(1 1) modelleri daha isabetli kararlar vermektedir. YGM (1 1) modellerinden k = 4 olarak

**Çizelge 3.** Tahmin modelleri performans değerleri (Performance values of prediction models )

		GM(1 1)			YGM(1 1)		
		k=4	k=5	k=6	k=4	k=5	k=6
Yıl	Su tüketimi (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tahmin (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
2011	823	709	722	769	802	785	769
2012	872	707	723	781	880	859	840
2013	909	704	724	795	924	930	915
<b>MAPE</b>		18,49	16,65	9,93	0,04	1,35	3,28
<b>CE</b>		-14,32	-11,05	-2,28	<b>0,86</b>	0,61	0,25

**Şekil 2.** Tahmin edilen ve gerçekleşen su tüketimi (Observed and predicted water consumptions.)

seçilen model en düşük hataya sahip  $MAPE = 0,049$  ve  $CE = 0,86$  değerlerine sahip olmuştur. YGM(1 1) modelinde ise her iterasyonda tahmin edilecek değerler sadece k kadar öncesinde bulunan değerler modele dahil edildiği için başarılı tahminler ortaya çıkmaktadır

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma kapsamında, şehir hayatında çok önemli yere sahip olan su tüketim değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. İstanbul ilinin 2005-2013 yılları arasında ölçülmüş su tüketim değerleri modellenmiştir. Modelleme çalışması Gri Tahmin yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Gri tahmin modelleri genel olarak veri sayısının kısıtlı olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Bu kapsamda 9 yıllık ölçülmüş İstanbul ili

su tüketim değerlerinin ilk 6 yılı ile model oluşturulmuş kalan 3 yıllık değerler ise tahmin edilmeye çalışılmıştır. Verimlilik katsayısı ve ortalama mutlak yüzde hata sonuçları göstermektedir ki yetersiz veri durumunda ve hızlı karar verilmesi gereken durumlarda gri tahmin modelleri gelecekteki su tüketim değerlerinin tahmin edilmesinde iyi bir performans sergileyebilmektedir. Ayrıca çalışmada ulaşılan önemli sonuçlardan bir diğeri ise tahmin edilecek değerin etkilendiği değerlerin doğru şekilde belirlenmesi olmuştur. Yakın tarihli değerlerin model sonucunu önemli derece etkilediği görülmüştür. Araştırmacıların ileride yapacakları çalışmalarda, yakın geçmiş değerlerinin farklı kombinasyonları ile oluşturacakları modellerin daha başarılı tahmin sonuçları üretebileceği düşünülmektedir. Gri tahmin modellerinin diğer tahmin modellerine (bulanık mantık, yapay sinir

ağları, makine öğrenmesi modelleri vb.) entegre edilmesi sonucunda yeni birleşik modellerinde kurulabileceği düşünülmektedir. Zaman serisi değerleri ile hidrolojik parametrelerin tahmin edilmesi gün geçtikçe üzerinde bilimsel çalışmaların arttığı bir alan haline gelmektedir. Zaman serisi tahmin yöntemlerinde karmaşıklığın azaltıldığı, önışlemlerin olmadığı ve başarılı tahmin sonuçları veren yöntemlerin de hidrologlar tarafından kullanımının yaygınlaşmasının iyi neticeler vereceği öngörülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Maidment, D. R., and Parzen, E., Cascade model of monthly municipal water use, *Water Resources Research*, 20(1): 15-23, (1984).
- [2] Dziegielewski, B., and Boland, J. J., Forecasting urban water use: the iwr-main model1, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(1): 101-109, (1989)
- [3] Altunkaynak, A., Özger, M., and Çakmakci, M., Water consumption prediction of istanbul city by using fuzzy logic approach, *Water Resources Management*, 19(5): 641-654, (2005).
- [4] Altunkaynak, A., and Nigussie, T. A., Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform;based models, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6): 04017011, (2017).
- [5] Firat, M., Turan, M. E., and Yurdusev, M. A., Comparative analysis of fuzzy inference systems for water consumption time series prediction, *Journal of Hydrology*, 374(3): 235-241, (2009).
- [6] Adamowski, J., and Karapataki, C., Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecasting: evaluation of different ann learning algorithms, *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(10): 729-743, (2010).
- [7] Nasser, M., Moeini, A., and Tabesh, M., Forecasting monthly urban water demand using Extended Kalman Filter and Genetic Programming, *Expert Systems with Applications*, 38(6): 7387-7395, (2011).
- [8] Zhang, D., Ni, G., Cong, Z., Chen, T., and Zhang, T., Statistical interpretation of the daily variation of urban water consumption in Beijing, China, *Hydrological Sciences Journal*, 59(1): 181-192, (2013).
- [9] Liu, Y., Zhao, J., and Wang, Z., Identifying determinants of urban water use using data mining approach, *Urban Water Journal*, 12(8): 618-630, (2014).
- [10] Zhou, S. L., McMahon, T. A., Walton, A., and Lewis, J., Forecasting daily urban water demand: a case study of Melbourne, *Journal of Hydrology*, 236(3): 153-164, (2000).
- [11] Trivedi, H. V., and Singh, J. K., Application of grey system theory in the development of a runoff prediction model, *Biosystems Engineering*, 92(4): 521-526, (2005).
- [12] Yu, P.-S., Chen, C.-J., and Chen, S.-J., Application of gray and fuzzy methods for rainfall forecasting, *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(4): 339-345, (2000).
- [13] Ho, J.-Y., and Lee, K., Grey forecast rainfall with flow updating algorithm for real-time flood forecasting, *Water*, 7(5): 1840, (2015).
- [14] Lin, Y.-H., Chiu, C.-C., Lee, P.-C., and Lin, Y.-J., Applying fuzzy grey modification model on inflow forecasting, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(4): 734-743, (2012).
- [15] Chou, C.-m., Applying multi-resolution analysis to differential hydrological grey models with dual series, *Journal of Hydrology*, 332(1): 174-186, (2007).
- [16] Wang Yu-lu, Y. Y.-b., Yuan Xiao-hui , Zhang Miao, A modified nonlinear grey bernoulli model used for water consumption prediction, *March 2017 Singapore International Conferences*, (2017).
- [17] Deng, J.L., Control problems of grey systems, *Systems & Control Letters*, 1(5): 288-294. (1982).
- [18] Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V., River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290, (1970).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# DMLS eklemeli imalatta süreç ve maliyet modeli geliştirilmesi

## *DMLS additive manufacturing process and cost model development*

*Yazar(lar) (Author(s)): Mevlüt Yunus KAYACAN<sup>1</sup>, Nihat YILMAZ<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-3557-9537*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-8689-1048*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kayacan M. Y. Ve Yılmaz N., “DMLS eklemeli imalatta süreç ve maliyet modeli geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 763-770, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.428093

# DMLS Eklemeli İmalatta Süreç ve Maliyet Modeli Geliştirilmesi

*Araştırma Makalesi/Research Article*

**Mevlüt Yunus KAYACAN\*, Nihat YILMAZ**

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Isparta

(Geliş/Received : 29.05.2018; Kabul/Accepted : 28.08.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada son yıllarda gelişim göstererek endüstrinin temel imalat metotlarından biri haline gelen eklemeli imalat üzerine, imalat süresi, süreçleri ve maliyetler ekseninde çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Toz yatak birleştirme teknolojilerinden bir tanesi olan “Doğrudan Metal Lazer Sinterleme” (DMLS) metodunun işlem süreleri ve süreç analizinin yapılması sonucunda literatürde yer alan mevcut denklemler ve ilave olarak imalatın tüm adımlarını ve her türlü gideri hesaplamaya dâhil ederek genel bir maliyet ve süreç hesaplaması denklemi türetilmiştir. Elde edilen denklem Türkiye örneklemini üzerinden kontrol edilmiş ve Türkiye şartlarına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Geliştirilen model ile imal edilmesi planlanan parçaların DMLS ile eklemeli imalat süreleri, imalat verimliliği ve etkin tezgâh kullanımı hakkındaki verilere ulaşabilmek mümkün hale gelmiştir. Bunların yanında imalat tezgâhların amortisman hesapları ve başa baş noktası analizleri farklı işletme şartlarında incelenerek gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DMLS, eklemeli imalat, lazer toz yatak, imalat süresi, imalat maliyeti.

# DMLS Additive Manufacturing Process and Cost Model Development

## ABSTRACT

In this study, various analyzes have been carried out in terms of manufacturing time, processes and costs on the additive manufacturing, which has become one of the basic manufacturing methods of the industry. As a result of the processing times and process analysis of the "direct metal laser sintering" (DMLS) method, one of the powder bed fusion technologies, a general cost and process calculation equation has been derived, including the existing equations in the literature, plus all steps of manufacturing and all sorts of calculations. The resulting equation was checked on the sampling Turkey and a study was carried out for the conditions of Turkey. With the developed model, it is made possible to reach the data about the manufacturing time, manufacturing efficiency and effective use of the machine with DMLS parts planned to be manufactured. In addition, amortization calculations and head-to-head analyzes of manufacturing machines were carried out under different operating conditions.

**Key Words:** DMLS, additive manufacturing, laser powder bed, manufacturing time, manufacturing cost

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Eklemeli imalat 1980’li yılların başından itibaren gelişim göstermeye başlayan modern bir imalat metodudur. Zaman içerisinde uygulama alanları ve malzeme çeşitliliği açısından bu gelişim sürmüştür. Günümüzde eklemeli imalat metotları geniş malzeme yelpazesi ve imalat metoduna göre değişiklik göstermektedir. Eklemeli imalat bir parçanın katmanlara bölünerek her katmanın birbiri ardına imal edilmesi işlemidir. Bu yöntemlerle yeni bir parçanın imalatı yapılabilirken aynı zamanda hasar meydana gelmiş bir parçanın tamirati da yapılabilmektedir. Havacılık, sağlık, dişçilik, mücevherat, kalıpsız imalat, kalıp yapımı, denizcilik ve enerji materyalleri gibi önemli endüstri alanlarında etkin kullanımları ile önem kazanmaya başlamıştır. Eklemeli imalat yöntemleri; polimerler, metaller, kompozitler, seramikler gibi çok çeşitli malzemeleri kapsamaktadır.

Eklemeli imalat teknolojileri temelde geleneksel imalat metotlarından beslenmektedirler. Yaygın olarak plastik ekstrüzyon, kaynak, ergitme, sinterleme, kaplama, toz metalürjisi gibi geleneksel metotları temel almaktadır. Ancak bazı noktalardan yeni bir imalat metodu olarak incelenmeye ihtiyaç duyulmaktadır [1-3]. Bu alanlarda çok sayıda çalışma yapılmaya başlanmıştır. Malzeme olarak polimerler, metaller ve seramikler kullanılmaktadır. İmalat metoduna bağlı olarak ise birçok farklılık karşımıza çıkmaktadır. Ekstrüzyon, polimer kürlenme, püskürtmeli, toz yatak, enerji gönderimi ve levha tipi metotlar genel olarak ifade edilebilir [4].

Toz yatak teknolojisinde bir tabla üzerine katman katman toz serme ve serilen tozların uygun bir araç vasıtasıyla birleştirilmesidir. Birleştirme işlemi en çok lazer ve elektron ışınları tercih edilmektedir. Burada lazer ve elektron ışınlarının amacı ortamdaki tozlara enerji göndererek tozların birleşmesini sağlamaktır. Ayrıca gönderilen enerji miktarına bağlı olarak eritme veya sinterleme mekanizması oluşmaktadır. Her bir yöntem,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mevlutkasyacan@sdu.edu.tr



malzeme, enerji kaynağı ve birleştirme mekanizması imal edilen parça özelliklerini tamamı ile değiştirmektedir [5-7]. Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) yöntemi eklemeli imalat yöntemlerinin bir tanesidir. Bu yöntemde toz metal teknolojisi kullanılır. Çalışması esnasında, metal tozlar üzerinde bilgisayardan alınan verilere göre bir lazer aracılığıyla sinterleme işlemi yapılır [8,9]. Sinterleme işlemi toz karışımının ana malzemesinin eritilmeden sinterlenmesi prensibine dayanır. İmalat esnasında bir toz havuzundan toz serici merdane veya bıçaklar aracılığıyla imalat bölgesine istenen kalınlıkta toz serilir. Serilen toz lazerin ortama verdiği enerjiyle sinterlenir. Tüm katmanlar ardı ardına sinterlendikten sonra ürün ortaya çıkmış olur.

DMLS ile metal eklemeli imalat genellikle sınırlı sayıda parça, prototip üretimi veya deneysel amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. İmalat süresinin geleneksel imalata göre çok daha fazla vakit alması ve üretimin çok aşamalı ve yüksek maliyetli olması kullanım alanlarını daraltmıştır. Bunların yanında özel geometrilere sahip parçaların üretiminde ise alternatifi olmayan bir yöntem olarak bilinmektedir.

Eklemeli imalat tezgâhları yüksek maliyetlerle edinilmektedir. Bu nedenle etkin bir şekilde kullanılması sağlanmalıdır. Etkin bir kullanım ise gereken şartlar; uzman personel, yeterli fiziki altyapı, yüksek parça kalitesi, minimum fire oranı ve uygun fiyatlandırma olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada fiyatlandırmanın uygun seviyelerde olması durumu analiz edilmeye çalışılmıştır. Burada ise en önemli etkenlerden bir tanesi cihazın etkin kullanım süresi olarak karşımıza çıkmıştır. Bir parça maliyetinin, dolayısıyla ürün fiyatının minimuma inebilmesi için kapasite kullanımının maksimuma çıkması gereklidir [10]. Bunun yanında imalat süresinin azalması ile tüketilen enerji miktarı azalacak ve cihazın kullanılabilir süresi uzayacaktır. Fiyatlandırma konusunda bu durum da göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tasarım optimizasyonları yapılarak daha az malzeme tüketen ve daha kısa sürede tamamlanan imalatlara yönelmek fiyatı düşürecektir [11].

DMLS ile eklemeli imalatın maliyet hesaplamaları birkaç aşamaya ayrılarak incelenmektedir. Bunlar enerji maliyetleri, hammadde maliyetleri, kurulum maliyetleri, ilave işlem maliyetleri, firma giderleri, eleman giderleri, bakım giderleri, genel giderler şeklinde sıralanabilir. Yapılan çalışmalarda birbirine benzeyen bazı modeller kurulmuştur. Modeller ilk olarak imalat süresi ve sarfiyatına bağlı olarak başlamakta ve diğer değişkenlerle sürdürülmektedir [12,13]. Başka bir bulguya göre imalatların toplu olarak yapılması tek olarak yapılmasına kıyasla daha düşük maliyetler getirmektedir. Örneğin EOS M170 tezgâhında tekli imalattaki enerji tüketimi 339 MJ iken çoklu imalatta 241 MJ değerine kadar düşmüştür. Benzer şekilde tüm tezgâh tiplerinde benzer bir durum söz konusudur [14]. 1 ve 2 numaralı denklemlerde  $T_{imalat}$  ile toplam imalat süresi,  $T_{boşta}$  ile imalatın başlamasından sonra hiçbir imalat işleminin

gerçekleşmediği süre  $T_{imalat}$  hızı ile  $mm^3/s$  cinsinden imalat hızı,  $N_i$  ile katman sayısı,  $V_{toplami}$  ile imal edilen parçanın hacmini,  $T_{tozserme}$  ile toz serme işleminin süresi ifade edilmiştir. Ayrıca; “C” ile başlayan simgeler TL cinsinden maliyetleri, “W” sembolü toz ağırlığını, “E” ise enerji miktarını ifade etmektedir. Buna göre imalat süresi hesabı yaklaşımları temel olarak şöyle şekillenmektedir [11]:

$$T_{imalat} = T_{boşta} + T_{imalat} \text{ hızı} * \sum i (N_i * V_{toplami}) + T_{tozserme} \quad (1)$$

İmalat maliyeti yaklaşımları ise temel olarak şu şekildedir [15]:

$$C_{imalat} = C_{dolaylı} * T_{imalat} + W * C_{malzeme} + E_{imalat} * C_{enerji} \quad (2)$$

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma kapsamında türetilen denklemler tüm toz yatak birleştirme (PBF) tipi tezgâhları kapsamaktadır. Aynı zamanda tüm metal tozları ve tüm parça geometrileri için geçerli olmaktadır. Yapılan analizler Ti6Al4V metal malzemenin EOS M280 DMLS eklemeli imalat tezgâhı ile işlenmesi durumları özelinde gerçekleştirilmiştir. Ti6Al4V yalnızca çalışmanın sonuçlarını somut bir şekilde göstermek amacıyla örneklem olarak seçilmiştir. Tezgâhın ideal çalışma parametreleri kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma ilk olarak tezgâhın imalat süresi tayinini yapma ile başlayacaktır. Tablannın 1/10'u dolu olacak şekilde ve 65 mm yüksekliğe kadar parçalar imal edilir. Hesaplamalara başlamadan önce imalata yönelik bazı veriler esas alınmıştır. Bu veriler tezgâhın en iyi sonuç verdiği durumların analizi ile elde edilmiştir. Bilinenler ışığında hesaplamalarda kullanılacak değerler çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir. Maliyet hesabı yapılırken literatürden alınan 1 ve 2 numaralı denklemler kullanılmış, ayrıca imalat içi maliyetler, ilave işlem maliyetleri, işçilik ve şirket giderleri şeklinde 3 temel başlık altında maliyet hesaplamalarına ilaveler yapılarak yeni bir genel denklem türetilmiştir. Bunlara ek olarak imalat süresi hesaplamaya yönelik olarak ortalama kesit alanı yaklaşımı geliştirilmiştir. Sonrasında Türkiye örneklemini için birim maliyetler yeniden revize edilerek sonuçlar incelenmiştir. Sonuçlar başa baş noktası analizi ile ifade edilmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSIONS)

Giriş kısmında verilen formülasyonlar EOS M280 tezgâhı için düzenlenmiş ve geliştirilmiştir. Türkiye şartlarına göre gider kalemleri revize edilmiştir. Katman sayısı hesabı yapılırken destek yapıları boyu ile birlikte parçanın toplam boyunun, 1 katman yüksekliğine bölünmesi esas alınmıştır. Katman sayısı hesabı şu şekilde yapılmıştır:

$$N = \frac{L_p + L_s}{l_h} \quad (3)$$

Ortalama kesit alanı hesabı, destek malzemeleri dâhil toplam hacmin, toplam yüksekliğe bölünmesi ile elde edilmiştir. Hesaplama kolaylığı olması açısından değişken kesitler tek tek hesaplamaya katılmamıştır. Onun yerine ortalama bir kesit hesabı yapılması uygun görülmüştür. Hesaplama şu şekilde yapılmıştır:

$$A_{ort} = V_p / L_p \quad (4)$$

Toplam imalat süresi hesabı; bir katmanın imalatı için geçen süre, bir katmana toz sermek için geçen süre, toplam katman sayısı ve boşta bekleme süreleri bilinenleri hesaplamaya dâhil edilmiştir. “1” nolu denklemdaki ifadeler ortalama kesit alanı değişkeni ile geliştirilerek şu şekilde revize edilmiştir:

$$t_m = N \left( t_k + \frac{A_{ort}}{h_d \cdot v} \right) + t_s \quad (5)$$

İmalata ilişkin sarf edilen zaman hesabı yapılması ile tezgâhın ne kadar sürede bu işi tamamlayacağı anlaşılmıştır. Elde edilen denklemler gerçek sonuçlarla da kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar 4 farklı imalat süresi ile irdelenmiştir. İmalatlar sık karşılaşılabilecek geometrileri kapsayan şekil 1’de gösterilen geometrileri barındırmaktadır. Numuneler tablaya 2 mm yüksekliğe sahip tam dolu destek yapılar kullanılarak bağlanacaktır.

Denklem gerçek sonuçlar arasındaki hata %4-5 mertebelerindedir. Böylece hem tezgâh kullanıcıları hem de müşteriler açısından işin ne zaman bitebileceği kestirilebilecektir. Ancak yalnızca imalat süresinin bilinmesi hem imalat hizmeti sağlayan kurumun hem de müşterinin yapılan işi her yönüyle anlamasını sağlamayacaktır. Bu nedenle bir maliyet-satış fiyatı hesaplamasının yapılması zorunlu olacaktır.

Sarf edilen metal tozları maliyeti; kilogram cinsinden toz maliyetinin, toz ağırlığı ile çarpılması ile elde edilmiştir. Sarf edilen tozun ağırlığı ise yoğunluk ve hacim bilinenleri ile elde edilmektedir. Bu durumda hesaplama şu şekilde yapılmıştır:

$$M_{part} = d_p \cdot V_p \cdot M_p \quad (6)$$

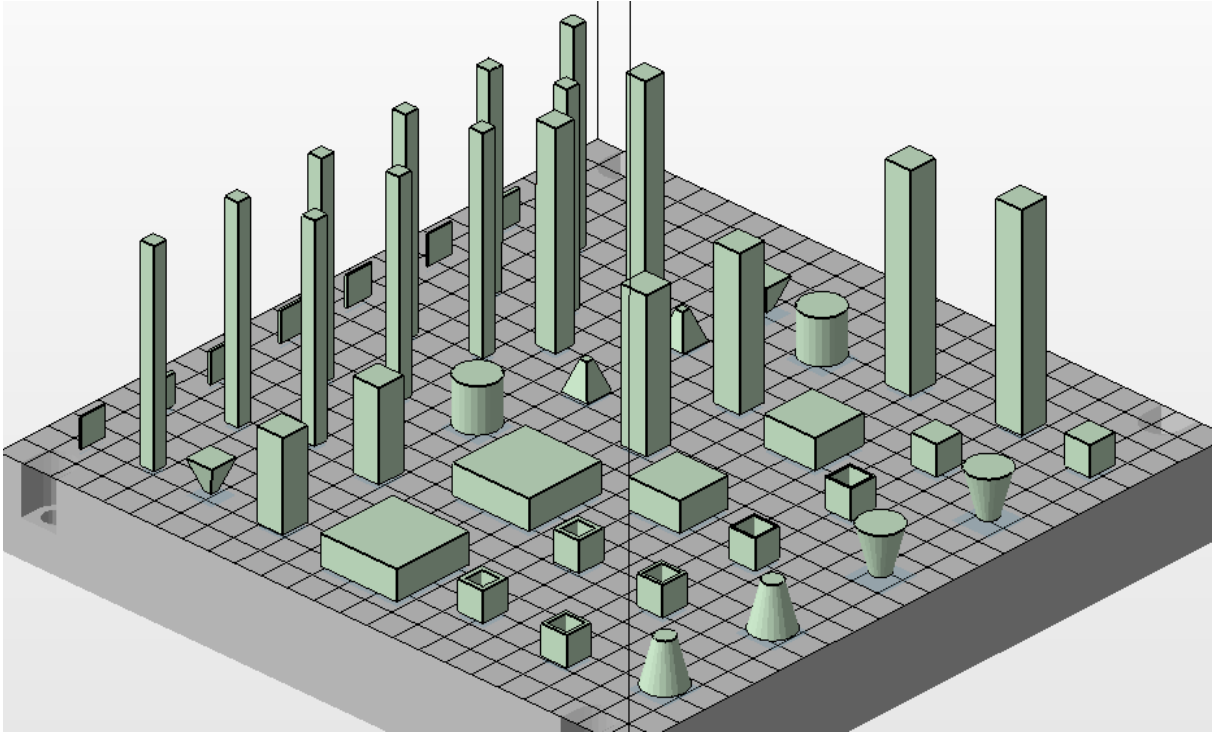
Bir seferdeki imalatın toplam maliyeti için; toz sarfiyatı, gaz sarfiyatı, enerji sarfiyatı, ilave işlem maliyetleri, işçilik gideri ve şirketin genel giderleri birlikte düşünülmüştür. Şu şekilde hesaplanmıştır:

$$M_t = (t_m \left( (G_c \cdot M_g) + (E_c \cdot M_E) \right) + (t_h \cdot M_h) + (t_b \cdot M_b) + (t_w \cdot M_w) + (d_p \cdot V_p \cdot M_p) + M_{işçi}) \cdot 1,1 \quad (7)$$

Saatlik imalat maliyeti hesabı toplam maliyetin imalat maliyetine bölünmesi ile şu şekilde hesaplanmıştır:

$$M_{saatlik} = M_t / t_m \quad (8)$$

Çizelge 1’de imalat süresi ve maliyet hesaplamalarında kullanılan temel veriler yer almaktadır.



**Şekil 1.** İmalat süresi doğrulamasında tercih edilen parça geometrileri (*Part geometry preferred for manufacturing time verification*)

**Çizelge 1.** İmalat süresi ve maliyet hesaplamalarında kullanılan temel veriler. \*:ele alınan örnek için bilinenleri, \*\*:tezgâh verileri, \*\*\*:piyasa verileri (*Fundamental data used in manufacturing time and cost calculations*)

Sembol	Birim	Miktar	Sembol	Birim	Miktar
N*	-	2233	E <sub>c</sub> **	kWh	2,4
t <sub>k</sub> **	s	8,35	G <sub>c</sub> **	Lt/saat	3
h <sub>d</sub> **	mm	0,1	M <sub>p</sub> ***	TL/kg	2750
V*	mm/s	1250	d <sub>p</sub> ***	g/cm <sup>3</sup>	4,43
h <sub>h</sub> **	mm	0,03	M <sub>g</sub> **	TL/lt	10
V <sub>p</sub> *	mm <sup>3</sup>	525280	t <sub>w</sub> **	Saat	3
L <sub>p</sub> *	mm	65	M <sub>w</sub> ***	TL/saat	120
L <sub>s</sub> **	mm	2	t <sub>n</sub> **	Saat	2
t <sub>m</sub> *	saat	44,6	M <sub>n</sub> ***	TL/saat	20
t <sub>s</sub> **	saat	0,3	t <sub>b</sub> **	Saat	0,25
A <sub>ort</sub> *	mm <sup>2</sup>	7840	M <sub>b</sub> ***	TL/saat	10
M <sub>E</sub> ***	TL/kWh	4,4	P <sub>s</sub> **	Kg/saat	0,06

Hesaplamalar sonucunda toplam imalat süresi 44,6 saat, toplam imalat maliyeti 10570 TL, saatlik imalat maliyeti 237 TL olarak bulunmuştur. Hesaplamalara işçilik maliyeti ve %15 civarında genel ve beklenmeyen giderler olacağı öngörüsü de dâhil edilmiştir.

Hesaplamalar yıllık çalışma süresi ve toplam yıl üzerinden elde edilen karın kurulum giderlerini karşılaması hesabına dayanmaktadır. Buna göre hesaplamalarda kullanılan formülasyon şu şekildedir:

**Çizelge 2.** Karlılık, amortismanlar ve başa baş noktası hesaplamaları için bilinmesi gerekenler (*What to know about profitability, depreciation and head-to-head calculations*)

Sembol	Açıklama	Birim	Miktar
M <sub>DMLS</sub>	Cihaz maliyeti (her şey dâhil)	TL	2080000
M <sub>bakım</sub>	Bakım maliyeti	TL	20000
t <sub>yıllık</sub>	Yıllık çalışma süresi	Yıl	4, 5, 6, 7, 8
t <sub>yıl</sub>	Amortisman süresi	Yıl	Hesap sonucu belirlenecek
M <sub>saatücreti</sub>	Saatlik belirlenen fiyat	TL	317, 417, 517, 617, 717
M <sub>saatkar</sub>	Saatlik belirlenen %kar	-	84, 126, 168, 211, 253
M <sub>işçi</sub>	İş süresince sarf edilen iş gücü	TL	583

Hesaplamalar için temel alınmış temel veriler çizelge 2'de verilmiştir.

DMLS sistemi etki işletme ve amortisman hesabı ve başa baş noktası analizi için gerekli veriler; Donanımsal maliyetler, bakım maliyetleri, imalat maliyetleri, yıllık çalışma süresi ve amortisman için gerekli toplam yıl olarak düşünülmüştür.

Ortalama bir imalat işi için yapılan hesaplama sonuçlarından elde edilen maliyetler ve imalat süreleri amortisman hesabı ve başa baş noktası analizleri için temel alınmıştır. Bu formüle göre

Çizelge 3 oluşturulmuştur. Tezgahın yıllık çalışma süresi arttıkça amortisman süresinin kısaldığı görülmüştür. Çalışma süresi ve toplam yıla bağlı olarak çizelge 3'te karlılık analizi sonuçları yer almaktadır

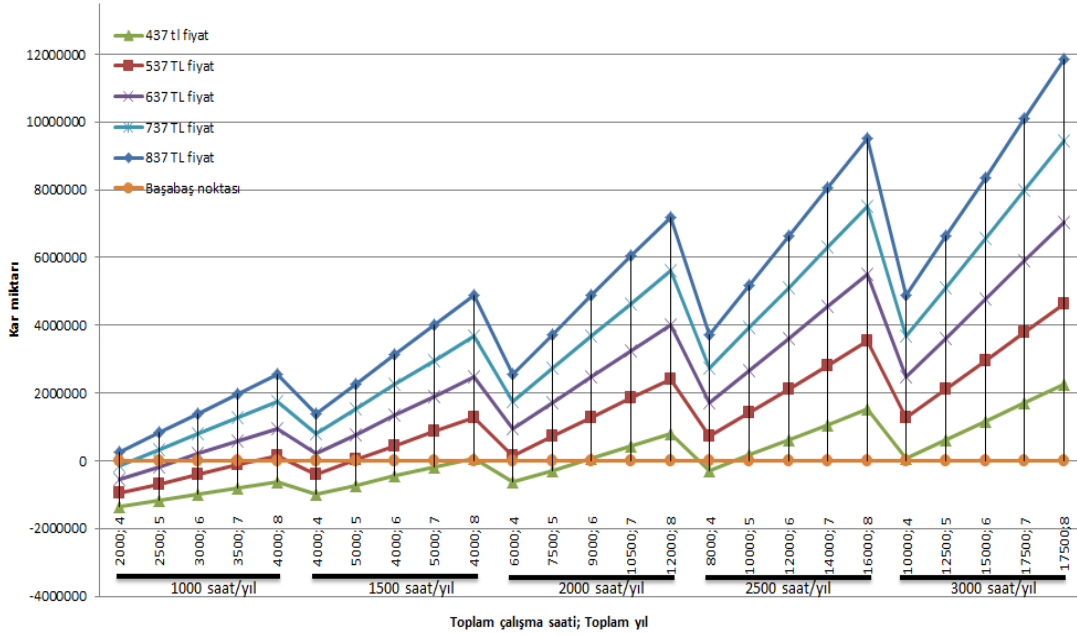
$$Kar = \left( (t_{yıl} * t_{yıllık}) * \left( M_{saatkar} - \left( \frac{M_{bakım}}{1000} \right) \right) \right) - M_{DMLS} \quad (9)$$

**Çizelge 3.** Çalışma süresi ve toplam yıla bağlı olarak karlılık analizi ( *Year dependent Working duration and profitability analysis*)

				<b>%84 kar, 437 TL fiyat</b>	<b>%126 kar, 537 TL fiyat</b>	<b>%168 kar, 637 TL fiyat</b>	<b>%211 kar,737 TL fiyat</b>	<b>%253 kar, 837 TL fiyat</b>
<b>Toplam çalışma süresi</b>	<b>Yıl</b>	<b>Yıllık çalışma süresi</b>	<b>Saatlik maliyet</b>	<b>Toplam kar</b>	<b>Toplam kar</b>	<b>Toplam kar</b>	<b>Toplam kar</b>	<b>Toplam kar</b>
<b>4000</b>	4	1000	237	-1360000	-960000	-560000	-160000	240000
<b>5000</b>	5	1000	237	-1180000	-680000	-180000	320000	820000
<b>6000</b>	6	1000	237	-1000000	-400000	200000	800000	1400000
<b>7000</b>	7	1000	237	-820000	-120000	580000	1280000	1980000
<b>8000</b>	8	1000	237	-640000	160000	960000	1760000	2560000
<b>6000</b>	4	1500	237	-1000000	-400000	200000	800000	1400000
<b>7500</b>	5	1500	237	-730000	20000	770000	1520000	2270000
<b>9000</b>	6	1500	237	-460000	440000	1340000	2240000	3140000
<b>10500</b>	7	1500	237	-190000	860000	1910000	2960000	4010000
<b>12000</b>	8	1500	237	80000	1280000	2480000	3680000	4880000
<b>8000</b>	4	2000	237	-640000	160000	960000	1760000	2560000
<b>10000</b>	5	2000	237	-280000	720000	1720000	2720000	3720000
<b>12000</b>	6	2000	237	80000	1280000	2480000	3680000	4880000
<b>14000</b>	7	2000	237	440000	1840000	3240000	4640000	6040000
<b>16000</b>	8	2000	237	800000	2400000	4000000	5600000	7200000
<b>10000</b>	4	2500	237	-280000	720000	1720000	2720000	3720000
<b>12500</b>	5	2500	237	170000	1420000	2670000	3920000	5170000
<b>15000</b>	6	2500	237	620000	2120000	3620000	5120000	6620000
<b>17500</b>	7	2500	237	1070000	2820000	4570000	6320000	8070000
<b>20000</b>	8	2500	237	1520000	3520000	5520000	7520000	9520000
<b>12000</b>	4	3000	237	80000	1280000	2480000	3680000	4880000
<b>15000</b>	5	3000	237	620000	2120000	3620000	5120000	6620000
<b>18000</b>	6	3000	237	1160000	2960000	4760000	6560000	8360000
<b>21000</b>	7	3000	237	1700000	3800000	5900000	8000000	10100000
<b>24000</b>	8	3000	237	2240000	4640000	7040000	9440000	11840000

Başa baş noktası hesabında, toplam hesabının 0 TL olarak bulunduğu nokta esas alınmıştır. Bu noktada, sistemin içerisindeki toplam gelir ve giderler dengelenmiştir. Bundan sonraki kısımda ise sistem kar üretmeye başlayacaktır. Ancak makul durumlar düşünülmelidir. Yapılan çalışmada sistemin kendini amorti etme süresi 5 yıl olarak düşünülmüştür. Çünkü böyle bir sistemin ekonomik çalışma ömrü yaklaşık 15 sene olacaktır [16].Sistemin yüksek karlılığı düşünüldüğünde ilk 5 yıl içinde kendini amorti edip sonrasında kar üretmeye başlaması yeterli olacaktır. Şekilde başa baş noktası hesaplama sonuçları gösterilmiştir. 8 yıla kadar bir hesap yapılmıştır. Daha uzun süreli yapılacak hesaplamaların çok fazla bilinmezlik barındıracak olması nedeniyle 8 yıldan

sonrası hesaplanmamıştır. Tüm hesaplama durumlarında 5 yıl içinde kendini amorti etme ve 8 yılda kara geçme durumu görülmektedir. 8 yılın sonunda 2-12 milyon TL civarında kar elde etmek mümkün hale gelmektedir. Ancak fiyatların düşük tutulduğu durumda müşteri tercih oranı artacağı için en ulaşılabilir hedef olarak, 537 TL fiyat belirlemesi ve yıllık 2000 saat ( 83 aktif gün) çalışma ile 8 yılın sonunda 2,4 milyon TL kar elde etmek düşünülmelidir. Bu durumda yıllık ortalama kar elde etmek mümkün olacaktır. Tezgâhın ekonomik ömrü boyunca kapsamlı hesaplamalar yapılabilmesi durumunda ise ortalama kar miktarları çok daha yüksek seviyelere ulaşacaktır. Şekil 2’de başa baş noktası analizi ve karlılık durumları gösterilmiştir



Şekil 2. Başa baş noktası analizi ve karlılık grafiği ( Head-to-head point analysis and profitability chart)

İmalat metodunu maliyetler ve karlılık açısından dinamik olarak da ele almak önem arz edecektir. Çünkü amortisman gibi uzun süreçler isteyen hesaplamalarda paranın zaman değerinin göz önüne alınarak değerlendirilmesi yapılması gerekecektir. Böylece maliyet analizleri dinamik olarak yapılmış olacaktır. Dinamik yöntemlerden gelecek değer yöntemi ile ilerleyen yıllarda ne kadar kar elde edilebileceği daha düşük hata ile hesaplanabilecektir. Ancak böyle bir hesaplamada da çeşitli sapmalar olacaktır. Hesaplama yıllık faiz endekslü bir yöntemle dayanmaktadır. Yani yıllık faizlerin bugünkü değerleri üzerinden hesaplanmaktadır. Ancak faizler de zaman içerisinde çok değişken olabilmektedir. Hesaplama denklem 10'da gösterilmiştir [17]. F gelecek değeri, P bugünkü değeri, i yıllık faiz oranını, n ise toplam yılı göstermektedir.

$$F = P * (1 + i)^n \quad (10)$$

Baş baş noktası hesaplamaları ile gelecek değer bulunurken hem yıllık gelirler hem de yıllık giderler hesaplamaya dâhil edilmelidir. Bu durumda baş baş noktası hesaplamalarında yıllara göre elde edilecek gelecek değerler çizelge 4'te gösterilmiştir. Yıllık faiz %12 olarak kabul edilmiştir. Gelecek değer katsayısı değerleri ile kar miktarları çarpılarak gelecekteki kar varsayımı değerleri elde edilecektir.

**Çizelge 4.** Gelecek değer yaklaşımı ile dinamik gelecek değer katsayısı ( Dynamic profitability analysis with future value approach)

Yıl	Gelecek değer katsayısı
4	1,57
5	1,76
6	1,97
7	2,21
8	2,47

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yapılan çalışma sonucunda mevcut tezgâh kullanıcıları, imalatçılar, hizmet alacak müşteriler ve araştırmacılar açısından çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. İmalatın en uygun maliyetle hızlı bir şekilde tamamlanması için denklem 3, 4 ve 5'ten anlaşılacağı üzere;

Tablaya yerleştirilen parça sayısı arttıkça birim parça imalatı geçen süre kısalmaktadır. Böylece imalat maliyetleri de azalmış olacaktır.

İmal edilecek parçaların dikey olarak yerleştirilmesi katman sayısını artırdığı için denklemlerden anlaşılacağı üzere imalat süresi artacaktır. Parçalar, geometrilerinin imkân verdiği sürece yatay olarak yerleştirilmesi daha avantajlı olacaktır.

Denklem 6, 7, 8, 9, Çizelge 3 ve Şekil 2'de gösterilen sonuçlar değerlendirildiğinde:

- Tezgâhın etkin kullanılması ile maliyetler düşecek ve hem kullanıcılar hem de müşteriler açısından makul fiyatlar ve kar oranları elde edilmiş olacaktır. Yani yıllık çalışma sürelerinin artması ile kar elde etme hızında da artış sağlanmış olacaktır. Böylece tezgâh amortismanları daha erken tamamlanmış olacaktır.

437 TL fiyat için 4 yılda 10000 saat, 537 TL fiyat için 4 yılda 6000 saat, 637 TL fiyat için 4 yılda 4000 saat, 737 TL fiyat için 4,5 yılda 2500 saat, 837 TL fiyat için 4 yılda 2000 saat çalışma ile sistemin amortismanı en kısa sürede tamamlanacak ve sonrasında kara geçilecektir. Bu değerler baş baş noktası değerleridir. Sonrasında ise yüksek kar miktarlarına erişmek mümkün hale gelmeye başlayacaktır. 537 TL/saat fiyatlandırması yapılarak yılda 1000 saat yani aktif olarak 41,6 gün tezgâh çalışması cihaz amortismanlarının tamamlanmasını sağlayacaktır. 537 TL fiyat düşünülürken, minimum ve maksimum değil ara bir değer olması ve tezgâh sahipleri açısından ulaşılabilir bir hedef olması nedeniyle dikkate alınmıştır. Fiyatların yüksek olması müşteri potansiyelini

azaltırken, fiyatların düşük olması sistemin amortisman süresini uzatacaktır. Bu nedenle ara bir değer olan 5 yıl düşünülmüştür. Bu düşünce aynı zamanda tezgâhın ekonomik ömrü değerlendirildiğine 1/3'lük ömrüne tekabül etmektedir.

- Kullanım alanlarının ve sıklığının artması ile yıllık kullanım sürelerinin artması sonucunda 537 TL fiyat ve yılda 3000 saat çalışma ile 5. yılsonunda 2,12 milyon TL tutarında net kar elde etmek de mümkün hale gelecektir. 8. yılsonunda ise 4,64 milyon TL tutarında kar elde edileceği hesaplaması yapılmıştır.
- Tezgâh sahiplerinin fiyatları ortalama bir değerde tutmaları iş başına düşen kar miktarına azaltıyor olsa da daha fazla müşteri çekileceği için kar tutarının artacağı görülmüştür.

Yapılan çalışma kapsamında, bu teknolojinin yeni gelişim gösteren ve ilgi görmeye başlayan bir yöntem olması dikkate alınmıştır. Önümüzdeki süreçlerde sıklıkla bu tezgâhların satın alınması ve kullanımı görülecektir. İmalatçı ve hizmet talebinde bulunacak kişi ve kurumların karşılıklarına çıkacak maliyetler ve fiyat öngörülerini açısından önemli bir kaynak ve rehber olan bu çalışma gerçekleştirilmiştir

#### KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

Sembol	Açıklama	Birim
$E_c$	Enerji tüketimi	kWh
$G_c$	Gaz tüketimi	Lt/saat
$M_p$	Toz maliyeti	TL/kg
$d_p$	Parça yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>
$M_g$	Gaz maliyeti	TL/lit
$t_w$	Tel erozyon işlem süresi	Saat
$M_w$	Tel erozyon maliyeti	TL/saat
$t_h$	Isıl işlem süresi	Saat
$M_h$	Isıl işlem maliyeti	TL/saat
$t_b$	Bilyalı dövme süresi	Saat
$M_b$	Bilyalı dövme maliyeti	TL/saat
$M_t$	Toplam maliyet	TL
$M_{part}$	Parça maliyeti	TL
$M_E$	Elektrik fiyatı	TL/kWsaat
$P_s$	Toz sarfiyatı	Kg/saat
$N$	Katman sayısı	-
$t_k$	Katman serme süresi	s
$h_d$	Tarama mesafesi	mm
$V$	Tarama hızı	mm/s
$l_h$	Katman kalınlığı	mm
$V_p$	Parça hacmi	mm <sup>3</sup>
$L_p$	Parça yüksekliği	mm
$L_s$	Support yüksekliği	mm
$t_m$	İmalat süresi	saat
$t_s$	Makine ön bekleme süresi	saat
$A_{ort}$	Ortalama kesit alanı	mm <sup>2</sup>

$M_{DMLS}$	Cihaz maliyeti (her şey dâhil)	TL
$M_{bakım}$	Bakım maliyeti (1000 saatlik)	TL
$t_{yıllık}$	Yıllık çalışma süresi	Yıl
$t_{yıl}$	Amortisman süresi	Yıl
$M_{saatücreti}$	Saatlik belirlenen fiyat	TL
$M_{saatkar}$	Saatlik belirlenen kar miktarı	-
$M_{işçi}$	İş süresince sarf edilen iş gücü	TL

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. DebRoy T., Wei H.L., Zuback J.S., Mukherjee T., Elmer J.W., Milewski J.O., Beese A.M., Wilson-Heid A., De A., Zhang W., "Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties", *Progress in Materials Science journal*, 92: 112–224, (2018).
2. Gu D. D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R., "Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms", *International Materials Reviews*, 57: 133–164, (2012).
3. Herzog D., Seyda V., Wycisk E., Emmelmann C., "Additive manufacturing of metals", *Acta Materialia*, 117: 371–392, (2016).
4. Wong K. V., Hernandez A., "A Review of Additive Manufacturing", *International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering*, 2012: 1–10, (2012).
5. Everton S. K., Hirsch M., Stravroulakis P., Leach R. K., Clare A. T., "Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing", *Materials and Design*, 95: 431–445, (2016).
6. Frazier W. E., "Metal additive manufacturing: A review", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23: 1917–1928, (2014).
7. Kayacan M. Y., Sayer S., Ürün geliştirme sürecinde hızlı prototip uygulamaları. *Plastik Dergisi*, 125: 122–130, (2014).
8. ASTM International F2792-12a, "Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies", (2013).
9. Manfredi D., Calignano F., Ambrosio E. P., Krishnan M., Canali R., Biamino S., Pavese M., Atzeni E., Luliano L., Fino P. Badini C., "Direct Metal Laser Sintering: An additive manufacturing technology ready to produce lightweight structural parts for robotic applications", *Metallurgia Italiana*, 105: 15–24, (2013).
10. Baumers M., Tuck C., Wildma, R., Ashcroft I., Rosamond E., Hague R., "Combined Build-Time, Energy Consumption and Cost Estimation for Direct Metal Laser Sintering", *Proceedings of Twenty Third Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium—An Additive Manufacturing Conference*, 53: 1689–1699, (2012).
11. Barclift M., Joshi S., Simpson T., Dickman C., "Cost Modeling and Depreciation for Reused Powder Feedstocks in Powder Bed Fusion Additive Manufacturing", *Solid Freeform Fabrication Symposium*

- *An Additive Manufacturing Conference*, 2007–2028, (2016).
12. Baumer M., Dickens P., Tuck C., Hague R., “The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push”, *Technological Forecasting & Social Change*, 102: 193–20, (2016).
  13. Amini M., “Time Estimation Additive Manufacturing”, *Master of Science in technology*, Texas State University, (2014).
  14. Thomas, D., Gilbert, S., “Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing - A Literature Review and Discussion”, *NIST Special Publication*, 1176: 1–77, (2014).
  15. Piili H., Happonen A., Väistö T., Venkataramanan V., Partanen J., “Cost Estimation of Laser Additive Manufacturing of Stainless Steel”, *Physics Procedia*, 78: 388–396, (2015).
  16. Sahu A. K., Narang, H. K., Sahu, A. K., Sahu, N. K., “Machine economic life estimation based on depreciation-replacement model”, *Cogent Engineering*, 3: 1–15, (2016).
  17. Üçüncü K.,”Mühendislik Ekonomisi”, *KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, 44-46, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) kontrplaklarının bazı teknolojik özellikleri üzerine dikim aralığının etkisi

## *Effect of plantation spacings on some technological properties of alder (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) plywood*

Yazar(lar) (Author(s)): Halime GÜDÜL<sup>1</sup>, İsmail AYDIN<sup>2</sup>, Aydın DEMİR<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6849-3153

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0152-7501

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-8797-5078

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** GÜDÜL H., AYDIN İ. ve DEMİR A., “Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) kontrplaklarının bazı teknolojik özellikleri üzerine dikim aralığının etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 771-777, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.446880



# Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Kontrplaklarının Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Dikim Aralığının Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Halime GÜDÜL, İsmail AYDIN\*, Aydın DEMİR**

Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

(Geliş/Received : 23.07.2018 ; Kabul/Accepted : 07.09.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada ülkemizde özellikle Karadeniz bölgesinde doğal bir yayılış gösteren kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) odunundan üretilen kontrplakların bazı teknolojik özellikleri üzerine dikim aralıklarının etkileri araştırılmıştır. Kontrplak levhalarının üretiminde, Giresun (Erimez) ve Maçka (Yeniköy) bölgelerinin beş farklı dikim aralıklarından (1x1, 2x2, 3x3, 4x4 ve 5x5 metre) alınan kızılğaç tomrukları kullanılmıştır. Üretilen kontrplakların mekanik özelliklerinden TS EN 314-1'e göre çekme-makaslama direnci, TS EN 310'a göre eğilme direnci ve elastikiyet modülü; fiziksel özelliklerinden, TS EN 323'e göre yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, dikim aralıkları azaldıkça kontrplakların yoğunluk ve mekanik direnç değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dikim aralığı, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, kızılğaç, kontrplak.

## Effect of Plantation Spacings on Some Technological Properties of Alder (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Plywood

### ABSTRACT

In this study, it was investigated that the effects of plant spacing on some technological properties of plywood panels manufactured from alder logs. In the manufacture of plywood, it was used alder logs taken from five different plantation spacing (1x1, 2x2, 3x3, 4x4 and 5x5 meter) of Giresun (Erimez) and Maçka (Yeniköy) regions. Some mechanical properties such as shear strength, bending strength, modulus of elasticity of the plywood panels were conducted according to TS EN 314-1, TS EN 310, respectively. Physical properties such as density were determined according to TS EN 323. As a result of the study, it was determined that the density and mechanical strength values of plywood panels increased with decreasing plantation spacing.

**Keywords:** Plant spacing, physical properties, mechanical properties, alder, plywood.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

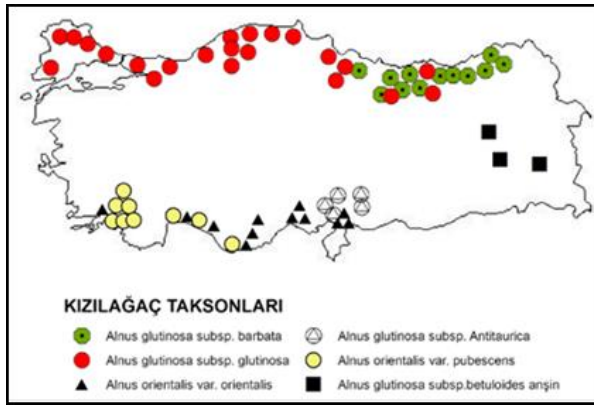
Kontrplak endüstrisinde kullanılan ana hammadde, ağaç malzemeden soyularak elde edilen kaplama levhalarıdır. Bu nedenle ağaç malzemenin özellikleri elde edilecek kontrplağın özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir [1]. Ayrıca aynı ağaç türlerinden, hatta aynı ağacın çeşitli yerlerinden alınan odun örnekleri karşılaştırıldığında bunların anatomik yapı, fiziksel karakteristikler ve kimyasal yapı bakımından farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Ağaç malzemenin belli bir maksat için uygunluğunu veya kalitesini belirleyen parametreler, bu malzemenin anatomik yapısını ve buna bağlı olarak fiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden biri, ya da birkaçının değişmesi ile etkilenmektedir [2]. Örneğin, aynı ağaç türleri arasında yoğunluk farklılıkları olabilmekte, yoğunlukta odunun ve dolayısıyla ondan üretilen kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Bununla birlikte,

ağaç türünün seçimi genel, yapısal ve dekoratif kontrplak üretimi için son derece önemli olmaktadır. Ayrıca kontrplak üretiminde en yaygın problemlerinden biri yeterli ve uygun nitelikteki hammadde teminidir. Çünkü kontrplak üretimi için kullanılacak tomrukların, diğer odun işleme endüstrilerinde kullanılan tomruklardan daha kusursuz ve daha geniş çapta olmaları gerekir. Kontrplak üretiminde kullanılan tomrukların çaplarının en az 35 cm olması gereklidir. Örneğin, Türkiye ve Avrupa'da kontrplak üretimi için kullanılan en önemli ağaç türlerinden biri olan kayının bu çapa ulaşması için geçen süre 120 yıl iken kızılğaçlar için bu süre 60 yıldır [3]. Bu nedenlerden dolayı kontrplak üretiminde hızlı gelişen türlere yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Araştırmaya konu olan Kızılağaçlar (*Alnus Mill.*) Türkiye'de geniş alanlara yayılmış, suyun ve nemin bulunduğu yerlerde, saf meşçereler oluşturmuş, yerine göre son derece hızlı büyüyen ve iyi gövde yapısıyla, ekonomiye katkısı olabilecek ağaçlardandır [4].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : iaydin@ktu.edu.tr

Türkiye’de geniş alanlara yayılmış, hızlı gelişen bir tür sayılan Kızılağaç, ülkemiz ormanlarının yaklaşık olarak %1’ini oluşturmaktadır. Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey. ) Yalt.], Doğu Karadeniz Bölgesi için Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.], Doğu Karadeniz Göknarı [*Abies nordmanniana* (Stev.) Matt.], Sarıçam [*Pinus sylvestris* (L.)] ve Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky] türlerinden sonra yayılış bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Kızılağacın Giresun, Trabzon, Artvin Orman Bölge Müdürlükleri’nde 43.853 hektar saf ve 63.894 hektar karışık bükler halinde yayıldığı bildirilmektedir [5]. Kızılağaç taksonları ülkemizde 59484,5 ha normal 35619 ha bozuk olmak üzere toplam 95103,5 ha alanda yayılış göstermektedir [6].



Şekil 1. Kızılağaç türlerinin Türkiye’deki yayılışı (Area of alder species in Turkey)

Dikim aralıkları her şeyden önce ağaçların yetiştirme ortamından faydalanma derecesini belirler. Belirli limitlerdeki su ve besin maddesi ile maksimum güneş ışığının mevcudiyeti, ağaçların gelişimi için istenilen bir durumdur. Geniş aralıklarla dikilmiş ağaçlar, sık aralıklarla dikilmiş ağaçlardan daha hızlı büyümektedir. Büyüme hızı ise odun yoğunluğu ve direnç özellikleri üzerinde etkili olmaktadır [7]. Dünyada uygulanan dikim aralığı rejimleri, üretilen odunun miktarını ve kalitesini etkilemesinden dolayı, ağaçların gelişmesinde önemli bir rol oynadığı da bilinmektedir [8]. Bazı yumuşak ağaç türleri ile ilgili literatürdeki çalışmalarda, dikim

aralığının mekanik özellikleri ve hacim artımını etkileyebileceği belirtilmiştir. Yakın aralıklarla dikilmiş plantasyonların, ahşabın yoğunluğu ve sertliği üzerinde olumlu etkiler gösterdiği tespit edilmiştir [9-13]. Bu olumlu etkinin, dar dikim aralıklarında yetişen ağaçların yükseklik ve çap artımından ileri geldiği düşünülmektedir. Euler’in burkulma teorisine dayanarak, rekabetçi ortamlardaki uzun, ince ağaçlar, artan kendi ağırlığı nedeniyle bükülmeye karşı koymak için daha sert daha yoğun ağaç malzeme meydana getireceği belirtilmektedir [14-16]. Dikim aralığı ayrıca, kereste işletmeleri için ekonomik değeri olan ağaçların düzgünlüğünü de etkileyebilir. Hem kereste veriminin hem de kalitesinin, çarpık gövdelerden büyük ölçüde etkilendiği [13-17], düzgün olmayan gövdeler nedeniyle kereste biçme işleminde kabaca yüzde 10'luk değer kayıplarının olduğu belirtilmektedir [18]. Bununla birlikte, dikim aralığının gövde düzgünlüğü üzerindeki etkisi her zaman belirgin olmamasına rağmen, dar aralıklarla dikilen plantasyonlardaki ağaçların daha iyi gövde düzgünlüğü gösterdiği ve hacim iyileşmesini sağladığı literatürde belirtilmiştir [19-23].

Literatürdeki dikim aralığıyla ilgili çalışmaların genel olarak masif malzeme üzerinde yapıldığı tespit edilmiştir. Bu dikim aralıklarının etkisinde kalacak tomruklardan elde edilen soyma kaplamalardan üretilen kontrplaklarla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışma ile ülkemizde hızlı gelişen ve değerli bir ağaç türü olan kızılağacın kontrplak sektöründe değerlendirilirken kurulacak plantasyonlarındaki dikim aralıklarının belirlenmesi ve dikim aralığının kızılağaç kontrplaklarının bazı teknolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılarak hem literatüre hem de kontrplak sektörüne katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi’nin 2 farklı ilinden, sakallı kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) tomrukları taze kesim yapılarak ormanda boylanmıştır. Tomruklar: Giresun (Erimez) ve Trabzon (Maçka-Yeniköy) illerinden temin edilmiştir. Tomruklar,

Çizelge 1. Deneme ağaçlarına ait tanıtıcı bilgiler (Information about the trial trees)

Bölge/Yer	Aralık mesafesi (m)	Boy (m)	Çap (cm)	Yaşı	Bakı	Eğim (%)	Yeryüzü şekli	Yükselti (m)
Giresun/Erimez	1x1	12.30	17	29	Kuzey Doğu	20	Orta Yamaç	1250
	2x2	12.50	17.5					
	3x3	11.90	17					
	4x4	12.00	17					
	5x5	15.80	26					
Maçka/Yeniköy	1x1	15.30	14	29	Kuzey Batı	40	Üst Yamaç	1250
	2x2	19.50	19.5					
	3x3	16.30	23					
	4x4	17.00	24					
	5x5	19.00	31					

kesilen ağaçların 2 ile 4 m yüksekliği arasında kusursuz silindirik yapıda 1.5 m'lik gövde kısımlarından alınarak numaralandırılmış ve Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde bulunan kontrplak pilot tesisine taşınmıştır. Tomruklar yaklaşık 2 hafta suda depolandıktan sonra 2 mm kalınlığında soyma kaplamalar üretilmiştir. Soyma kaplama levhaları tek tek işaretlenip adı geçen pilot tesiste 110 °C sıcaklık uygulanarak % 3-5 rutubete kadar kurutulmuşlardır. Giresun ve Trabzon'dan alınan deneme ağaçlarına ait tanıtıcı bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada, 2 mm kalınlığında 45x45 cm ebatlarında hazırlanan ve 110 °C sıcaklıkta kurutulmuş kaplamalardan %55' lik Üre Formaldehit (ÜF) ve Melamin Formaldehit (MF) tutkalları kullanılarak; 3 tabakalı kontrplak levhaları üretilmiştir. Kaplamaların tutkallanması, 4 silindirik tutkallama makinesinde gerçekleştirilmiş ve m<sup>2</sup>'ye 160 g tutkal sürülmüştür. Tutkallama sonrası hazırlanan levha taslakları presleme alanı 70x89 cm olan tek katlı hidrolik preste preslenmiştir. Preslemede: ÜF ve MF tutkalları için 110 °C pres sıcaklığı ve 12 kg/cm<sup>2</sup> pres basıncı uygulanmıştır. Pres süresi ise 6 dk olarak uygulanmıştır. Üretilen levhalarının, iç ve dış tabakaları arasındaki sıcaklık ve rutubet farkının giderilmesi için,

üretimden sonra bu levhalar 1 hafta süreyle istif latası kullanılmaksızın üst üste istiflenmiştir. Böylece tabakalar arasındaki rutubet dengesi sağlanmış olup levhalardaki şekil değişimleri önlenmiştir.

Üretilen kontrplakların TS EN 314-1'e [24] göre çekme-makaslama direnci, TS EN 310'a [25] göre eğilme direnci ve elastikiyet modülü; TS EN 323'e [26] göre yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kızılğaçtan üretilen kontrplakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine dikim aralığı etkisini ortaya koymak için her bölge ve tutkal türleri için ayrı ayrı olarak basit varyans analizi yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

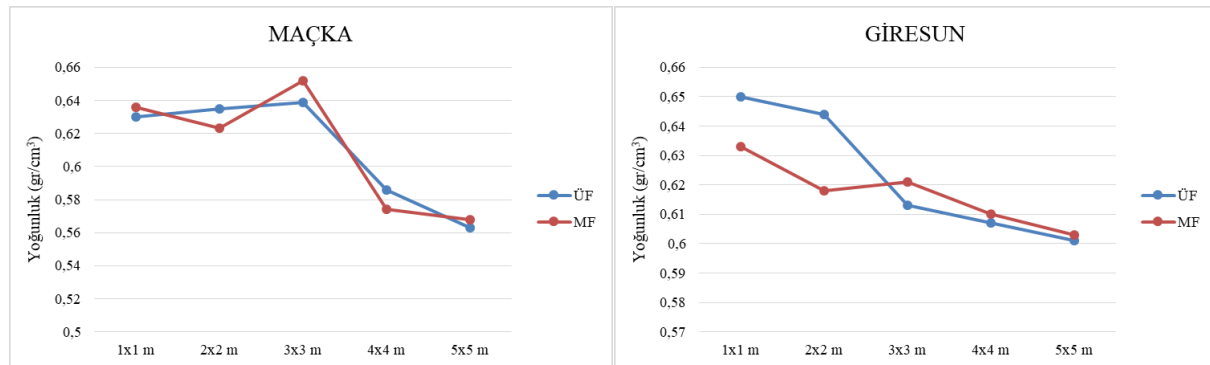
Üretilen kontrplak levhalarına ait ortalama yoğunluk değerleri ve yapılan istatistiksel analiz sonucu elde edilen homojenlik grupları Çizelge 2'de verilmiştir. Elden edilen sonuçlara ait grafiksel değişim ise Şekil 2'de verilmiştir.

Dikim aralığının kontrplakların yoğunluk değerleri üzerine etkisine bakıldığında Giresun bölgesi için ÜF ile üretilen kontrplak levhalarının yoğunluk değeri; en yüksek dikim aralığı 1x1 ve 2x2, en düşük 5x5 metre olan

Çizelge 2. Ortalama yoğunluk değerleri ve homojenlik grupları (Mean values of density and their homogeneity groups)

Tutkal Türü	Dikim Aralığı (m)	MAÇKA		GİRESUN	
		Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	HG	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	HG
ÜF	1x1	0,630	c	0,650	c
	2x2	0,635	c	0,644	c
	3x3	0,639	c	0,613	b
	4x4	0,586	b	0,607	ab
	5x5	0,563	a	0,601	a
MF	1x1	0,636	c	0,633	c
	2x2	0,623	b	0,618	b
	3x3	0,652	d	0,621	b
	4x4	0,574	a	0,610	ab
	5x5	0,568	a	0,603	a

HG: Homojenlik grupları



Şekil 2. Üretilen kontrplakların dikim aralıklarına göre yoğunluk değişimleri (Changes in density based on plantation spacings)

gruplarda, tutkallı örneklerde ise MF de 1x1 dikim aralığı grubunda bulunmuştur. Maçka bölgesinde, ÜF ile üretilen kontrplakların en yüksek yoğunluk değerleri 1x1, 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı gruplarında elde edilirken, MF de ise 3x3 metre dikim aralığı grubundan elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, dikim aralıklarının artmasıyla birlikte yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir [8, 13]. Literatürde, dikim aralığının yıllık halka genişliğini önemli derecede etkilediği belirtilmektedir [27]. Literatürde farklı dikim aralıklarında yetişen Japon Sediri odununun üzerinde yapılan çalışma sonucunda geniş dikim aralıklarında yetişen odunların, ilkbahar odunu oranının yüksek; yaz odunu oranının düşük, yıllık halkaların daha geniş ve yıllık halka geçişlerinin belirsiz olduğu tespit edilmiştir [28]. Aynı çalışmada dar dikim aralıklarında, ilkbahar odunu daha dar ve yaz odunu ile ilkbahar odunu arasındaki geçişin belirgin olmasından dolayı dar dikim aralıklarındaki ağaçların yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, yaz odunu iştirak oranının artmasıyla birlikte, yoğunluk değerlerinin de arttığı literatürde belirtilmektedir [29]. Geniş yıllık halkaların ve geniş ilkbahar iştirak oranının da yoğunluğu azalttığı bilinmektedir [30].

Üretilen kontrplak levhalarına ait çekme-makaslama direnci eğilme direnci ve elastikiyet modülü ortalama değerleri ve homojenlik grupları Çizelge 3’de verilmiştir. Elden edilen sonuçlara ait grafiksel değişimler ise Şekil 3-5’de verilmiştir.

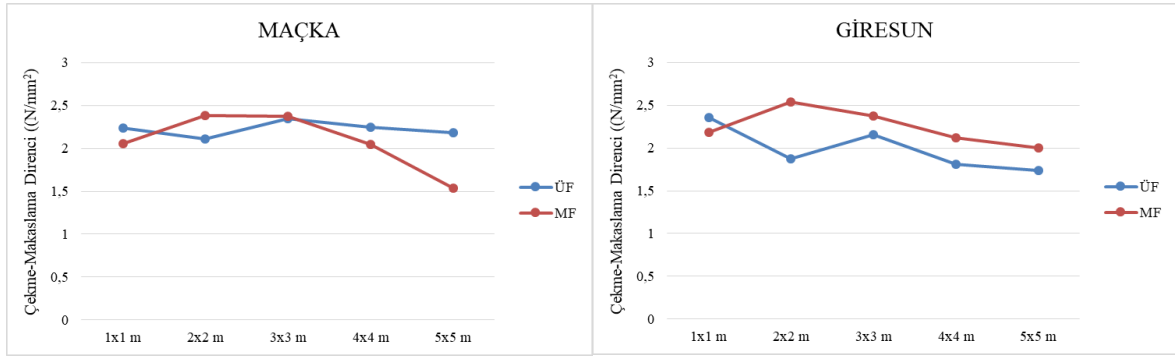
Dikim aralığının kontrplakların çekme-makaslama direnci üzerine etkisine bakıldığında, Giresun ve Maçka bölgelerinin MF ile üretilen kontrplak levhalarında 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı; Giresun bölgesinin ÜF ile üretilen kontrplak levhalarında 1x1 metre dikim aralığı grupları en yüksek çekme makaslama direnci değerleri vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek çekme makaslama direnci değerlerinin dar dikim aralığı gruplarında bulunduğu görülmüştür. Bu grupların yoğunluk değerlerinin de yüksek olduğu yaptığımız bu çalışmada tespit edilmiştir. Odunun yoğunluğu arttıkça yapışma direncinin de iyileştiği literatürde belirtilmektedir [31]. Bu kapsamda yoğunluk değerleri yüksek olan bu grupların yapışma direnci değerlerinin de yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Odunun yoğunluğuna bağlı olarak değişim gösteren kontrplak yoğunluğundaki değişimin yapışma direnci üzerine önemli bir etkisi olduğu bilinmekte ve yüksek levha yoğunluğunun yüksek yapışma direnci sağladığı belirtilmektedir [32].

Dikim aralığının kontrplakların eğilme direnci üzerine etkisine bakıldığında Giresun bölgesinde, ÜF ile üretilen kontrplak levhalarının en yüksek eğilme direnci değerleri 2x2 metre dikim aralığı grubundan; MF de ise 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı gruplarından elde edilmiştir. Maçka bölgesi için ise, ÜF ile üretilen kontrplak levhalarının en yüksek eğilme direnci değerleri, 1x1, 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı gruplarından; MF ile üretilenlerde ise 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı gruplarından elde edilmiştir.

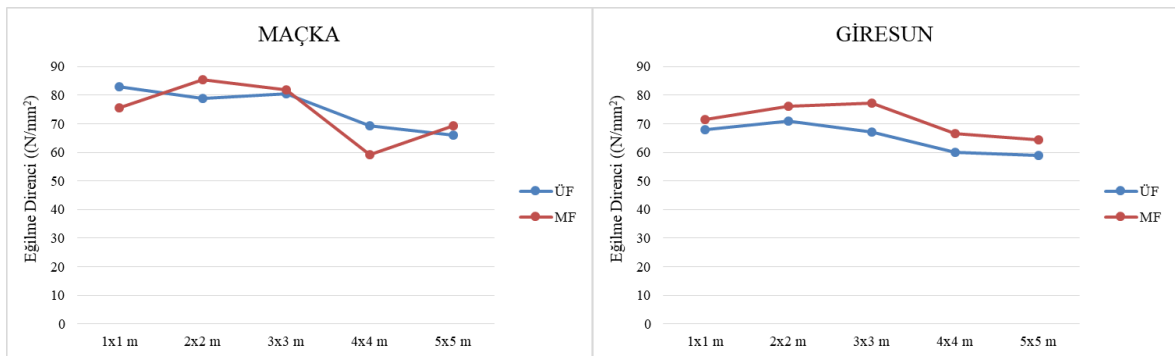
**Çizelge 3.** Mekanik direnç ortalama değerleri ve homojenlik grupları (Mean values of mechanical strength properties and their homogeneity groups)

Bölge	Tutkal Türü	Dikim Aralığı (m)	Çekme Makaslama (N/mm <sup>2</sup> )		Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )		Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	
			Ortalama	HG	Ortalama	HG	Ortalama	HG
MAÇKA	ÜF	1x1	2,241	a	82,96	b	6359	b
		2x2	2,106	a	78,87	b	6152	b
		3x3	2,348	a	80,66	b	6371	b
		4x4	2,247	a	69,28	a	5589	a
		5x5	2,187	a	66,17	a	5263	a
	MF	1x1	2,054	b	75,55	c	6172	c
		2x2	2,386	c	85,41	d	6366	cd
		3x3	2,372	c	81,96	d	6751	d
		4x4	2,046	b	59,21	a	4813	a
		5x5	1,532	a	69,20	b	5326	b
GİRESUN	ÜF	1x1	2,358	c	67,90	ab	4977	a
		2x2	1,869	a	70,98	b	5422	a
		3x3	2,160	b	67,11	ab	5484	a
		4x4	1,806	a	60,05	a	5438	a
		5x5	1,736	a	58,99	a	5301	a
	MF	1x1	2,184	a	71,54	ab	6305	b
		2x2	2,536	b	76,27	b	5877	ab
		3x3	2,377	b	77,34	b	5648	a
		4x4	2,118	a	66,61	a	5618	a
		5x5	1,997	a	64,47	a	5584	a

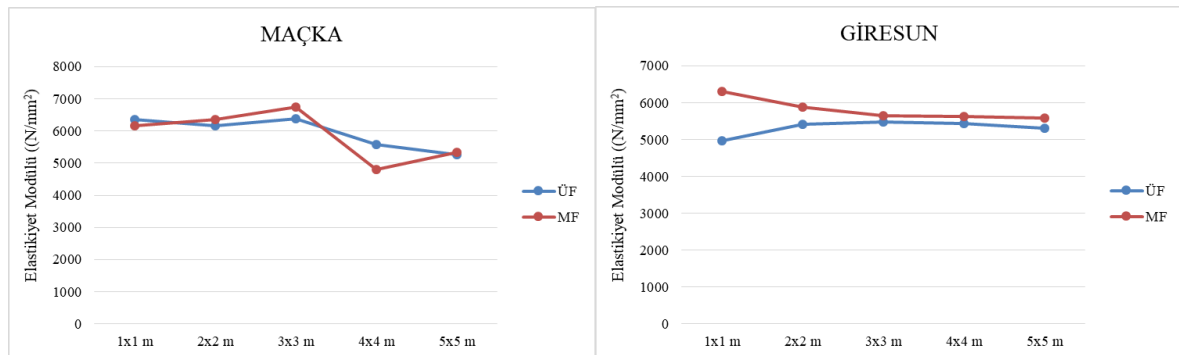
HG: Homojenlik grupları



Şekil 3. Üretilen kontrplakların dikim aralıklarına göre çekme-makaslama direnci değişimleri (Changes in shear strength based on plantation spacings)



Şekil 4. Üretilen kontrplakların dikim aralıklarına göre eğilme direnci değişimleri (Changes in bending strength based on plantation spacings)



Şekil 5. Üretilen kontrplakların dikim aralıklarına göre elastikiyet modülü değişimleri (Changes in modulus of elasticity based on plantation spacings)

Çizelge 3'te görüldüğü gibi en yüksek eğilme direnci değerleri genellikle dar dikim aralığı gruplarından elde edilmiştir. Dikim aralığının kontrplakların elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine bakıldığında Giresun bölgesinde, MF ile üretilen kontrplak levhalarının en yüksek elastikiyet modülü değeri, 1m x 1m dikim aralığı grubundan elde edilmiştir. Maçka bölgesinde ise; ÜF ile üretilen kontrplak levhalarının en yüksek elastikiyet modülü değerleri, 1x1, 2x2 ve 3x3 metre dikim aralığı gruplarından; MF ile üretilenlerde ise 3x3 metre dikim aralığı gruplarından elde edilmiştir. Yapılan benzer bir çalışmada en yüksek elastikiyet modülü değerleri 3x3 metre bulunmuştur [8]. Çizelge 3'te görüldüğü gibi en yüksek elastikiyet modülü değerleri genellikle dar dikim aralığı gruplarından elde edilmiştir. Eğilme direnci ve

elastikiyet modülü değerlerinde yüksek çıkan grupların yoğunluk değerlerinin de genel olarak yüksek olduğu görülmüştür. Literatürde yoğunluğun artması ile malzemenin mekanik özelliklerden eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin de iyileşeceği belirtilmektedir [33-35]. Dikim aralığının azalmasıyla birlikte, yıllık halka içerisindeki yaz odunu iştirak oranı arttığı, bu nedenle eğilme direnci ve elastikiyet modülünde artma meydana geldiği tespit edilmiştir [28].

Gerçek ve ark. (2008) tarafından yapılan "Kızılağaç'ta aralık-mesafe denemeleri" adlı çalışmada, ağaç malzemenin kullanım amacına yönelik olarak, 4x4 metre aralık-mesafeden elde edilecek ağaç tomruklarının kereste, kontrplak ve kaplama üretiminde değerlendirilmesi önerilmiştir [36]. Gerçekleştirilen bu

deneysel çalışmada ise, kontrplak teknolojik özelliklerinin genel olarak 3x3 metre dikim aralığında en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Ülkemiz ormanları her geçen gün kalite ve miktar bakımından azalma göstermektedir. Ülkemizde ormanların her geçen gün azalması ve bunun yanında da orman ürünleri işleyen kuruluşların her geçen gün artması nedeniyle, bu kuruluşlar üretim için gerek duydukları yeterli miktarda ve kalitedeki hammadde temininde sıkıntılar yaşamaktadırlar. Bundan dolayı sektörde önemli bir problem olan odun hammaddesi ihtiyacını karşılayabilmek için hızlı gelişen türlere yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Örneğin, günümüzde Türkiye ve Avrupa’da kontrplak üretimi için kullanılan en önemli ağaç türlerinden biri kayındır. Ancak kayının kontrplak üretiminde gerekli çapa ulaşması için geçen süre 120 yıl iken kızılğaçlar için bu süre 60 yıl kadardır. Bu nedenle ülkemizde doğal yayılış gösteren ve ülkemiz ormanlarının yaklaşık % 1’ini oluşturan kızılğaçların kontrplak üretiminde kullanılması ile önemli bir sorun olan hammadde temini giderilebilir. Ayrıca kızılğaç tomruklarından kontrplak üretiminde buharlama yapılmaksızın soyma işlemi gerçekleştirilebildiğinden buharlama işleminin işletmeye getireceği ek maliyet ve problemlerle de karşılaşılacaktır.

Kızılğaç tomruklarından üretilen kontrplakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bölge farklılığının ve dikim aralıklarının etkili olduğu görülmüştür ve kontrplakların bazı mekanik direnç özelliklerinin dikim aralığının artmasıyla birlikte düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden, kalitenin ön planda olduğu kaplamalık, doğramalık, kereste ve tel direği gibi üretim amaçlarında daha sık dikim aralıkları öngörülmektedir. Ancak, dikim aralıklarının sıklığını oluşabilecek aralama ve bakım masraflarına etkisini de dikkate almak gerekmektedir. Ayrıca, bundan sonra yapılacak çalışmalarda aynı ağaç türlerinden üretilen kontrplakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bölge farklılığının ve dikim aralıklarının da etkili olduğu göz önüne alınmalıdır.

Çalışmada yapılan testlere uygulanan istatistik sonucunda, en yüksek mekanik değerlerin dar dikim aralıklarındaki (1x1, 2x2 ve 3x3 metre) ağaçların numunelerinden elde edildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda; hem dikim aralıklarının azalmasına bağlı olarak ortaya çıkabilecek aralama masraflarının artmaması hem de alandaki tomruk veriminin düşmemesi açısından genel olarak 3x3 metre dikim aralığı uygun bulunmuştur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Demirkır M.S., “Çeşitli ağaç türlerinden elde edilen kontrplakların teknolojik özellikleri üzerine presleme süresi ve tutkal türünün etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2014).

[2] Bozkurt A.Y., Erdin N., “Odun Anatomisi”, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 4263, Orman Fakültesi Yayın No: 446, ISBN: 975-404-592-5, İstanbul, (2000).

[3] Toksoy D., Çolakoğlu G., Aydın İ., Çolak S., Demirkır C., “Technological and economic comparison of the usage of beech and alder wood in plywood and laminated veneer lumber manufacturing”, *Building and Environment*, 41: 872–876, (2006).

[4] Öztürk H., “Farklı bölgelerde yetişen sakallı Kızılğaç’ dan elde edilen kontrplakların bazı teknolojik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2012).

[5] Kahveci E., “Farklı Yetiştirme Ortamı Koşullarının Sakallı Kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2012).

[6] O.G.M., “Orman Varlığımız”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Ankara, (2006).

[7] Doğu A. D., “Odun Yapısı Üzerinde Etkili Faktörler”, Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi (Journal of DOA), ss.81-102, (2002).

[8] Zahabu E., Raphael T., Chamshama S. A. O., Iddi S., Malimbwi, R. E., “Effect of spacing regimes on growth, yield, and wood properties of *tectona grandis* at Longuza forest plantation”, *Tanzania. International Journal of Forestry Research*, DOI: 10.1155/2015/469760, (2015).

[9] Moore J. R., Cown D. J., McKinley R. B., Sabatia, C. O., “Effects of stand density and seedlot on three wood properties of young *radiata* pine grown at a dry-land site in New Zealand”, *N. Z. J. For. Sci.*, 45: 15, (2015).

[10] Wessels B. C., Froneman, G. M., “The potential for improving the stiffness of young South African grown *Pinus radiata* lumber by using high planting densities”, *Pro Ligno*, 11: 58–64, (2015).

[11] Amateis R. L., Burkhart H. E., Jeong G. Y., “Modulus of elasticity declines with decreasing planting density for loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations”, *Ann. For. Sci.*, 70: 743–750, (2013).

[12] Rais A., Poschenrieder W., Pretzsch H., Van De Kuilen J. W. G., “Influence of initial plant density on sawn timber properties for Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)”, *Ann. For. Sci.*, 71: 617–626, (2014).

[13] Erasmus J., Kunneke A., Drew D. M., Wessels, C. B., “The effect of planting spacing on *Pinus patula* stem straightness, microfibril angle and wood density”, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91, 3: 247-258, (2018).

[14] Waghorn M. J., Watt M. S., “Stand variation in *Pinus radiata* and its relationship with allometric scaling and critical buckling height”. *Ann. Bot.*, 111: 675–680, (2013).

[15] Merlo E., Alvarez-Gonzalez J. G., Santaclara O., Riesco G., “Modelling modulus of elasticity of *Pinus pinaster* Ait. in Northwestern Spain with standing tree acoustic measurements, tree, stand and site variables”, *For. Syst.*, 23: 153–166, (2014).

[16] Wessels C. B., Malan F. S., Seifert T., Louw J. H., Rypstra T., “The prediction of the flexural lumber properties from standing South African grown *Pinus patula* trees”, *Eur. J. For. Res.*, 134: 1–18, (2015).

- [17] Lachenbruch B., Droppelmann F., Balocchi C., Peredo M., Perez, E., "Stem form and compression wood formation in young *Pinus radiata* trees", *Can. J. For. Res.*, 40: 26–36, (2010).
- [18] Carino H. F., Arano K. G., Blanche C. A., Aries Patawaran M., "Impact of curve sawing on southern pine dimension lumber manufacturing. Part 1. Lumber volume and value yields", *For. Prod. J.*, 56: 61–68, (2006).
- [19] Egbäck S., Liziniewicz M., Högberg K., Ekö P., Nilsson U., "Influence of progeny and initial stand density on growth and quality traits of 21 year old half-sib Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)", *For. Ecol. Manage.*, 286: 1–7, (2012).
- [20] Liziniewicz M., Ekö P. M., Agestam E., "Effect of spacing on 23- year-old lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia*) in southern Sweden", *Scand. J. For. Res.*, 27: 361–371, (2012).
- [21] Belley D., Beaudoin M., Duchesne I., Vallerand S., Tong, Q. J., Swift, D. E., "Assessment of white spruce and jack pine stem curvature from a nelder spacing experiment", *Wood Fiber Sci.*, 45: 237–249, (2013).
- [22] Froneman G. M., "The effect of initial planting density on selected physical and mechanical properties of South African grown *Pinus elliottii* and *Pinus radiata*", University of Stellenbosch, (2014).
- [23] Smith R. G. B., Rowell D., Porada H., Bush D., "*Pinus pinaster* and *Pinus radiata* survival, growth and form on 500–800 mm rainfall sites in southern NSW", *Aust. For.*, 77: 105–113, (2014).
- [24] TS EN 314-1, "Kontrplak-Kaplama Yapışma Kalitesi, Bölüm:1 Deney Metodları", 1. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1998).
- [25] TS EN 310, "Ahşap Esaslı Levhalar, Eğilme Dayanımı ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini", 1. Baskı, TSE Ankara, (1998).
- [26] TS EN 323-1, "Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1999).
- [27] Auty D., Gardiner B. A., Achim A., Moore J. R., Cameron, A. D., "Models for predicting microfibril angle variation in Scots pine", *Ann. For. Sci.*, 70: 209–218, (2013).
- [28] Wang S.Y., Ko C.Y., "Dynamic modulus of elasticity and bending properties of large beams of Taiwan-grown *Japanese cedar* from different plantation spacing sites", *Journal Wood Science*, 44: 62-68, (1998).
- [29] Fernandes C., Gaspar M. J., Pires J., Silva M. E., Carvalho A., Brito J. L., Lousada J. L., "Within and between-tree variation of wood density components in *Pinus sylvestris* at five sites in Portugal", *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 4: 511-526, (2017).
- [30] Demirkir C., Aydın I., Colak S., Colakoglu G., "Effect of width of annual ring on technological properties of plywood panels manufactured from stone pine (*Pinus pinea* L.)", *Wood Research*, 58, 1: 147-150, (2013).
- [31] Demirkir C., Colak S., Aydın I., "Some technological properties of wood–styrofoam composite panels", *Composites Part B: Engineering*, 55: 513-517, (2013).
- [32] Demirkir C., Colakoglu G., Colak S., Aydın I., Candan Z., "Influence of Aging Procedure on Bonding Strength and Thermal Conductivity of Plywood Panels", *Acta Physica Polonica A*, 129, 6: 1230-1234, (2016).
- [33] Rahman K. S., Alam D. M., Islam M. N., "Some physical and mechanical properties of bamboo mat-wood veneer plywood", *ISCA J. Biol. Sci.*, 1, 12: 61–4, (2012).
- [34] Alam D. M., Islam M. N., Rahman K. S., Alam M. R., "Comparative study on physical and mechanical properties of plywood produced from eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) and simul (*Bombax ceiba* L.) veneers", *Res. J. Recent. Sci.*, 1, 9: 54–8, (2012).
- [35] Buyuksari U., "Physical and mechanical properties of particleboard laminated with termally compressed veneer", *BioResources*, 7, 1: 1084–91, (2012).
- [36] Gerçek V., Usta A., Eren N., Çolak N., "Kızılağaç (*Alnus glutinosa* (L) Gaertn subsp. *Barbata*)' ta Aralık-Mesafe Denemeleri", Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No:345. DKOY Yayın No: 30 Teknik Bülten No:22, (2008).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Support vector machine based spam SMS detection

## *Destek vektör makineleri kullanılarak spam SMS tespiti*

*Yazar(lar) (Author(s)): Adem TEKEREK*

*ORCID: 0000-0002-0880-7955*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Tekerek A., "Support vector machine based spam sms detection", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 779-784, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.429707



# Support Vector Machine Based Spam SMS Detection

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Adem TEKEREK\***

Information Technology Department, Gazi University, Turkey

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

## ABSTRACT

Short Message Service (SMS) is the most important communication tool in recent decades. With the increased popularity of mobile devices, the usage rate of SMS will increase more and more in years. SMS is a practical method used to reach individuals directly. But this practical and easy method can cause SMS to be misused. The advertising or promotional SMS of the companies are an examples of this misuse. In this study, a spam SMS detection technique is proposed using Data Mining (DM) methods. In the proposed study, data mining algorithms such as Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighborhood (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) and Random Tree (RT) is selected. SMSSpamCollection dataset, which is contain 747 spam SMS and 4827 ham SMS, is used. 10 fold cross-validation technique is used to evaluate prediction of Spam SMS in the dataset. Therefore, proposed study achieved 98.33 % success rate and 0,087 false positive rate for SVM algorithm..

**Keywords:** Spam SMS, data mining, machine learning, support vector machine.

# Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Spam SMS Tespiti

## ÖZ

Kısa Mesaj Servisi (SMS) son yılların en önemli iletişim araçlarından biri haline gelmiştir. Mobil cihazların artan popülaritesiyle, SMS kullanım oranları da yıllar içinde daha da artmaya devam edecektir. SMS doğrudan bireylere ulaşmak için kullanılan pratik bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ancak bu pratik ve kolay yöntem, SMS'in yanlış ve kötü amaçlı kullanılmasına da neden olabilmektedir. Şirketlerin reklam veya tanıtım SMS'leri bu yanlış kullanımın önemli örneklerindedir. Bu çalışmada, Veri Madenciliği (DM) yöntemleri kullanılarak bir spam SMS tespit tekniği önerilmiştir. Önerilen çalışmada, Naive Bayes (NB), K-En Yakın Komşuluk (KNN), Destek Vektör Makinesi (SVM), Rastgele Orman (RF) ve Rastgele Ağaç (RT) gibi veri madenciliği algoritmaları seçilmiştir. Bu çalışmada 747 spam SMS ve 4827 jambon SMS içeren SMSSpamCollection veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesindeki Spam SMS tahminini değerlendirmek için 10 katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımda Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritması ile %98.33 oranında başarılı tespit yapılarak, 0,087 yanlış pozitif oran elde etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstenmeyen SMS veri madenciliği, makine öğrenmesi, destek vektör makineleri

## 1. INTRODUCTION

Short Message Service (SMS) is one of the most popular communication service where messages are sent electronically. The increase in the use of mobile devices also increased the number of SMS sent and received. With the increased use of SMS, the cost of SMS services has also decreased. The low price and the high bandwidth of the SMS network have attracted a large amount of SMS spam. This rise has also increased the malicious use of SMS, resulting in a spam SMS problem. A spam SMS is any unwanted message that is sent to user's mobile devices. Spam SMS include advertisements, free services, promotions, etc. According to people classify SMS Spam as annoying (32.3%), wasting time (24.8%), and violating personal privacy (21.3%) [1].

SMS is not text-rich. Therefore, spam SMS detection is generally based on text mining. Text mining aims to get structured data through the text, such as classification, clustering, concept or entity extraction, texts production of granular taxonomy, textual

sentimental analysis, document summarization and entity relationship modeling. To obtain the structured data, information retrieval, lexical analysis, pattern recognition, word frequency, tagging, information extraction, data mining and visualization methods are used [2].

Several approaches such as machine learning and data mining have been used in spam SMS detection.

El-Alfy et al. [3] proposed a model for filtering messages for both SMS and email. They analyzed different methods in order to finalize features set such that complexity can be reduced. Authors have used SVM and Naive Bayes algorithms, and features which are URLs, spam words, emotion symbols, spam domain, special characters, defect words, metadata, Javascript, function words, recipient address and subject field. They have evaluated their proposed model on five email and SMS datasets.

Chan et al. [4] proposed two methods for SMS spam detection, feature rewriting and good word attack. These methods focus on the length of the SMS along with the length of the SMS. A good word attack provides a new

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : atekerek@gazi.edu.tr

rescaling function to re-scale weights while focusing on classifying the classifier using the least number of characters in the rewrite method. The authors evaluated the experiment on datasets, SMS and comments.

Delany et al. [5] discuss different approaches available for SMS Spam filtering and the problems associated with the dataset collection. They analyzed a large dataset of SMS spam and used ten clusters such as ringtones, prizes, services, finance, competitions, dating, claims chat, voicemail and others.

Xu et al. [6] have identify SMS Spam messages using content features. They used SVM and k-nearest neighbor and static, temporal and network features. They found that by combining temporal and network features SMS Spam messages can be detected more accurately and with good performance. They found the filter SMS Spam messages by using features that contain temporal information and graph-topology thus excluding the content of the message.

Yadav et al. [7] proposed a SMSAssassin model for SMS filtering. They used a feature set of 20 lightweight features and two machine learning algorithms, SVM and Bayesian learning. They used a collected a dataset of 2000 messages. In authors proposed model whenever the user gets some SMS over his phone, then SMSAssassin captures that SMS without user's knowledge, fetches feature values, and sends these values to the server for classification. If the messages are marked as spam SMS, the user will not see this message and it will be directed to the spam folder.

Hidalgo et al. [8] have analyzed that how Bayesian filtering technique can be used to detect SMS Spam. They have collected two datasets one in English and another in Spanish. Their analysis shows that Bayesian filtering techniques that were earlier used in detecting email spam can also be used to block spam SMS.

Almeida et al. [16] proposed a comparison study by using some supervised learning algorithms to give results for each one. They used a dataset which contains 747 spam SMS and 4,827 non-spam SMS. They used 13 classifiers for experiment include 8 variations of SVM, Naive Bayes, Description Length classifier, k-NN, C4.5, a rule learner. According the experimental result, linear SVM performs best, with an overall accuracy of 97,64%, a false positive rate of 0,18%.

In this study, feature selection is implemented automatically from the dataset. Thus, the detection of spam SMS messages is more precise. Data mining algorithms such as Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighborhood (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) and Random Tree (RT) is used for best detection of spam SMS. The selection of SVM as a classification technique has increased the success of detection spam SMS.

This paper consists of five sections. In section 2 the data mining techniques, used in this study are explained. In section 4, dataset and feature extraction is detailed. In

section 5 proposed spam detection model is presented. In section 6, conclusion is given.

## 2. MATERIAL and METHOD

In this study, some data mining classification methods have been used to determine if a SMS is actually a spam SMS or ham SMS. Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) and Random Tree (RT) data mining methods are used to classify SMS as malicious or not. These methods are described below.

### 2.1. Naive Bayes (NB)

Naive Bayes is one of the most effective learning algorithms in machine learning. Bayesian spam SMS filtering is a statistical method of detecting spam SMSs based on Bayes' theorem to calculate the probability that a SMS is actually a spam SMS. Naive Bayes algorithm is one of the machine learning methods that is used in text classification. It is a statistical inference based on probability, and is used to determine previously created classes [9].

NB uses a discriminant function to compute the conditional probabilities of  $P(C_i|X)$ . As shown in formula (1) the inputs,  $P(C_i | X)$  denotes the probability that, example X belongs to class  $C_i$

$$P(C_i|X) = \frac{P(C_i) \cdot P(X|C_i)}{P(X)} \quad (1)$$

$P(C_i)$  is the probability of observing class i.  $P(X | C_i)$  denotes the probability of observing the example, given class  $C_i$ .  $P(X)$  is the probability of the input, which is independent of the classes.

### 2.2. K-Nearest Neighborhood (KNN)

The KNN is a pattern classifier that allows classification without the need to know the probability distributions of classes [10]. In this method, the distance of each test vector from the set of training vectors to be classified is calculated. At the next stage of the test vector, the class is assigned to the k majority of the closest vectors. The success of this method affects the selected distance measure and usually the experimentally determined k value.

### 2.3. Support Vector Machine (SVM)

In this study, SVM classification method is used to determine if a SMS is a spam SMS or ham SMS. SVM data mining method is used to classify SMS as malicious or not. SVM is a linear separation limit ( $wTx + b = 0$ ) that classify the samples correctly. SVM, a supervised learning technique, is a combination of a linear machine learning technique. SVM is a two-dimensional variable class forms a hyperplane that divides the margin between hyperplane and the nearest data points by maximizing the weight vector w to the feature vector [11]. SVM decision boundary scheme is presented in Figure 1.

The most important advantage of the SVMs is the classification problem is squared optimization problem. Therefore, to solve the problem the number of

transactions decreases during the learning phase and other techniques algorithms [12].

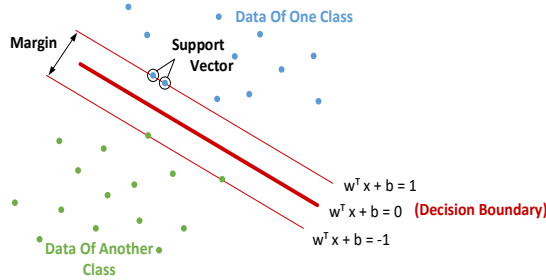


Figure 1. SVM decision boundary scheme

SVM is based on the concept of decision plans that define decision boundaries. A decision plane is a decision between a set of objects with different class memberships and the SVM modeling algorithm finds the best hyperplane with the maximum margin to separate from the two classes, which requires the following optimization problem to be solved.

Maximum ;

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(X_i, X_j) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \quad (3)$$

where  $0 \leq \alpha_i \leq b$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

In equation (1) and equation (2)  $\alpha_i$  is the weight of training sample  $x_i$ . If  $\alpha_i > 0$ ,  $x_i$  is called a support vector  $b$  is a regulation parameter used to trade-off the training accuracy and the model complexity so that a superior generalization capability can be achieved.  $K$  is a kernel function, which is used to measure the similarity between two or much more samples [13].

### 2.4. Random Forest (RF)

RF is a controlled machine learning algorithm that creates a forest and makes it random. RF is a type of decision tree algorithm, and trained by bagging method. The purpose of the bagging method is to increase the result of a combination of learning models. RF can be used for both classification and regression problems. Classification can be considered the building block of machine learning. RF adds additional randomness to the model, while growing the trees. Instead of searching for the most important feature while splitting a node, it searches for the best feature among a random subset of features. This results in a wide diversity that generally results in a better model. In Figure 2, scheme of random forest is given.

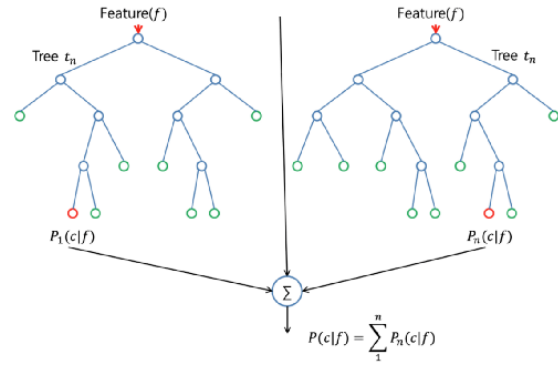


Figure 2. Random Forest scheme

Therefore, in RF, only a random subset of the features is taken into consideration by the algorithm for splitting a node. It can be even make trees more random, by additionally using random thresholds for each feature rather than searching for the best possible thresholds [14].

### 2.5. Random Tree (RT)

RT is a tree or arborescence that is formed by a stochastic process. RT is generation of a variety of trees at "random," and for small numbers of leaves it can generate all possible trees [15]. Random trees have several usage areas; used for phylogeny programs that do not have the ability to examine all trees or clusters of random trees;

- Used for estimate distributions of tree comparison measures,
- Used for the production of all possible tree shapes,
- Used as a basis for statistical tests.

In Figure 3, RT working scheme is presented.

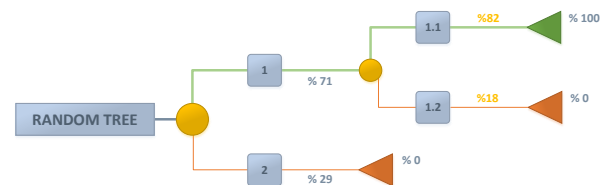


Figure 3. RT working scheme.

### 3. DATASET AND FEATURE EXTRACTION

In this study, a dataset consisting of 4.827 legitimate SMS and 747 spam SMS produced by T. A. Almeida is used. This is the largest existing SMS spam dataset currently available. Table 1 shows the basic statistics of the dataset. SMS spam collection dataset is a large real, public and non-encoded SMS dataset spam collection which was proposed by Almeida et. al. [16].

**Table 1:** Basic statistics

Messages	Amount	
	Messages	Percent (%)
Hams	4,827	86,60
Spams	747	13,40
Total	5,574	100,00

Table 2 presents the statistics related to the tokens extracted from the corpus. Note that, the proposed dataset has a total of 81,175 tokens and mobile phone spam has in average ten tokens more than legitimate messages.

**Table 2:** Token statistics

Token statistics hams	63,632
Spams	17,543
Total	81,175
Avarage per message	14.56
Avarage in hams	13.18
Avarage in spams	23.48

#### 4. PROPOSED APPLICATION

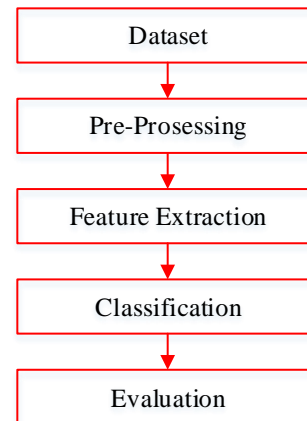
Proposed study, main aim is to filter the spam and ham SMS using data mining algorithms. In Figure 4, the steps of the proposed study is given. At first, dataset is selected and pre-processed. After pre-processing, features are automatically generated using the dataset. So classification was performed using different data mining

**Table 3.** Evolutionary Results

Order	Study	Dataset	Method	Result(%)	FP	TP
1	Proposed Study	SMS Spam Collection	<b>SVM</b>	<b>98.3315</b>	<b>0,087</b>	<b>0,983</b>
			NB	96.7887	0,108	0,968
			RT	95.4611	0,206	0,955
			RF	97.4345	0,166	0,974
			KNN	95.1381	0,310	0,951
2	Choudhary, N., et al [1]	SMS Spam Collection	NB	94.1	0.077	0.941
			DT	96	0.133	0.960
			RF	96,5	0.102	0.965
3	Almeida, T.A., el al [16]	SMS Spam Collection	linear SVM	97,6	0.18	0.976

ROC Curve graph of data mining methods used in the study is presented in Figure 7. In Figure 7 ham SMS represents zero (0), spam e-mails represents one (1).

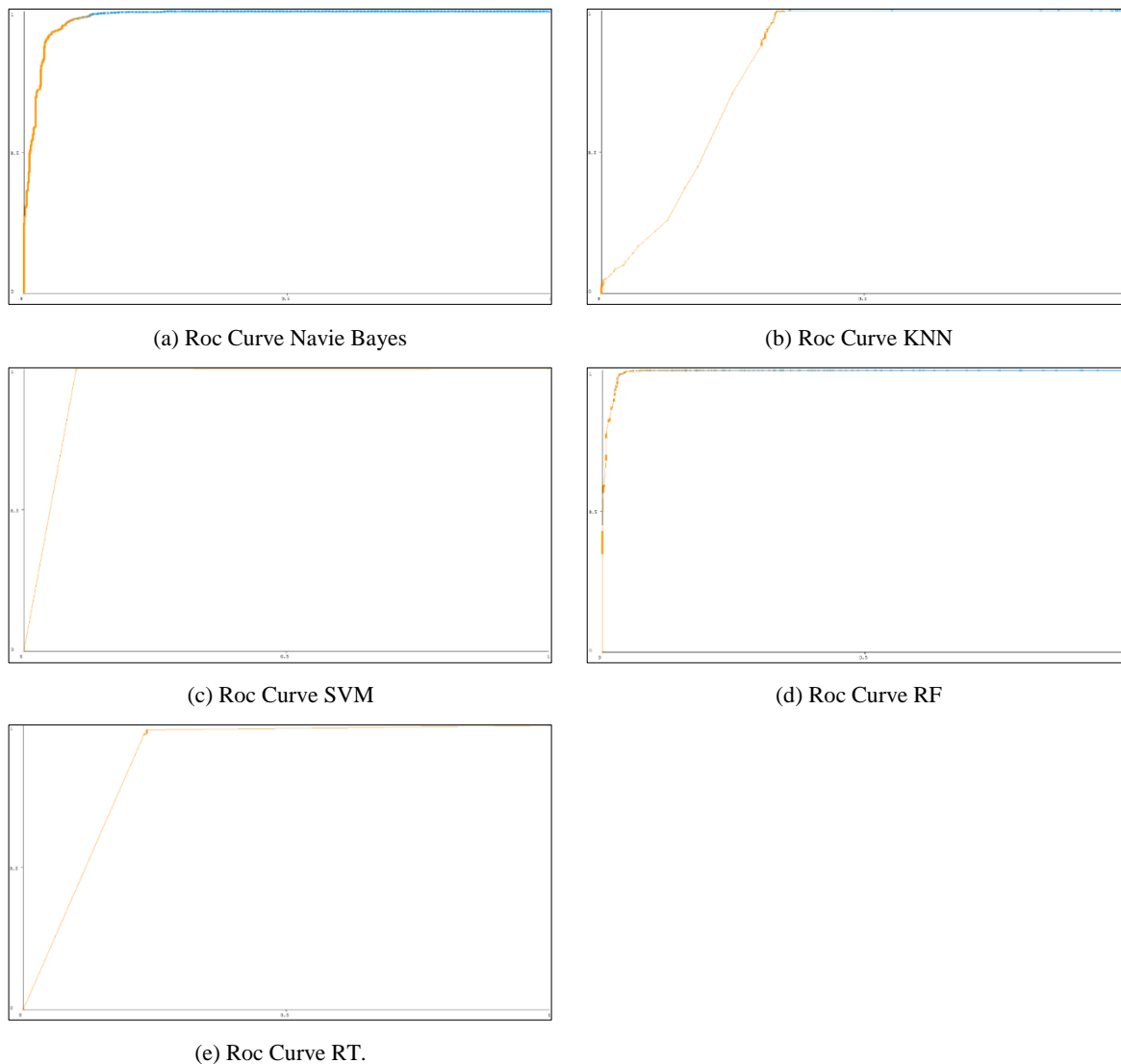
algorithms. According to the evaluation results SVM gave the best result.



**Figure 4.** Proposed study working scheme.

In this study text mining based detection is proposed. The detection rules are parsed by text (token) mapping of the SMS text content. Specification of the rules required for the detection of spam SMS has been established. Each rule performs a test on the SMS dataset, and each rule has a score for decision about whether a SMS is spam or not. If the results exceed the threshold, then the SMS is marked as spam and the others are classified as ham SMS. The results obtained in the study are compared with the studies [1,16] as seen in Table 3. According to the results of the comparison, proposed model has the best performance with SVM. SVM has the highest True Positive (TP) (0,983) and the lowest False Positive (FP) (0,087) rate.

Figure 7 (c) represents the ROC Curve graph of the SVM classification method that yields the most successful results.



**Figure 7.** Roc curve graphs of classification methods

## 5. CONCLUSION

In this study, it is aimed to detect spam SMS using some data mining algorithms, which are Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighborhood (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) and Random Tree (RT). Although there are many SMS spam filtering studies, due to the existence of spammers and adoption of new techniques, SMS spam filtering becomes a challenging problem to the researchers. The dataset which was developed by Almeida et. al. [16]. The performance of proposed model was evaluated using training set and observed that SVM classifier outperforms than other classifiers and the false positive rate is also very low compared to other studies and other algorithms used in this study. Also 10 fold cross-validation technique is used to evaluate. SMS spam filters using this approach can be adopted either at SMS server or at SMS client side to reduce the amount of spam messages and to reduce the risk of productivity loss, bandwidth, and storage usage.

## REFERENCES

- [1] Choudhary, N., & Jain, A. K., "Towards Filtering of SMS Spam Messages Using Machine Learning Based Technique" *In Advanced Informatics for Computing Research Springer, Singapore*, 18-30 (2017).
- [2] Mujtaba, G., & Yasin, M., "SMS spam detection using simple message content features", *J. Basic Appl. Sci. Res*, 4(4):275-279, (2014).
- [3] El-Alfy, E.S.M., AlHasan, A.A., "Spam filtering framework for multimodal mobile communication based on dendritic cell algorithm", *Future Gen. Comput. Syst.* 64: 98–107, (2016).
- [4] Chan, P.P.K., Yang, C., Yeung, D.S., Ng, W.W.Y., "Spam filtering for short messages in adversarial environment", *Neurocomputing*, 155: 167–176, (2015).
- [5] Delany, S. J., Buckley, M., & Greene, D., "SMS spam filtering: methods and data", *Expert Systems with Applications*, 39(10): 9899-9908, (2012).
- [6] Xu, Q., Xiang, E.W., Yang, Q., Du, J., Zhong, J., "SMS spam detection using non-content features", *IEEE Intelligent Systems*, 27(6): 44–51, (2012).
- [7] Yadav, K., Kumaraguru, P., Goyal, A., Gupta, A., Naik, V., "SMSAssassin: crowdsourcing driven mobile-based

- system for SMS spam filtering”, *12th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1–6, (2011).
- [8] Hidalgo, J.M.G., Bringas, G.C., Sanz, E.P., García, F.C., “Content based SMS spam filtering”, *In ACM Symposium on Document Engineering*, 107–114, (2006).
- [9] Awad, W. A., & ELseuofı, S. M., “Machine Learning methods for E-mail Classification”, *International Journal of Computer Applications*, 16(1): (2011).
- [10] S. Theodoridis and K. Koutroumbas, Pattern Recognition, *Fourth Edition: Academic Press*, (2008).
- [11] G. Chechik, G. Heitz “Max-margin Classification of Data with Absent Futures”, *In Journal of Machine Learning Research*, 9: (2008).
- [12] Osowski, S., Siwekand, K., and Markiewicz, T. “MLP and SVM Networks – a Comparative Study”, *Proceedings of the 6th Nordic Signal Processing Symposium*, (2004).
- [13] Arana-Daniel, N., Gallegos, A. A., López-Franco, C., Alanıs, A. Y., Morales, J., & López-Franco, A., “Support vector machines trained with evolutionary algorithms employing kernel adatron for large scale classification of protein structures”, *Evolutionary Bioinformatics*, 12: (2016).
- [14] Strobl, C., Malley, J., & Tutz, G., “An introduction to recursive partitioning: rationale, application, and characteristics of classification and regression trees, bagging, and random forests”, *Psychological methods*, 14(4): 323, (2009).
- [15] Llado, A., “Decomposing almost complete graphs by random trees” *Journal of Combinatorial Theory, Series A*,154: 406-421, (2018).
- [16] Almeida, T.A., Gomez Hidalgo, J.M., Yamakami, A., “Contributions to the Study of SMS Spam Filtering: New Collection and Results”, *Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Document Engineering (DOCENG'11)*, Mountain View, CA, USA, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Hassas tarım uygulamaları için yeni nesil damla sulama sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi

*Design and implementation of a new generation drip irrigation system for use in precision agriculture application*

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa BURUNKAYA

ORCID: 0000-0002-3971-0590

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(Tocitetothisarticle):** Burunkaya M., “Hassas tarım uygulamaları için yeni nesil damla sulama sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 785-792, (2019).

**Erişim linki(To link to this article):**<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.450792

# Hassas Tarım Uygulamaları için Yeni Nesil Damla Sulama Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mustafa BURUNKAYA\***

Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received :03.08.2018; Kabul/Accepted : 17.09.2018)

## ÖZ

Bu çalışmada, hassas tarım uygulamaları için, akıllı algılayıcılar ile beraber kullanılmaya hazırlık olmak üzere, sınırlı toprak ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması amaçlanan yeni nesil bir damla sulama sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem bir hassas tarım uygulaması ürün yetiştiriciliğinde kullanılarak test edilmiştir. Sistemde kontrol işlemleri için bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu şekilde düşük maliyetli ve yazılım yolu ile kontrol edilebilen esnek bir kontrol sistemi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hassas tarım, nem algılayıcı, mikrodenetleyici, damla sulama.

## Design And Implementation of a New Generation Drip Irrigation System For Use In Precision Agriculture Application

### ABSTRACT

In this study, a new generation drip irrigation system, which is a preliminary study for designing a system compatible with smart sensors, which aims to use limited agriculture land and water resources more efficiently, has been implemented for use in precision agriculture application. The system efficiency has been tested by using in a precision agriculture application. A microcontroller was used for the control operations in the system. In this way, a flexible control system has been achieved which is low cost and can be controlled via software.

**Keywords:** Precision agriculture, humidity sensor, microcontroller, drip irrigation.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızlı şehirleşme, nüfus artışı, sanayileşme, kirlilik vb. nedenlerle su kaynakları giderek azalmaktadır [1-4]. Bunların sonucu olarak küresel ısınmanın artmasıyla birlikte ise zaten sınırlı olan su, toprak vb. kaynaklar [5, 6] daha da azalmış ve yaşamsal faaliyetler için suya olan ihtiyaç daha kritik bir hal almaya başlamıştır [1,7-10]. Bu sebeple diğer bütün alanlarda olduğu gibi, tarımsal uygulamalarda da suyun etkin kullanımı için çeşitli çalışmalar yapılmış, birtakım sistem, yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Bunların uygulanması ile bazı durumlarda jeolojik, iklimsel, vejetasyon ve topografik yönlerden bazı avantajlar sağlanmış olsa da su israfı artabilmektedir [4, 11]. Bu konuda, literatürde su kaynaklarının azalması durumuna karşı örneğin “sınırlı sulama yönetimi” gibi yöntemlere başvurulduğu görülmektedir [12]. Bitkilerin gelişimi üzerinde su doğrudan etkili olmasına karşılık, kurak ve yarı kurak iklimte sahip olan bölgelerde ise yağışlar genellikle bitkilerin vejetasyon döneminin dışında gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle, suya ihtiyaç duyulan dönemlerde su kaynakları azalır iken, duyulan ihtiyaç ise artmaktadır. Bu nedenlerle gerek israf, gerekse kuraklık vb. hangi sebeplerle olursa olsun su

kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ve sulamanın daha ekonomik hale getirilmesi gerekmektedir [1,7, 10, 11,13-16].

Günümüzde tarımsal uygulamalarda mekanizasyon gelişmekte, sulama işlemlerinde yeni yöntem ve teknikler araştırılmakta, geleneksel ve manuel sulama yöntemleri yerine otomatik sistemler üzerinde çalışılmaktadır. Eski yöntemlerde iş gücü gereksinimi, maliyet, su kaynaklarının verimsiz kullanımı, eksik sulama, rekolte, verim, kalite düşüklüğü vb. çok farklı nedenlerle, onların yerine otomatik sulama yöntemleri tercih edilmektedir [3, 5-8, 10, 15-17]. Yapılan çalışmalar ve yeni teknolojiler ile bir yandan kaynakları etkin kullanabilmek için gereksiz sulamanın önlenmesine çalışılırken [5], öte yandan da israflar azaltılmaya çalışılmaktadır [4]. Ayrıca kuraklık uygulanmayan sulama destekli parsellerden yüksek verim alındığı değerlendirilmektedir [18].

Özellikle bütün arazi yüzeyi yerine, sadece gerekli ve gerektiğinde sulamanın yapıldığı yöntemlerinin kullanımı su tüketiminin azalmasını sağlamaktadır [5]. Bunların arasında ise damla sulama yöntemi, hem sebze ve meyvecilikte ve hem de tarla bitkilerinin üretiminde olumlu sonuçlar vermekte ve böylece sınırlı tarım arazilerinin ve su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmaktadır [2, 3, 8, 15, 16]. Bu işlemler

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author)  
e-posta : [bmustafa@gazi.edu.tr](mailto:bmustafa@gazi.edu.tr)



sırasında gerektiğinde toprağın nemini ölçmek için algılayıcılar kullanılmaktadır [5, 10, 13, 19, 20]. Sistemin etkinliğini daha da artırabilmek için yarıiletken temelli olanlardan fiber optik tabanlı olanlara kadar çok farklı prensiplerle çalışan algılayıcılar ile toprağın veya havanın sıcaklığının ölçülmesi, hava durumu verilerinin alınması, ortamın bağıl neminin ölçülmesi, toprak türünün belirlenmesi vb. fiziksel büyüklüklerin doğrudan veya dolaylı etkilerinin göz önüne alınarak sulama işlemlerinin düzenlenmesi sağlanabilir [3-5, 8, 13, 21-24]. Böylece el ile kontrol edilen sulama uygulamalarına göre daha kontrollü sulama işlemleri gerçekleştirilebilir [15]. Bu yöntem ile, gerektiğinde sulama sırasında bitki besin maddelerinin verilmesi, ilaçlama ve zararlılarla mücadele edilebilmesi de mümkün olabilmektedir [14, 25].

Bu çalışmada hassas tarım uygulamalarında kullanılmak üzere mikrodenetleyici kontrollü bir damla sulama sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitlikleri kullanılması yerine, doğrudan ölçüm yapılarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir [19]. Bu çalışmanın 2. bölümünde sulama ve önemi, sulama sistemleri ve damla sulama yöntemi genel olarak incelenmiştir. 3. Bölümde gerçekleştirilen sistem, tasarım ve sistem üzerinde bazı ölçümlere yer verilmiştir. 4. Bölümde bu sistem kullanılarak yapılan bir deneysel hassas tarım uygulaması ve ürün yetiştiriciliğine ait çalışma açıklanmıştır. 5. Bölüm ise sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

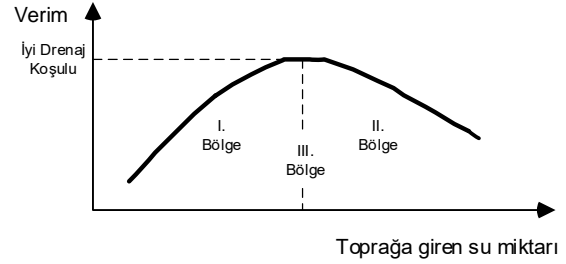
## 2. SULAMA ve ÖNEMİ (IRRIGATION AND ITS IMPORTANCE)

Bitkilerin normal gelişimleri için ihtiyaç duyulan suyun yağışlarla karşılanamaması durumunda, eksik kalan miktar toprağa bitki kök bölgesine verilerek tamamlanır [10, 11, 16]. Sulamanın temel elemanları toprak, su ve bitkidir. Toprak yolu ile verilen su, bitki açısından birçok kimyasal, fiziksel ve biyolojik aktiviteler için esastır. Fakat en önemlisi, besin maddelerinin çözülerek bitki organlarına taşınması sağlandığından, bitki yapısının oluşumu için gerekli olan en önemli yapı ögesi olarak görülebilir [3, 10, 19].

Bitkilerin normal gelişimlerini sürdürebilmeleri için, çok yıllık bitkilerin kış dinlenme periyodu dışında, kökleri aracılığı ile topraktan devamlı su almaları gerekir. Bu ihtiyaç vejetasyon dönemlerinde ise ayrıca artar. Bu sebeple büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli nemin bulunması gelişimleri açısından son derece önemlidir [1, 7, 10, 11, 13-16]. Sulama ile bitkinin ihtiyaç duyduğu su kök bölgesinde depolandığından, devamlı ve kararlı bir bitki gelişimi sağlanabilir. Bu sırada topraktaki fazla tuzun yıkanması, toprak ve bitki civarındaki havanın serinletilmesi de sağlanmış olur.

Buna karşılık gereğinden az ya da fazla toprak nemi, sulama aralığı, sulamanın zamansız yapılması [2, 16] ise genellikle verim azalmasına neden olur. Bu durum Şekil

2.1' de verilen tipik bir su ve verim ilişkisi grafiği ile açıklanabilir.

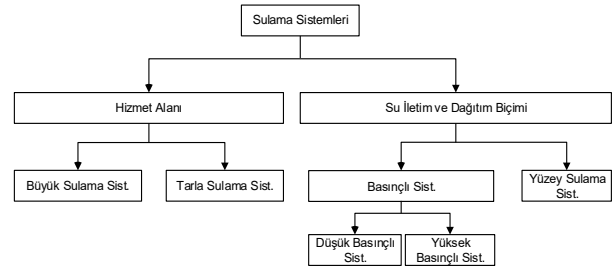


Şekil 2.1. Bitkilerde su ve verim arasındaki ilişki (Relationship between irrigation and yield in plants)

Şekilden 2.1' de görüldüğü gibi, diğer tarımsal şartların sağlanması şartı ile, topraktaki su-hava dengesi sağlanmakta, büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde depolanan nem arttıkça verimde artış meydana gelmekte ve verim belirli bir toprak nemi seviyesinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Bundan sonra, iyi drenaj koşullarında toprağa giren su miktarı artsa bile verim sabit kalmaktadır [10, 12, 19, 26, 27].

### 2.1. Sulama Sistemleri ve Yöntemleri (Irrigation Systems and its Methods)

Sulama sistemleri temel olarak hizmet alanına göre ve su iletim ve dağıtımına göre ikiye ayrılabilir. İkinci grup ise kendi içinde yüzey ve basınçlı sulama sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Basınçlı sistemler de düşük ve yüksek basınçlı sistemler olarak ayrılabilir. Şekil 2.2' de sulama sistemlerinin bu temel çeşitleri verilmiştir.



Şekil 2.2. Sulama sistemlerinin çeşitleri (Types of irrigation systems)

Sulama sistemlerinin çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar temel olarak salma sulama, yağmurlama sulama, sızdırma sulama, damla sulama vb. yöntemi olarak verilebilir. En uygun sulama yöntemi doğal şartlar, iklim, su kaynaklarının durumu vb. göz önüne alınarak seçilebilir [4, 10, 11, 13, 14, 19].

### 2.2. Damla Sulama Yöntemi (Drip Irrigation Method)

Damla sulama bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim oluşturmadan, filtre edilmiş az miktarda su ve gerekirse bitki besin maddelerinin, sık aralıklarla doğrudan bitki kök bölgesine veya ortamına damlalar halinde gerektiğinde her gün, birden fazla verilmesi işlemi olarak tanımlanabilir [5, 10, 11, 16, 19]. Bitki kök bölgesindeki küçük nem eksikliklerinin anında

giderilmesi ve nemin yüksek düzeyde tutulması durumunda bitkilerde fark edilebilir bir gelişme olduğu gözlenmiştir. Bu, az ama çok sık ve düzenli bir sulama ile yani damla sulama yöntemi ile sağlanabilir. Geleneksel yüzey sulama veya yağmurlama sulama ile bu durum sağlanamamaktadır. Damla sulama yönteminde birinci temel düşünce sadece kök bölgesinin en uygun düzeyde sulanmasıdır. Sistem sadece suyu az olan ve eğimli arazilerde değil, yüksek eğimli, dalgalı, hafif bünyeli ya da yüzlek topraklarda da emniyetle uygulanabilir [10].

Damla sulama yönteminde su basınçlı bir boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir ve damlatıcılardan düşük basınç altında toprak yüzeyine verilir. Su buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapılar kuvvetlerin etkisi ile sadece bitki köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatılır. Yani, bu yöntemde genellikle arazinin tamamı ıslatılmaz. Bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alanlar kalır. Böylece sulama suyundan önemli ölçüde tasarruf sağlanır. Fakat damla sulamada kök sistemi, damlatıcı çevresindeki küçük bir toprak hacminde yoğunlaşmaktadır [2, 3, 10, 11, 16, 19].

Damla sulama yöntemiyle daha az su uygulandığından topraktaki bitki besin maddelerinin yıkanarak derine sızması ve buna bağlı olarak, çevre kirliliği önenebilmektedir. Öte yandan yabancı otların çoğalması da engellenmiş olur. Damla sulamada, toprakta bulunan tuzlar ıslak şeridin çevresine doğru itilir ve bu bölgelerde birikir. Dolayısıyla tuzlu topraklarda da tarım yapılması mümkün olabilir. Bu yöntemle ayrıca ilaçlama yapabilmek de mümkündür [2, 14, 25].

Damla sulama yönteminde bitki için günlük su gereksinimi ( $ET_c$ ) Doorenbos ve Pruitt'in pan-buharlaşma ( $ET_p$ ) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$ET_c = ET_p \cdot K_p \cdot K_c$$

Bu denklemdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

$ET_c$  : Bitki günlük su gereksinimi ( $mm \cdot gün^{-1}$ ),

$ET_p$  : Pan sınıfı,

$A$  : Buharlaşma ( $mm \cdot gün^{-1}$ ),

$K_p$  : Pan katsayısı (Doorenbos ve Pruitt'e göre 0.8),

$K_c$  : Bitki katsayısı.

Örneğin kiraz ağaçlarının farklı büyüme evreleri için  $K_c$  bölgeye göre rüzgar hızı ve nem dikkate alınabilir.

Damla sulamada, toprak yüzeyinin sadece bir bölümü, çoğunlukla da örtülü (canopy) alan ıslatılır. Bu nedenle, fiili sulama suyunun ( $I$ ) tahmininde alan yüzdesi ( $A$  %) ve etkili yağış miktarı ( $Re$ ) dikkate alınır.

$$I = (ET_c - Re) \cdot A \cdot 10$$

Bu denklemdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

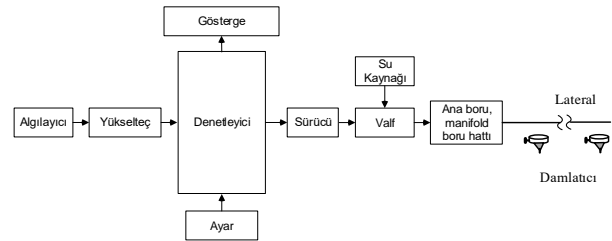
$I$  : Fiili sulama suyu ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot day^{-1}$ ),

$Re$  : Etkili yağış miktarı ( $mm \cdot gün^{-1}$ ),

Farklı sulama seviyeleri için, ( $ET_c$ ) sırasıyla 0.75 ve 0.5 ile çarpılır [15].

### 3. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM (REALISED SYSTEM)

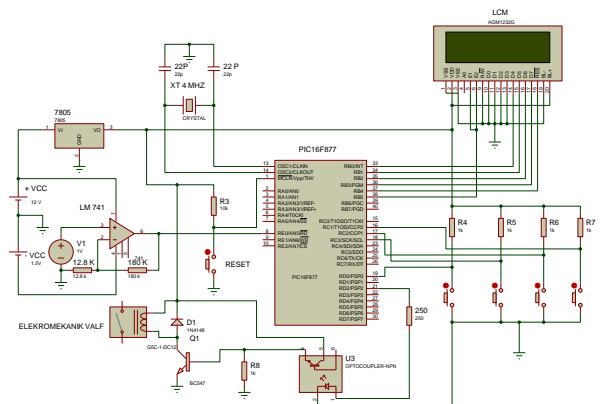
Gerçekleştirilen damla sulama sisteminde nem algılayıcı ile toprağın nem içeriği ölçülmekte ve bununla orantılı bir çıkış gerilimi üretilmektedir. Ölçülen değer bir DC yükselteç ile yükseltilerek, % 0 ve % 100 nem değerine karşılık sırası ile 0 V ve 5 V elde edilmektedir. Daha sonra denetleyicide analog/sayısal çevrime tabi tutulmakta ve elde edilen sayısal değer hem bir 2x16 karakter LCM göstergede görüntülenmekte ve hem de daha önce girilen ön ayar değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucuna göre bir sürücü ile 12V'luk bir elektromekanik valf sürülmekte ve sulama işlemi başlamakta veya tam tersi olduğunda da durmaktadır. Bu çalışmada, iklim, bitki, toprak çeşidi vb. verilere dayalı tahmini eşitliklerin kullanılarak bitki su tüketiminin saptanması ve sulama yapılması yerine, ölçüm yapılarak gerçekleştirilen doğrudan yöntem kullanılmıştır [19]. Gerçekleştirilen sistemin blok yapısı Şekil 3.1' de ve açık devresi ise Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Damla sulama sisteminin blok şeması (Block diagram of the drip irrigation system)

#### 3.1. Sistemin Donanımı (System Hardware)

Gerçekleştirilen sistemde kontrol işlemleri için Microchip firmasının bir ürünü olan PIC16F877 denetleyici entegre devresi kullanılmıştır. Sistemin açık devre şeması Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Damla sulama sisteminin açık devre şeması (Circuit diagram of the drip irrigation system)

Kontrol işlemleri için kullanılan PIC16F877 denetleyici entegre devresinin temel tercih sebepleri şöyle özetlenebilir: İlave donanım gereksinimi azdır. Analog ve sayısal giriş/çıkış portlarına sahip olup, elektriksel olarak programlanabilir. Çalışma hızı DC 20 MHz'e kadar çıkabilir. 10 bitlik A/D çeviricilere sahiptir. Bu sebeplerle donanım geliştirme açısından ve kontrol işlemlerinde insan faktörü etkileri azaltılarak otomatik yapıldığı için maliyet önemli derecede düşmektedir [10, 28, 29].

### 3.1.1. Nem algılayıcısının karakteristiğinin çıkarılması ve tekrarlanabilirlik ölçümleri (Determination of the characteristic of the moisture sensor and its repeatability measurements)

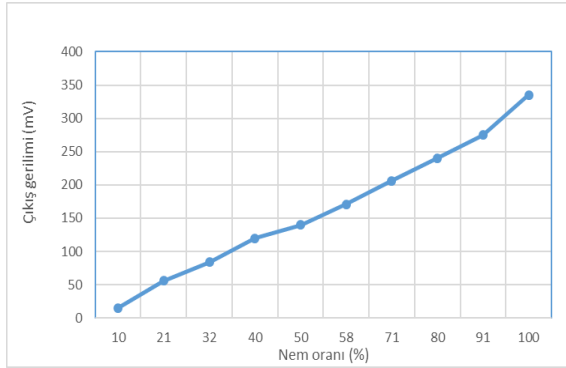
Gerçekleştirilen sistemde bitkilerin kök seviyesinde toprak nem içeriğini ölçmek için hali hazırda kullanımda

olan ama elektriksel çıkışı mevcut olmayan bir algılayıcı kullanılmıştır. Yaklaşık 90 g, 38x52x300 mm boyutlara sahip olan bu algılayıcı el ile kontrol edilen nem, ışık ve pH ölçülere sahiptir. Algılayıcının doğrudan su ile temas etmesi ve ölçme için toprakta uzun zaman tutulmaması gerekmektedir [30, 31].

Algılayıcı elektriksel çıkışa sahip olmadığı ve elektriksel olarak giriş-çıkış cevabı verilmediğinden, ölçme işlemlerinde kullanılabilmesi için öncelikle karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için aşağıda sunulan ölçümler ve güvenilirliğini belirlemek için tekrarlanabilirlik ölçümleri yapılmıştır. Ortam sıcaklığını ölçmek civalı cam termometre kullanılmıştır. Algılayıcının tekrarlanabilirlik ölçüm sonuçları Çizelge 3.1' de ve bu ölçüm sonuçlarına göre elde edilen çıkış karakteristiği ise Şekil.3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Nem algılayıcısının çıkış karakteristiği ölçümleri (Output characteristic measurements of the moisture sensor)

Ortam sıcaklığı	Nem oranı - %	10	21	32	40	50	58	71	80	91	100
23.1°C	Çıkış voltajı - mV	15	56	84	120	140	171	206	240	275	336
	Nem oranı - %	9	19	32	41	51	59	67	79	90	100
22.4°C	Çıkış voltajı - mV	13	54	83	121	143	172	195	238	276	330
	Nem oranı - %	11	22	30	39	49	60	72	79	91	100
23.2°C	Çıkış voltajı - mV	14	54	83	120	141	172	206	235	275	333

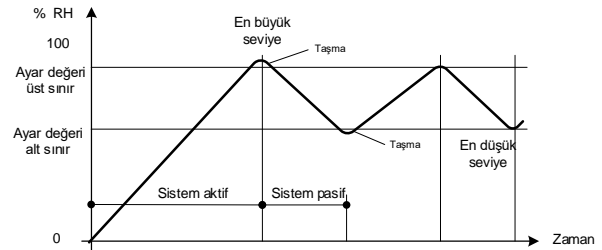


**Şekil 3.3.** Toprak nem algılayıcısının ölçülen giriş ve çıkış karakteristiği (Measured input-output characteristics of the soil moisture sensor)

Çizelge 3.1'de giriş-çıkış cevabına ait ölçümleri verilen algılayıcının tekrarlanabilirlik ölçüm sonuçlarına göre, giriş-çıkış değer değişimlerinin ölçme hataları da göz önüne alınarak makul sayılabileceği ve ölçümlerde kullanılabilmesi değerlendirilmiştir. Ayrıca ölçüm sonuçlarına göre, algılayıcının aralığın tamamında olmasa da lineer bir çıkışa sahip olduğu kabul edilebilir. Bununla birlikte yüksek nem değerlerinde duyarlılık değerinin, aralığın diğer bölgelerine oranla daha fazla olması sebebi ile çıkış geriliminin daha fazla değiştiği değerlendirilmektedir.

### 3.2. Sistemin Yazılımı (Software of the System)

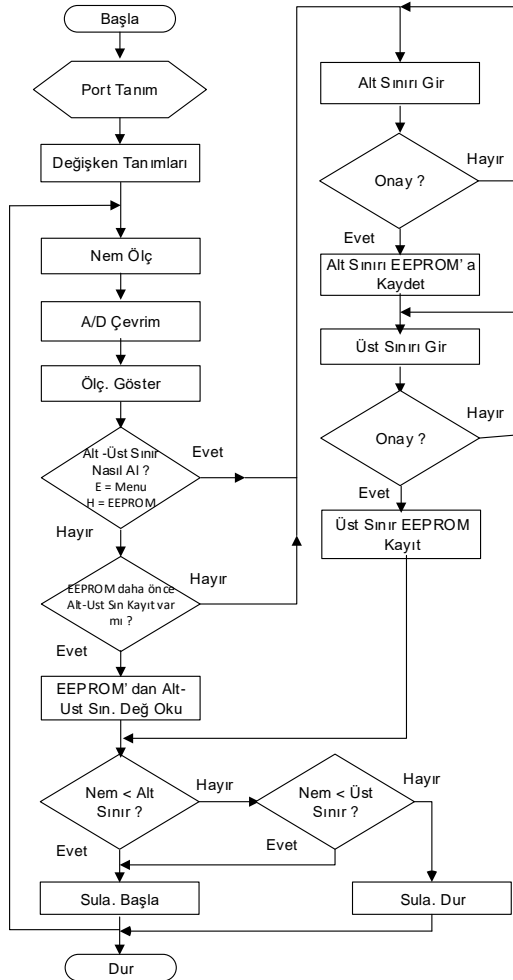
Gerçekleştirilen sistemde algılayıcı ile toprağın nem içeriği ölçülmekte ve denetleyicide ön ayar değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucuna göre sulama işlemi başlamakta veya durmaktadır. Sistemin ölçülen ve ön ayar değerlerine göre davranışı Şekil 3.4'de ve bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan yazılımın akış şeması ise Şekil 3.5'de verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Sistemin ölçülen ve ön ayar değerlerine göre davranışı (Response of system to measured and preset values)

Akış şemasına göre, başlangıç işlemlerinden sonra giriş-çıkış portları ve değişkenler tanımlanmıştır. Daha sonra ölçüm yapılmış, A/D dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş ve görüntülenmiştir. Daha sonra sınır değerlerinin nasıl belirleneceği sorgulanmıştır. Bu değerler kullanıcının tercihine göre ya bellekten okunmuş veya el ile girilerek belleğe kayıt edilmiş ve kontrol faaliyetleri buna göre gerçekleştirilmiştir. Eğer ölçülen değer alt sınırdan küçük

veya alt sınırdan büyük ve üst sınırdan küçük ise sulama başlatılmış ve durum ekranda görüntülenmiştir. Eğer ölçülen değer alt sınırdan ve üst sınırdan büyük ise sulama durdurulmuş ve durum yine ekranda görüntülenmiştir.



Şekil 3.5. Gerçekleştirilen sistemin akış şeması (Flow chart of the system)

#### 4. SAHA UYGULAMASI (EXPERIMENTS)

Tasarlanan sistem bir hassas tarım uygulaması ve ürün yetiştiriciliği uygulamasında kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen bu çalışmalar açıklanmaktadır.

##### 4.1. Çimlenme ve Fidan Aşaması (Stage of Germination and Plant)

Tasarlanan sistem biber bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmıştır. Öncelikle bitkilerin çimlendirilmesi gerekmektedir. Bu aşama saksı ortamında gerçekleştirilmiştir [25]. Bu amaçla tamamen kuru olan, toplam 688 g humuslu toprak, 1-6 arasındaki numaralar ile numaralanmış olan 6 adet şeffaf plastik saksılara, iyice karıştırılarak homojen biçimde, her birine 117 g olmak üzere eşit miktarda paylaştırılmıştır.

Başlangıç aşamasında bulunulduğundan, çimlenmenin başarısızlık ihtimali göz önüne alınarak, birisi yedek olmak üzere, her bir saksıya ikişer adet aynı anaçtan alınan tohum dikilmiştir. Bu işlem için önce her birinden 36 g toprak ayrılmış ve tohumlar saksılara konulduktan sonra üzerlerine ayrılan bu toprak eklenerek, üstleri kapatılmıştır. Daha sonra her bir saksıya 100 ml su eklenmiş ve alt drenaj deliklerinden su sızdığı gözlenerek, toprağın suya doyduğu değerlendirilmiştir. Böylece kuru olan tohumların daha fazla su alarak daha hızlı çimlenmesi hedeflenmiştir. Bu sırada, ortam şartları ölçüm günü ve saatlerine göre değişmek kaydı ile sıcaklığın tüm çimlenme periyodu boyunca 22 -31.4 °C arasında, bağıl nem değerinin ise 26.4 - 40.4 RH arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu ölçümler için civalı cam termometre, RH ölçer (HT3004) ve referans ölçü aleti olarak ise RH ölçerin dijital termometresi kullanılmıştır.

Yukarıda açıklanan toprak miktarlarında toplamda meydana gelen farkların, kayıplar ve ağırlık ölçü aletinin toleransından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bitkilerin hepsinin aynı anaçtan alınmasının nedeni, gelişmelerini etkileyebilecek olan etkenleri azaltmak içindir. Fakat önceki bölümlerde de değinildiği üzere, bitki gelişimini etkileyen parametreler çok fazladır. Bu işlemler haziran ayı içinde gerçekleştirilmiştir. Bitki gruplarına göre değişmekle birlikte, yaklaşık 3 gün sonra toprak yüzeyinde ilk çimlenme olayları gözlemlenmeye başlanmış, yaklaşık 5 gün sonra ilk yapraklar gelişmiş, yaklaşık 9 gün sonra ilk asıl yapraklar, yaklaşık 5 gün sonra ikinci yapraklar, yaklaşık 5 gün sonra ise üçüncü yapraklar belirmeye başlamış ve gelişmeler bu şekilde devam etmiştir. Bu sırada her birinin, değişen günlük şartlara bağlı olarak 5 ml ile 20 ml arasında su ihtiyacının olduğu görülmüştür. Bazı saksılardaki bitkilerin bazılarının yaklaşık 12cm boya ulaştığı gözlenmiştir. Şekil 4.1' de ise çimlenmiş ve seyreltme yapılmış olan bu biber fidanları görülmektedir.



Şekil 4.1. İlk aşamada yetiştirilen fidanların görünümü (Appearance of seedlings grown in the first stage)

##### 4.2. Fidan ve Hasat Aşaması (Stage of Plant and Harvesting)

Daha önceki aşamada yetiştirilen fidanlar, rastgele, 70x30x40 cm (uzunlukxgenişlikxderinlik) ebatlarındaki strafor malzemeden yapılmış saksıya dikilmiştir. Bunun için 10 kg kaba parçalardan arındırılmış ve ezilmiş toprak kullanılmıştır. Bitkilerin dikiminden hemen sonra, toprakta bitkiler için gerekli olandan daha fazla boşluk

kalmamasını ve dolayısı ile gerekli olandan fazla hava boşluğu kalmaması için, toprak bitki köklerine zarara vermeyecek kadar sıkıştırılmıştır. İlk aşamada bütün toprağın tamamen ıslanması sağlanacak biçimde sulama yapılmıştır. Bunun gerçekleştiği, saksının alt drenaj deliklerinden suyun sızmaya başlaması gözlenerek kontrol edilmiştir [32]. Böylece toprağın sıkıştırılmasına rağmen, geriye kalan ve gereğinden fazla olabilecek toprak ve hava boşluklarının giderilmesi yani toprağın yerleşmesi amaçlanmıştır. Bu işlem için iki litre su kullanılmıştır. İlk nakildeki bitki gelişim durumları, fidan aşamasındaki son durum olup, genel olarak bu durumda bitkiler yaklaşık 3 günde 2 yaprak daha geliştirmişlerdir. Yine aynı ölçü aletleri kullanılmış, ölçüm zamanına ve günlük olarak değişen şartlara bağlı olmakla birlikte, bu ilk şartlarda ortamda sıcaklık yaklaşık 24.6 °C ve nem %30 RH olarak ölçülmüştür. Sulama işlemleri gerçekleştirilen kontrol sistemi ile yapılmış, nem seviyesi sulama işlemlerinden sonra yaklaşık % 100 seviyelerinde tutulmuştur. Gelişim periyotları boyunca ortamda sıcaklık yaklaşık 37 °C ve nem ise %56 RH üst seviye değerlerinde ölçülmüştür.

Kullanılacak su miktarı, bitki büyüklüğü, toprak tipi ve hava şartlarına göre değişebilmektedir. Kullanılacak su miktarının hesaplanmasında aşağıdaki formüllerden faydalanılabilir. Sulama uygulamalarında ağaç taç hacmi ile su tüketimi arasında doğrusal ilişki olduğundan, bitki izdüşüm çapı 1,2 m den az olduğunda  $0,772 \times \text{Alan}$  ile hesaplanan (Lt/gün) miktarında su verilmesi tavsiye edilmekte ve bu şekilde damla sulama sisteminde salma sulama sistemine göre 1/7'si kadar daha az su kullanılabilirliği ifade edilmektedir [33, 34]. Bununla birlikte verilen alan değerleri yeni gelişen fidanlar ve küçük bitkiler için oldukça fazladır. Bu sebeplerle bitki gelişim evreleri ve mevsimi boyunca, beslenen su miktarı takip edilmeye çalışılmış ama bundan daha çok, sulamanın hedefi olan bitki solmadan, toprağın suyu kabul edebileceği oranda, yerçekimi ile akmayacak ve evapotranspirasyonu karşılayacak miktarda su sağlanmaya çalışılmıştır. Çünkü daha önce de açıklandığı gibi, bitki kök bölgesindeki küçük nem eksikliklerinin anında giderilmesi ve nemin yüksek düzeyde tutulması durumunda bitkilerde belirgin bir gelişme olmaktadır [10]. Yine de fazla nemin toprak gözeneklerini doldurması ve kök bölgesinin hava almasını engelleyerek gelişimini olumsuz yönde etkilemesini engellemek için suyun fazla verilmemesine ve drenajın iyi yapılmasına da dikkat edilmiştir [2, 10, 12, 16, 19, 26, 27].

Çizelge 4.1'de biber bitkisinin bahsedilen yaklaşık büyüme evreleri ve bu çalışmada gözlenen, genel duruma karşılık gelen evreler kıyaslamalı olarak verilmiştir. Çizelgenin oluşturulmasında bitkinin toprak yüzeyini örtme derecesi yaklaşık olarak alınmıştır. Buna göre bitkilerin verilen genel gelişim periyotlarına uygun bir gelişim gösterdiği gözlenmiştir. Ortalama olarak verilmiş olan değerlerdeki farklılıkların bitkilerin gelişimlerinin yöresel koşullara da bağlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [19]. Ayrıca Şekil 4.2'de yetiştiriciliği yapılan bitkilerin genel gelişimi ve görünümünden de

görülebileceği gibi solmamış, canlı ve homojen renkli yeşil yapraklar, bol çiçeklenme ve meyvelenme gözlenerek sağlıklı bir büyümenin gerçekleştiği değerlendirilmiştir. Ayrıca sadece kök bölgesi ıslatılarak ve yaprak ve gövde ıslatılmadığından zararlı canlılar ve böceklerin gelişmesi için uygun ortamın önüne geçilmiştir. Bütün süreç ve gelişme periyodu boyunca bu tür hiçbir zarara raslanmamıştır.

**Çizelge 4.1.** Tek yıllık bir bitki olan biber bitkisinin ortalama büyüme evreleri (Average growth stages of a single year plant, the pepper plant)

Biber	Büyüme Evresi - gün				Büyüme Mevsimi - gün
	1. Evre	2. Evre	3. Evre	4. Evre	
Genel (gün)	30	35	40	20	125
Gözlem (gün)	25	33	35	25	118

Bu arada bir kültür bitkisi olan biber bitkisinin olgunlaşma dönemine ait etkili kök derinliği 60 cm olarak verilmektedir. Bu derinlik, uygulamada kullanılan deney ortamında en büyük olabilecek olan 40 cm'den daha fazla olarak belirlenmiştir [19].



**Şekil 4.2.** Hasat aşamasına gelmiş bitkilerin görünümü (Appearance of plants at harvest stage)

Damla sulama sistemi pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hattı, lateral boru hatları ve damlatıcılardan oluşmaktadır. Şekil 4.2' de yetiştirilen bitkinin genel durumuna ilave olarak, gerçekleştirilen ve uygulanan damla sulama sisteminin unsurları görülmektedir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır:

**Su kaynağı** olarak 25 litrelik bir depo kullanılmıştır. Depo sulama yapılan bitkilerden yüksekte olduğu için yeterli işletme basıncı sağlanmış ve **pompa** kullanmaya gerek kalmamıştır. Damla sulama işleminde dinlendirilmiş şebeke suyu kullanıldığı için filtre işlemine gerek kalmamıştır. Yeterli basınç sağlandığı için basınç kontrol edilmemiştir. Bu çalışmada bitki besin maddeleri kullanılmamıştır. **Kontrol birimi** ile algılayıcıdan gelen toprak nem içeriği ile ön ayar değerlerinin alt ve üst sınırları karşılaştırılmıştır. **Ana boru hattı**, manifold boru hattı ve lateraller aynı seri hat üzerindedir. **Lateral** esnek malzemenin yapılmıştır. Küçük bir sistem olduğu için boru hattı toprak yüzeyine döşenmiştir. Lateral doğrudan ana boru hattına

bağlandığı için ve bir adet lateral olduğu için su kaynağının çıkışında bir mekanik vana ve laterale su girişini denetlemek için 12V'luk bir elektromekanik valf kullanılmıştır. **Damlaticılar** lateral borular üzerine yerleştirilmiştir. Damlaticıya ulaşana kadar suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde düştüğünden, su damlaticıdan sadece nerede ise yerçekimin etkisi ile damlalar halinde düşük debi ile çıkmakta ve toprağa infiltre olmaktadır [10, 19].

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Küresel ısınma ile birlikte, su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi yaşam için önemli bir risk haline gelmeye başladığından, suyun her türlü faaliyet alanında etkin kullanımı gerekmektedir. Bu konuda, tarım alanındaki sulama faaliyetlerinde geleneksel yöntemler yerine mekanizasyona geçilmesi ve otomatik sulama sistemlerinin kullanılması yararlı olabilir. Sulama yöntemleri arasında damla sulama sistemlerinin bazı avantajlar taşıdığı görülmektedir. Bu yöntem ile sınırlı tarım arazilerinin ve su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmaktadır. Bu yöntem hem sebze ve meyvecilikte ve hem de tarla bitkilerinin üretiminde olumlu sonuçlar vermektedir. Otomasyon uygulamalarında karmaşıklığı artırmasına rağmen, daha etkin çalışma için, ilgili bütün fiziksel büyüklüklerin doğrudan veya dolaylı etkilerinde göz önüne alınarak tahmini eşitliklerin kullanılması ile, yani bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitliklerin kullanılması vb. ile sulama işlemlerinin düzenlenmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca gerektiğinde sulama sırasında bitki besin maddelerinin verilmesi, ilaçlama ve zararlılarla mücadele edilebilmesi de mümkündür. Bu çalışmada kontrol işlemleri için bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitlikleri kullanılması yerine doğrudan ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bitkiler büyüme mevsimi boyunca kök bölgesinde yeterli nemi bulduklarında devamlı ve kararlı bir gelişime sağlandığından, toprakta suyun en küçük eksikliği hissedildiği anda, eksik kalan miktar, hızla toprağa sadece bitki kök bölgesine, az ama sık ve düzenli verilerek tamamlanmıştır. Bu amaçla öncelikle ölçme işlemleri için kullanılan algılayıcının karakteristiği belirlenmiştir. Daha sonra ölçülen fiziksel büyüklük ve sisteme girilen ön ayar değerleri kullanılarak yazılım yolu ile kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunların sonucu olarak, yetiştiriciliği yapılan biber bitkisinin ortalama büyüme evrelerine uygun ve sağlıklı bir gelişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ekimden sonraki başlangıç evresinde bitki su tüketimi en düşük değerlerde olmuştur. Daha sonra vejetatif gelişme ile orantılı olarak bu değer artmış ve gelişmenin tamamlandığı evrelerde en yüksek olmuştur. Çiçeklenmeden sonra olgunlaşma ve hasada kadar geçen sürede ise azalma olmuştur [19, 34].

Bu konuda yapılabilecek ileri çalışmalarda bitki su tüketimini etkileyen iklim, toprak ve bitki çeşidi ve gelişme evreleri, çevre, besin maddeleri ve su faktörleri

vb. parametrelerin ölçülerek göz önüne alınması ile su tüketimi hesaplamalarında kullanılabilecek düzeltilmiş ampirik eşitlikler geliştirilebilir. Bu durumda kontrol işlemleri daha karmaşık olabilir [19]. Fakat tahmini eşitliklerden ziyade bu parametreler eğitilebilen ve öğrenebilen sistemlere beslenerek daha etkin kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir. Böylece gereğinden az ya da fazla toprak nemi sağlanması, sulama aralığının uygun olmaması, sulamanın zamansız yapılması vb. durumlar engellenerek bitkilerde verim azalmasının ve su kaynaklarının gereksiz kullanımının önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Kontrol işlemlerindeki karmaşıklığa çözüm olarak ise, bahsedilen bu görevleri yerine getirebilecek olan akıllı algılayıcılar tasarlanıp geliştirilebilir. Böylece arazi üzerinde bölgesel ölçümler yapılması ana işlemcinin işlem yükünü azaltılabilir. Bu şekilde ayrıca, gerektiğinde ana işlemcide tahmin işlemlerinin yapılabilmesi ve bu işlemlerin daha etkin olabilmesi için, sahadaki bölgesel verilerin ve parametrelerin yerinde ve anlık değerlendirilmesi ve ondan sonra ana işlemciye gönderilebilmesi de mümkün olabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Turkey Water Report Q1 2015, *Published by: Business Monitor International*, ISSN 2052-7683, (2015).
- [2] Ertek A., Kanber R., "Damla sulama yönteminin pamuk sulamasında topraktaki tuz dağılımına etkileri", *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 12(2): 21-31, (2002).
- [3] Seçkin B., Şentürk N., "Damla sulama sistemi planlama esasları", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B Cilt 41 sayı: 3-4: sayfa: 1-16, (1991).
- [4] Johar R., Bensenouci A., Bensenouci M.A., "IoT based smart sprinkling system", *15th Learning and Technology Conference (L&T)*, IEEE Conferences, Pages: 147-152, (2018).
- [5] Nagothu S.K., "Weather based smart watering system using soil sensor and GSM", *2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave)*, IEEE Conferences, pages: 1-3, (2016).
- [6] Özpınar S., Çay A., "The role of agricultural mechanization in farming system in a continental climate", *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15(02): sayfa: 58-72, (2018).
- [7] Li Q., Chen Y., Zhou X., Songlie Y., "Effects of deficit irrigation and planting modes on leaves' water physiological characteristics and grain yield of winter wheat", *International Conference on New Technology of Agricultural*, pages: 305-308, (2011).
- [8] Uçak A.B., "Identification of water usage efficiency for corn (zeamays l.) lines irrigated with drip irrigation under green house conditions as per plant water stress index evaluations", *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, Turk J Agric Res*, 4(1): 1-9, (2017).
- [9] Kutlu O., Kocar G., "Biochar from residual biomass in Turkey, and possibility of return to the soil: an estimation of the supply and demand", *Polish Journal of Agronomy*, No. 30, sayfa: 10-24, (2017).

- [10] Erdoğan Onur B., “Kocaeli ili Sahil Peyzaj Dzenlemesinin Sulama Sistemi Projelendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa: 1, 3, 13-16, 31-33, Haziran 2002.
- [11] Kanber R., Ünlü M., Cakmak E.H., Tüzün M., “Irrigation systems performance: Turkey country report”, *Options méditerranéennes*, Series B, no:52, sayfa: 216-237, (2014).
- [12] Schneekloth J., Bauder T., Hansen N., “Limited Irrigation Management: Principles and Practices”, *Colorado State University*, Crop Series | Irrigation, FactSheet No: 4.720, pp:1-9, <http://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/limited-irrigation-management/principles-and-practices-4-720>, (2018).
- [13] Singh A.K., Tiwari J., Yadav A., Gupta S., “Real time autonomous irrigation module design”, *2014 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, IEEE Conferences, pages: 1209-1213, (2014).
- [14] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., “Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements”, *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome, Italy: FAO, (1998).
- [15] Dehghanisani H., Naseri A., Anyoji H., Eneji A.E., “Effects of deficit irrigation and fertilizer use on vegetative growth of drip irrigated cherry trees”, *Journal of Plant Nutrition*, 30: pp: 411-425, (2007).
- [16] Ertek A., Kanber R., “Damla sisteminde farklı sulama programlarının pamuk bitkisinin değişik toprak katmanlardaki su tüketimine ve kök gelişimine etkilerinin belirlenmesi”, *Türk J Agric*, for 24 (2000): 283-291, (2000).
- [17] Semerci A., Çelik A.D., “Hatay ilinde pamuk üretiminin fonksiyonel analizi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 78-85, (2018).
- [18] Öztürk İ., Korkut K.Z., “Ekmeklik buğday (*triticumaestivum* L)’ın farklı gelişme dönemlerinde kuraklığın verim ve verim unsurlarına etkisi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 128-137, (2018).
- [19] Güngör Y., Erözel Z., Yıldırım O., “Sulama”, Yayın no:1540, Ders Kitabı: 493, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, Ankara, (2004).
- [20] Dursun M., Özden S., “Control of soil moisture with radio frequency in a photovoltaic-powered drip irrigation system”, *Türk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci*, 23,(2): 447-458, (2015).
- [21] Yucel M., Ozturk Torun M., Yucel M., “Design and application of a fiber Bragg grating array based temperature measurement system”, *J. Fac. Eng. Archit*, Gazi Univ., 32(3): 957-964, (2017).
- [22] Yucel M., Goktas H.H., Yucel M., Ozturk N.F., Gunduz A.E., “Experimental analysis of the temperature dependence of the brillouin gain spectrum in short-length single-mode fiber”, *Türk J Elec Eng & Comp Sci*, 25(5): 3881-3891, (2017).
- [23] Burunkaya, M., “Sınırlı hacim sıcaklıkları için kullanılan termistör karakteristiğinin doğrusallaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, c:7, s:2, sayfa: 99-106, (2004).
- [24] Güler I., Burunkaya M., “Humidity control of an incubator using the microcontroller based active humidifier system employing an ultrasonic nebulizer”, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 26(2): 82-88, (2002).
- [25] Köycü N.D., Sukut F., ”Buđdayda fusarium culmorum’a ruhsatlı olmayan fungusitlerin etkisi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 26-35, (2018).
- [26] <https://www.slideshare.net/adex25/sulama-suyu-sulama-bilgisi>, (2017).
- [27] Öztürk A., “Drenaj mühendisliğinde temel kavramlar ve drenajın tarihsel gelişimi”, Ders notları, *Selçuk Üniversitesi*, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, [https://www.selcuk.edu.tr/ziraat/tarimsal\\_yapilar\\_ve\\_sulama/bolum\\_dersleri/...](https://www.selcuk.edu.tr/ziraat/tarimsal_yapilar_ve_sulama/bolum_dersleri/)  
<https://slideplayer.biz.tr/slide/2450075/>, (2018).
- [28] Burunkaya, M., Güler, I., “A microcontroller based, low cost oxygen gas controller for medical purposes”, *Instrumentation Science and Technology*, 509(527), (2006).
- [29] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/33023a.pdf>, (2017).
- [30] <https://www.conrad.com/ce/de/product/562444/Bodenmessgeraet-TFA-481000-Schwarz>, (2017).
- [31] <https://www.indiamart.com/proddetail/ph-tester-soil-water-moisture-light-test-meter-sensor-15362456691.html>, (2017).
- [32] <http://homeguides.sfgate.com/need-water-pepper-74723.html>, (2017).
- [33] TÜRKTOB, Eğirdir Bahçe Degisi, 27-06-2012, <http://www.turktob.org.tr/tr/damla-sulamada-kullanilacak-su-miktari/8474>, Hüseyin Akgül, (2017).
- [34] KOP, TEYAP, Tarımsal Eğitim ve Yayın Projesi, “Bitki su tüketimi ve su ihtiyacının belirlenmesi”, 2016, <http://kopteyap.kop.gov.tr/upload/dokumanlar/350.pdf>, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## A fuzzy MCDM approach to determine the most influential logistic factors

### *En etkili lojistik faktörleri belirlemek için bulanık bir ÇKKV yaklaşımı*

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Burak ŞENOL<sup>1</sup>, Aylin ADEM<sup>2</sup>, Metin DAĞDEVİREN<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-6418-2486

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-4820-6684

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0003-2121-597

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Şenol M.B., Adem A. and Dağdeviren M., “A fuzzy MCDM approach to determine the most influential logistic factors”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 793-800, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.586041



# En Etkili Lojistik Faktörleri Belirlemek İçin Bulanık Bir ÇKKV Yaklaşımı

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Burak ŞENOL\*, Aylin ADEM, Metin DAĞDEVİREN**

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Gazi University

(Geliş/Received : 03.04.2018 ; Kabul/Accepted : 17.06.2018)

## ÖZ

Malzeme yönetimi sanatı; lojistik işletmelerin etkinlik ve verimliliğinde önemli bir rol oynar. En etkili lojistik faktörleri belirlemek çok önemlidir; çünkü lojistik maliyetler toplam işletme maliyetinin %30'una tekabül etmektedir. Bu çalışmada lojistik firmaların başarısını etkileyen maliyet, hız, güvenilirlik, müşteri memnuniyeti, dağıtım kanalı, firma imajı, çevre dostu olma ve teknolojik yeniliklere açık olma gibi faktörler incelenmiş ve sıralanmıştır. Faktörleri sıralamak için Pisagor Bulanık (PF) kümeleri, üçgensel bulanık sayılar ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) temelinde üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Literatüre yeni girmesine rağmen, Pisagor bulanık kümeleri belirsizlik hesaplamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. AHP, F-AHP ve PF-AHP yöntemleri uygulanarak en etkili üç lojistik faktörü maliyet, hız ve güvenilirlik olarak belirlenmiştir, ancak faktör ağırlıkları farklıdır. AHP, F-AHP ve PF-AHP sonuçları arasındaki farklılıkların değerlendirmelerin kesin değerlerle yapılması, dilsel ifadelerin kullanılması ya da üyelik derecesi koşulunun sağlanıp sağlanamamasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Bunun yanında Türkiye'deki ilk 10 lojistik firma bu kriterlere göre puanlanarak sıralanmıştır. Lojistik firmaların faktörlere göre yapılan sıralarının ekonomik büyüklüklerinden farklı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik, pisagor bulanık sayılar, AHP, bulanık-AHP, ÇKKV.

## A Fuzzy MCDM Approach to Determine the Most Influential Logistic Factors

### ABSTRACT

The art of managing materials; logistics play a crucial role in efficiency and productivity of companies. It is very significant to determine most influential logistic factors since logistic costs account for 30% of total company costs. The factors affecting success of logistic enterprises such as cost, speed, reliability, customer satisfaction, distribution channel, company image, environmental friendliness and technological innovations are investigated and ranked in this study. Three different approaches based on Pythagorean Fuzzy sets, triangular fuzzy numbers and Analytic Hierarchy Process is offered for ranking these factors. Although it has been introduced to literature recently, the pythagorean fuzzy sets are widely employed in calculating uncertainty. The three most influential logistic factors are revealed as cost, speed and reliability, respectively by employing AHP, Fuzzy AHP and Pythagorean Fuzzy AHP, however factor weights are different. We think that the differences with in the AHP, F-AHP and PF-AHP results may stem from expressing evaluations in exact values, linguistic terms or in some cases it may be related to fulfilling the condition of membership and non-membership. Furthermore, top 10 logistic firms in Turkey are scored and ranked to these factors. Logistics, Pythagorean fuzzy sets, AHP, Fuzzy AHP, MCDM.

**Keywords:** Logistics, pythagorean fuzzy sets, AHP, fuzzy AHP.

### 1. INTRODUCTION

Logistics provide the efficient movement of supplies to the customers and plays a vital role in satisfying customer demands in time and at the lowest possible cost. In logistics, transportation costs, occupying more than one-third of logistic costs, influence the efficiency of whole production processes from manufacturing to delivery to final consumers and returns.

A good transportation system brings benefits to service quality and company competitiveness. Logistic costs account for 30% of the total company costs. A management perspective on logistics activities is required [1]. For that reason, it is very significant to

determine most influential logistic factors in company's supply chain operations. Here, Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods based on Pythagorean Fuzzy (PF) sets, triangular fuzzy numbers and Analytic Hierarchy Process (AHP) can be easily applied as a decision support tool to rank these factors and determine the most influential one. Utilization of PF sets in MCDM is not quite new. However, it is difficult to find a research in the literature focused on logistic factors using PF numbers, triangular fuzzy numbers and AHP. Kumru and Kumru [2] employed an AHP model in selecting the most suitable way of transportation between two given locations in Turkey for a logistic company.

Logistic activities have always enlisted interest of researchers and firms in order to improve services and reduce costs. Different approaches were offered for

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author)  
e-mail : mburaksenol@gazi.edu.tr

evaluating performance of logistic activities. Past performance records were frequently used as a single evaluation dimension, but it is not sufficient for a comprehensive evaluation [3-8]. A number of papers were determined significant logistic resources and examined their effects on logistic performance with respect to Resource-Based View (RBV) theory, which believes that the success of logistic activities is based on unique and valuable resources of companies [9-13]. The RBV theory considers company resources in two categories, which are tangible resources, e.g technology and physical resources and intangible resources, e.g. management expertise, relational and structure resources. However, large number of conflicting criteria had to be considered and analyzed in all of the aforementioned studies. Determining the most influential factors for success of logistics enterprises can be handled as an MCDM problem. Making decisions in the presence of multiple, usually conflicting, logistic criteria and finding the best option from all of the feasible alternatives is only possible with MCDM tools [14].

The purpose of this paper is to present a fuzzy analytical approach for evaluating logistic factors and companies. This paper is one of a kind on considering logistic factors as an MCDM problem which employs pythagorean fuzzy numbers and presents a holistic view. Purpose and originality of the study are explained in this section. We also briefly present the literature here.

The rest of the paper is organized as follows. Methodology of the research is presented in Section-2. AHP, F-AHP and PF sets and PF-AHP steps are briefly explained in this section with general features and basic notions. Section-3 is devoted to evaluation of logistic factors and discussions of results. Illustrative examples for the decision models together with comparative step-by-step analysis are given. The most influential logistic factors are revealed as cost, speed and reliability, respectively. The sequence of factors varies in AHP, F-AHP and PF-AHP results. The conclusions are made in Section 5 and suggestions for future work are explained.

In logistics, main cost is the payments made for the transportation between two points that may be affected by site of the company. Another criterion to be considered for success of logistics is speed related to duration between two sites where materials are transported. Consistently meeting promised delivery times and fulfilling service requirements for shipper's consignments determines the reliability of logistic services. Considering transportation modes, reliability is good for highway and railway and it is related to flexibility [15]. Offering convenient schedules or allowing to non-specific extra pick-up and deliveries, determines the flexibility of transportation modes and logistic enterprises.

Satisfying customer demands in time and at the lowest possible cost is one of the main objectives of logistics. Customer satisfaction is greatly affected by distribution channels, which are highway, railway, waterway, pipeline and airway. They have different advantages as well as disadvantages in terms of reduced cost, increased agility and service. Air quality, reducing greenhouse gas emissions, noise, waste are the issues concerned with environmental friendliness. Due to aforementioned explanations factors such as cost, speed, reliability, customer satisfaction, distribution channel, company image, environmental friendliness, being open-minded to technological innovations (industry 4.0 applications, etc.) are selected for evaluation. In this study a fuzzy MCDM approach based on PF sets, triangular fuzzy numbers and AHP is presented to evaluate logistic factors and rank logistic enterprises.

Yager introduced pythagorean fuzzy sets to the literature, since in some cases, intuitionistic fuzzy sets unable to capture the condition for degrees of membership and non-membership greater than 1 [16]. Pythagorean fuzzy sets are employed in many different applications. Yücesan and Kahraman (2019) employed PF-AHP for risk assessment in hydroelectric power plants [17]. Gül and Ak, (2018) calculated the importance levels of parameters by a  $5 \times 5$  matrix method with the help of the PF-AHP [18].

İlbarhar et al. (2018), proposed an integrated risk assessment approach which includes Pythagorean Fuzzy Proportional Risk Assessment, Fine Kinney, PF-AHP and a fuzzy inference system [19]. They applied this approach to the risks of an excavation process in a construction yard. Karasan et al (2018) proposed a new PF-AHP for site selection [20]. Mete (2018) stated that pythagorean fuzzy sets cover vagueness in a more suitable way and proposed an FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under pythagorean fuzzy sets for assessing occupational risks in a natural gas pipeline construction project [21]. Gül (2018) developed a two-phase approach for risk assessment which includes PF-AHP and Fuzzy VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (F-VIKOR) [22]. Gül (2018) evaluated a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit with this method [22]. PF numbers were integrated with various MCDM techniques, e.g. TOPSIS [23-25], VIKOR [26, 27] PROMETHEE [28] and CODAS [29] in the literature.

**Table 1.** Linguistic Scale [43]

Linguistic scale for importance	Triangular fuzzy scale
Just equal (JE)	(1, 1, 1)
Equally important (EI)	(1/2, 1, 3/2)
Weakly more important (WMI)	(1, 3/2, 2)
Strongly more important (SMI)	(3/2, 2, 5/2)
Very strongly more important (VSMI)	(2, 5/2, 3)
Absolutely more important (AMI)	(5/2, 3, 7/2)

**2.MATERIAL and METHOD**

**2.1. AHP and Fuzzy AHP**

AHP was developed by Thomas L. Saaty in 1977 to solve complex multi criteria decision making problems [30]. AHP was employed to problems in various areas, such as aviation [31-33], equipment and supplier selection [34-35], energy [36-38], investment [39], facility planning [40] and agriculture [41]. However, decision makers feel more comfortable when they express their evaluation in linguistic terms in place of exact values during decision-makings [42]. Fuzzy numbers can be explained with the confidence interval and are defined over a fuzzy subset of real numbers. In this study, the triangular fuzzy numbers in Table 1 were used during the evaluations [43].

Factor weights were determined by taking geometric means and alpha-cut method was employed for the defuzzification of fuzzy numbers.

**2.2. Pythagorean Fuzzy Sets and PF- AHP**

Three basic representations for pythagorean membership grades are provided in the related literature [16]. The first representation of PF membership is  $(a, b)$  satisfying the conditions that  $a \in [0, 1], b \in [0, 1]$  and  $a^2 + b^2 \leq 1$ .

The second one is the polar coordinates  $(r, \theta)$  satisfying conditions that  $r \in [0, 1]$  and  $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ . Finally, last representation of PF membership grade is  $(r, d)$  close to the second one satisfying the conditions that  $r \in [0, 1]$ .

$\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$  and  $d = 1 - \frac{2\theta}{\pi}$ . Their relationship is

that  $a^2 + b^2 = r^2, a = r \cos(\theta), b = \sin(\theta)$ .

A fuzzy subset having these pythagorean membership grades referred as a PFS by Yager [16].

A PFS is defined as follows.

$$\tilde{P} = \left\{ x, P(\mu_p(x), v_p(x)) \mid x \in X \right\}, \tag{1}$$

where the function  $\mu_p : X \rightarrow [0, 1]$  defines the degree of membership and  $v_p : X \rightarrow [0, 1]$  defines the degree of

non-membership of the element  $x \in X$  to P respectively and for every  $x \in X$  it holds that

$$0 \leq (\mu_p(x))^2 + (v_p(x))^2 \leq 1 \tag{2}$$

For any PFS and  $\tilde{P} \ x \in X, \pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p^2(x) - v_p^2(x)}$  is called the degree of indeterminacy of  $x$  to  $\tilde{P}$ .

Given three PFNs  $P_1 = P(\mu_{p_1}, v_{p_1}), P_2 = P(\mu_{p_2}, v_{p_2})$  and  $P = P(\mu_p, v_p)$

Yager defined the basic operations on them which can be described as follows [16]:

$$P_1 \cup P_2 = P \left\{ \max \{ \mu_{p_1}, \mu_{p_2} \}, \min \{ v_{p_1}, v_{p_2} \} \right\}. \tag{3}$$

$$P_1 \cap P_2 = P \left\{ \min \{ \mu_{p_1}, \mu_{p_2} \}, \max \{ v_{p_1}, v_{p_2} \} \right\}. \tag{4}$$

Some mathematical operators for PFNs are defined as follows.

$$\tilde{P}_1 \oplus \tilde{P}_2 = P \left( \sqrt{\mu_{p_1}^2 + \mu_{p_2}^2 - \mu_{p_1}^2 \mu_{p_2}^2}, v_{p_1}, v_{p_2} \right) \tag{5}$$

$$\tilde{P}_1 \otimes \tilde{P}_2 = P \left( \mu_{p_1}, \mu_{p_2}, \sqrt{v_{p_1}^2 + v_{p_2}^2 - v_{p_1}^2 v_{p_2}^2} \right). \tag{6}$$

$$\lambda \tilde{P} = P \left( \sqrt{1 - (1 - \mu_p^2)^\lambda}, (v_p)^\lambda \right), \lambda \geq 0 \text{ and } \lambda \in R. \tag{7}$$

Zhang and Xu (2014) defined the Euclidean distance between two PFNs as in the following equation [44]:

$$d(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2) = \frac{1}{2} \left( \left| \mu_{p_1}^2 - \mu_{p_2}^2 \right| + \left| v_{p_1}^2 - v_{p_2}^2 \right| + \left| \pi_{p_1}^2 - \pi_{p_2}^2 \right| \right) \tag{8}$$

The Taxicab distance between two PFSs is defined by equation below;

$$T(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2) = \left( \left| \mu_{p_1} - \mu_{p_2} \right| + \left| v_{p_1} - v_{p_2} \right| + \left| \pi_{p_1} - \pi_{p_2} \right| \right). \tag{9}$$

Let  $p_1 = (\mu_1, v_1)$  and  $p_2 = (\mu_2, v_2)$  be two Pythagorean fuzzy number and  $\rho > 0$ . The following operations are presented for Pythagorean fuzzy number [44, 45]

$$\tilde{P}_1 \circ \tilde{P}_2 = P \left( \sqrt{\frac{\mu_1^2 - \mu_2^2}{1 - \mu_2^2}}, \frac{v_1}{v_2} \right) \text{ if } \mu_1 \geq \mu_2, v_1 \leq \min \left\{ v_2 \frac{v_2 \pi_1}{\pi_2} \right\} \quad (10)$$

$$\frac{\tilde{P}_1}{\tilde{P}_2} = \left( \frac{\mu_1}{\mu_2}, \sqrt{\frac{v_1^2 - v_2^2}{1 - v_2^2}} \right) \text{ if } \mu_1 \leq \min \left\{ \mu_2 \frac{\mu_2 \pi_1}{\pi_2} \right\}, v_1 \geq v_2 \cdot (11)$$

Pythagorean fuzzy sets can be defined as the general form of the intuitionistic fuzzy sets in which intuitionistic fuzzy sets cannot handle the ambiguity of data [31].

**Definition (1)** Let a set X be a universe of discourse. A Pythagorean fuzzy set P is an object having the form [22]:

$P = \{ \langle x, P(\mu_p(x), v_p(x)) \rangle \mid x \in X \}$  where

$\mu_p(x) : X \rightarrow [0, 1]$  degree of membership

$v_p(x) : X \rightarrow [0, 1]$  degree of non-membership

of the element  $x \in X$  to P. For every  $x \in X$ , the following holds:  $0 \leq \mu_p(x)^2 + v_p(x)^2 \leq 1$

Steps of PF-AHP: These steps are taken from Gül (2018)'s paper [22]:

**Step 1.** Pairwise comparison matrix  $A = (a_{ik})_{m \times m}$  is determined with respect to the linguistic evaluations of experts using the scale offered by Ilbahar et al [19].

**Step 2.** The difference matrixes  $D = (d_{ik})_{m \times m}$  between the lower and upper values of the membership and non-membership functions are revealed by employing Eq. (12) and (13).

$$d_{ikL} = \mu_{ikL}^2 - v_{ikU}^2 \quad (12)$$

$$d_{ikU} = \mu_{ikU}^2 - v_{ikL}^2 \quad (13)$$

**Step 3.** The interval multiplicative matrix  $S = (s_{ik})_{m \times m}$  is found with respect to Eq.(14) and Eq.(15):

$$S_{ikL} = \sqrt{1000^{d_{ikL}}} \quad (14)$$

$$S_{ikU} = \sqrt{1000^{d_{ikU}}} \quad (15)$$

**Step 4.** The determinacy value  $\tau = (\tau_{ik})_{m \times m}$  is determined with the help of Eq. (16)

$$\tau_{ik} = 1 - (\mu_{ikU}^2 - \mu_{ikL}^2) - (v_{ikU}^2 - v_{ikL}^2) \quad (16)$$

**Step 5.** The determinacy degrees are multiplied with  $S = (s_{ik})_{m \times m}$  matrix weights  $T = (t_{ik})_{m \times m}$  using Eq.(17) :

$$t_{ik} = \left( \frac{S_{ikL} + S_{ikU}}{2} \right) * \tau_{ik} \quad (17)$$

**Step 6.** Each normalized priority weight  $w_i$  is calculated by using Eq. 18.

$$w_i = \sum_{k=1}^m t_{ik} / \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik} \quad (18)$$

The readers who wants to learn more information about AHP, fuzzy AHP and Pythagorean fuzzy AHP can benefit from [19, 22] respectively.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

In this part of the study, evaluation matrices and results of the applied methods are given in Table 2, Table 3 and Table 4 respectively. The criteria handled in this study are cost (C1), speed (C2), reliability (C3), customer satisfaction (C4), distribution channel (C5), company image (C6), environmental friendliness (C7), technological innovations and logistic 4.0 (C8).

The method followed in F-AHP can be briefly defined as employing geometric means of the rows and the alpha-cut method for the defuzzification.

Results of Fuzzy AHP and weightst are presented in Table 2. The most important criterion is revealed to be reliability (C3) with respect to F-AHP results. The sequence of most influential logistic factors to F-AHP is presented in Table 2 as reliability (C3), speed (C2), cost (C1), customer satisfaction (C4), distribution channel (C5), company image (C6), technological innovations and logistic 4.0 (C8) and environmentally friendliness (C7).

**Table 2.** Results of F-AHP

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Weights
C1	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)	(2,5/2,3)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	0,176
C2		(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(5/2,3,7/2)	(5/2,3,7/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	0,181
C3			(1,1,1)	(5/2,3,7/2)	(5/2,3,7/2)	(2/5,1/2,2/3)	(5/2,3,7/2)	(3/2,2,5/2)	0,192
C4				(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	0,109
C5					(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	0,100
C6						(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	0,091
C7							(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	0,073
C8								(1,1,1)	0,078

The logistic experts prepared PF-AHP decision matrix with respect to Ilbahar's scale [19]. This table is required to employ PF-AHP steps. Pairwise comparisons between the criteria can be seen at the decision Matrix in Table 3, which is generated using the Ilbahar's scale of PF AHP.

The PF-AHP results, which were gained by applying PF-AHP steps described in Section 2, are presented in Table 4. The most important criterion is revealed to be reliability (C3) with respect to PF-AHP results. The sequence of most influential logistic factors to PF-AHP is presented in Table 4 as reliability (C3), speed (C2), cost (C1), customer satisfaction (C4), technological innovations and logistic 4.0 (C8), distribution channel (C5), company image (C6) and environmentally friendliness (C7).

AHP and PF-AHP. Table 5 illustrates the comparative results of three applied methods; e.g. AHP, F-AHP and PF-AHP. The first three criteria are the same in all methods: cost, speed, and reliability, though the orders of first and third criteria in AHP (cost, speed and reliability) are different from F-AHP and PF-AHP (reliability, speed and cost).

The sequence of most influential logistic factors to AHP is cost (C1), speed (C2), reliability (C3), customer satisfaction (C4), company image (C6), distribution channel (C5), technological innovations and logistic 4.0 (C8) and environmentally friendliness (C7) in Table 5. The sequence of most influential logistic factors to F-AHP is reliability (C3), speed (C2), cost (C1), customer satisfaction (C4), distribution channel (C5), company

**Table 3.** Decision Matrix for PF-AHP

	C1	C2	C3	C4
C1	(0.196,0.1965),(0.196,0.196)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.20, 0.35),(0.65,0.80)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)
C2	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.196,0.196),(0.196,0.196)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.55,0.65),(0.35,0.45)
C3	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.196,0.1965),(0.1965,0.196)	(0.9,1),(0,0)
C4	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0,0),(0,9,1)	(0.196,0.196),(0.196,0.196)
C5	(0,0),(0,9,1)	(0,0),(0,9,1)	(0,0),(0,9,1)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)
C6	(0.10,0.20),(0.8,0.9)	(0,0),(0,9,1)	(0.35,0.45),(0.55,0.65)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)
C7	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0,0),(0,9,1)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)
C8	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.35,0.45),(0.55,0.65)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)
	C5	C6	C7	C8
C1	(0.9,1),(0,0)	(0.8,0.9),(0.10,0.20)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)
C2	(0.9,1),(0,0)	(0.9,1),(0,0)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)
C3	(0.9,1),(0,0)	(0.55,0.65),(0.35,0.45)	(0.9,1),(0,0)	(0.55,0.65),(0.35,0.45)
C4	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)
C5	(0.196,0.196),(0.196,0.196)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)
C6	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.196,0.196),(0.196,0.196)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)
C7	(0.20,0.35),(0.65,0.80)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.196,0.196),(0.196,0.196)	(0.20,0.35),(0.65,0.80)
C8	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.45,0.55),(0.45,0.55)	(0.65,0.80),(0.20,0.35)	(0.196,0.196),(0.196,0.196)

Results of three applied methods; including AHP, F-AHP and PF-AHP, are investigated. The logistic factors (e.g. C1-C8) are compared with respect to results of AHP, F-

image (C6), technological innovation and logistic 4.0 (C8) and environmentally friendliness (C7) in Table 5.

**Table 4.** Results of PF-AHP

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Weights
C1	1,000	0,848	0,161	3,766	19,448	9,512	3,766	3,766	0,213
C2	0,848	1,000	0,848	1,688	19,448	19,447	3,766	3,766	0,257
C3	3,766	0,848	1,000	19,448	19,448	1,408	19,448	1,688	0,339
C4	0,073	0,424	0,032	1,000	0,848	0,848	3,766	3,766	0,054
C5	0,032	0,032	0,032	0,848	1,000	3,766	3,766	0,161	0,049
C6	0,068	0,032	0,424	0,848	0,161	1,000	0,848	0,848	0,021
C7	0,161	0,161	0,308	0,161	0,161	0,848	1,000	0,161	0,015
C8	0,161	0,161	0,424	0,161	3,766	0,848	3,766	1,000	0,052

**Table 5.** Comparative Analysis of different linguistic scales

Weights	AHP	F-AHP	PF-AHP	Order	AHP	F-AHP	PF-AHP
W <sub>1</sub>	<b>0,282</b>	<b>0,176</b>	<b>0,213</b>	1	1	3	3
W <sub>2</sub>	<b>0,219</b>	<b>0,181</b>	<b>0,257</b>	2	2	2	2
W <sub>3</sub>	<b>0,183</b>	<b>0,192</b>	<b>0,339</b>	3	3	1	1
W <sub>4</sub>	0,090	0,109	0,054	4	4	4	4
W <sub>5</sub>	0,063	0,100	0,049	5	6	5	6
W <sub>6</sub>	0,074	0,091	0,021	6	5	6	7
W <sub>7</sub>	0,039	0,073	0,015	7	8	8	8
W <sub>8</sub>	0,050	0,078	0,052	8	7	7	5

The sequence of most influential logistic factors to PF-AHP is reliability (C3), speed (C2), cost (C1), customer satisfaction (C4), technological innovation and logistic 4.0 (C8), distribution channel (C5), company image (C6) and environmentally friendliness (C7) in Table 5..

The top 10 logistic firms (A1-A10) in Turkey are scored, compared and ranked with respect to most influential logistic factors and PF-AHP weights. We employ the PF-AHP weights to rank the logistic firms, because PF-AHP captures the condition for degrees of membership and non-membership greater than 1.

Table 6 illustrates the comparison of logistic firms. We didn't mention the name of logistic firms that are compared due to commercial reasons. Considering most influential logistic factors, rank of logistic firms are (e.g. A6, A7, A9, A4, A10, A2, A1, A8, A5 and A3) different than their economic magnitudes (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10).

**4 CONCLUSION AND FUTURE REMARKS**

Logistic activities have focused on improving services and reducing costs. Research results corroborate this since most significant three criteria are revealed as cost; speed and reliability are in line with this objective in all methods, which are AHP, F-AHP, PF-AHP. We think that the differences with in the AHP, F-AHP and PF-AHP results may stem from expressing evaluation in exact values, linguistic terms or in some cases it may be

related to fulfilling the condition for degrees of membership and non-membership.

Our suggestions for future work is evaluating and comparing the same; e.g. top 10 logistic firms in Turkey with respect to each criterion with a F-MCDM approach based on Pythagorean fuzzy sets. After that F-MCDM evaluation results can be compared with the scoring results gathered in this study.

**NOMENCLATURE**

**AHP:** Analytic Hierarchy Process

**F-AHP:** Fuzzy Analytic Hierarchy Process

**FMEA:** Failure Mode Effect Analysis

**MCDM:** Multi Criteria Decision Making

**MOORA:** Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis

**PF:** Pythagorean Fuzzy

**PFS:** Pythagorean Fuzzy Sets

**PFN:** Pythagorean Fuzzy Numbers

**PF-AHP:** Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process

**PROMETHEE:** The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

**TOPSIS:** Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

**Table 6.** Comparative Analysis of different logistic firms

Criteria	Weights	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
<b>C1</b>	0.213	80	60	75	85	65	70	85	75	95	90
<b>C2</b>	0.257	75	90	85	65	60	75	80	50	60	70
<b>C3</b>	0.339	65	65	40	75	70	90	65	75	70	65
<b>C4</b>	0.054	50	45	50	85	80	75	70	65	60	50
<b>C5</b>	0.049	95	90	70	75	85	85	90	95	95	85
<b>C6</b>	0.021	50	55	60	55	45	60	50	70	50	60
<b>C7</b>	0.015	20	45	45	60	50	60	85	75	60	55
<b>C8</b>	0.052	30	50	40	30	60	50	45	55	65	50
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>68.6</b>	<b>69.2</b>	<b>61.5</b>	<b>72.1</b>	<b>66.2</b>	<b>77.6</b>	<b>73.5</b>	<b>67.8</b>	<b>72.6</b>	<b>70.7</b>

**RBV:** Resource-Based View

**F-VIKOR:** Fuzzy VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje,

## REFERENCES

- [1] Hensher, D. and Brewer, A., "Transport: An Economics and Management Perspective", *Oxford University Press*, UK (2000).
- [2] Kumru, M. and Kumru, P.Y., "Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company" *J. Adv. Transp.* 48: 974–999, (2014).
- [3] Du, B., Guo, S., Huang, X., Li, Y. and Guo, J., A "Pareto supplier selection algorithm for minimum life cycle cost of complex product system", *Exp. Sys. with Appl.*, 42: 4253–4264, (2015).
- [4] Lai, K.-H., Ngai, E. W. T. and Cheng, T. C. E., "Measures for evaluating supply chain performance in transport logistics", *Transp. Res. Part E Log. and Transp. Rev.*, 38:439–456, (2002).
- [5] Liu, C.L. and Lyons, A. C., "An analysis of third-party logistics performance and service provision", *Transp. Res. Part E Log. and Transp. Rev.*, 47(4): 547–570, (2011).
- [6] Moghaddam, K. S., "Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty", *Exp. Sys. with Appl.*, 42:6237–6254, (2015).
- [7] Rezaei, J., Fahim, P. and Tavasszy, L., "Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP", *Exp. Sys. with Appl.*, 41: 8165–8179, (2014).
- [8] Straight, R. L., "Measuring contractors' performance", *J. Sup.Chain Manag.*, 35(1):18–28, (1999).
- [9] Wernerfelt, B., "A resource-based view of the firm", *Strat. Manag. J.*, 5: 171–180, (1984).
- [10] Barney, J., "Firm resources and sustained competitive advantage", *J. Manag.*, 17(1): 99–120, (1991)
- [11] Hartmann, E. and Grahl, A. D., "The flexibility of logistics service providers and its impact on customer loyalty: an empirical study", *J. Sup. Chain Manag.*, 47: 63–85, (2011)
- [12] Hunt, S. D., "Commentary – a general theory of competition: Issues, answers and an invitation", *Euro. J. Market.*, 35: 524–548 (2001)
- [13] Lai, F., Li, D., Wang, Q., and Zhao, X., "The information technology capability of third-party logistics providers: A resource-based view and empirical evidence from China", *J. Sup. Chain Manag.*, 44: 22–38, (2008)
- [14] Karia, N. and Wong, C. Y., "The impact of logistics resources on the performance of Malaysian logistics service providers", *Manag. Oper.*, 24(7): 589–606 (2013)
- [15] Churchman C.W., Ackoff R.L. and Arnoff E.L., "Introduction to Operations Research", *John Wiley & Sons*: New York (USA), (1957)
- [16] Yager, R., "Pythagorean membership grades in multi criteria decision making", *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 22(4): 958-965 (2014).
- [17] Yucesan, M. and Kahraman, G., "Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP", *Energy Policy*, 343-351, (2019)
- [18] Gul, M. and Ak, M.F., "A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment", *J. Clean. Prod.*, 196: 653-664, (2018)
- [19] Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S. and Kahraman, C., "A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system", *Safety Science*, 103: 124-136, (2018)
- [20] Karasan, A., Ilbahar, E. and Kahraman, C. "A novel pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem", *Soft Comput.*, article in press, (2018)
- [21] Mete, S., "Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment", *Hum. Ecol. Risk Assess.*, article in press, (2018)
- [22] Gul, M., "Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and coloring unit", *Int. J. Occup. Safety and Ergon.*, 1-15, (2018)
- [23] Wang, L., Wang, H., Xu, Z. and Ren, Z., "The interval-valued hesitant Pythagorean fuzzy set and its applications with extended TOPSIS and Choquet integral-based method" *Int. J. Intel. Sys.*, 34(6): 1063-1085, (2019)
- [24] Liang, D. and Xu, Z., "The new extension of TOPSIS method for multiple criteria decision making with hesitant Pythagorean fuzzy sets", *Appl. Soft Comp. J.*, 60:167-179, (2017)
- [25] Garg, H., "A new improved score function of an interval-valued pythagorean fuzzy set based topsis method" *Int. J. Uncer. Quant.*, 7(5): 463-474, (2017)
- [26] Liang, D., Zhang, Y., Xu, Z. and Jamaldeen, A., "Pythagorean fuzzy VIKOR approaches based on TODIM for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry", *Appl. Soft Comp. J.*, 78: 583-594, (2019)
- [27] Cui, F. B., You, X. Y., Shi, H. and Liu, H.C., "Optimal siting of electric vehicle charging stations using pythagorean fuzzy vikor approach", *Math. Prob. in Eng.*, (2018)
- [28] Zhang, Z.X., Hao, W. N., Yu, X. H., Zhang, S. J. and Chen, J.Y., "Pythagorean fuzzy preference ranking organization method of enrichment evaluations", *Int. J. Intel. Sys.*, article in press, (2019)
- [29] Bolturk, E., "Pythagorean fuzzy CODAS and its application to supplier selection in a manufacturing firm", *J. Enterp. Infor. Manag.*, 31(4): 550-564, (2018)
- [30] Saaty, T. L., "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *Euro. J. Oper. Res.*, 48: 9-26, (1970)
- [31] Şenol, M.B., Dağdeviren, M., Kurt, M. and Çilingir, C., "Evaluation of cockpit design by using quantitative and qualitative tools", *IEEE Int. Conf. on Ind. Eng. and Eng. Manag.*, 847-851, (2009).
- [32] Şenol, M.B., Dağdeviren, M., Kurt, M. and Çilingir, C., "Display panel design of a general utility helicopter by applying quantitative and qualitative approaches", *Hum. Fact. Ergon. in Manuf.*, 20 (1): 73-86, (2010).
- [33] Şenol, M.B., Dağdeviren, M. and Kurt, M., "A multi criteria approach for aircraft cockpit interface evaluation", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 28 (4): 685-693, (2013)

- [34] Dağdeviren, M., "Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE", *J. Intel. Manuf.*, 19: 397-406, (2008)
- [35] Dağdeviren, M, Eren, T., "Analytic hierarchy process and use of 0-1 goal programming methods in selecting supplier firm", *J. Fac. Eng. Archit., Gazi Univ. Cilt* 16, 41-52, (2001)
- [36] Bozdağ, C.E., Kahraman, C. and Ruan, D., "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems", *Comp. Ind.*, 5: 13-29, (2003)
- [37] Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C. and Ruan, D., "Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach", *Int. J. Intel. Syst.*, 19: 443-461, (2004)
- [38] Xiaohua, W. and Zhenmin, F., "Sustainable development of rural energy and its appraising system in China", *Renew. Sustain. Energ.*, 6: 395-404, (2002)
- [39] Yedla, S. and Shresta, R.M., "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi", *Transp. Res.*, 37: 717-729, (2003)
- [40] Aras, H., Erdogmus, S. and Koc, E., "Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process", *Renew. Energ.*, 29: 1383-1392, (2004)
- [41] Tolga, E, Demircan, M.L., and Kahraman, C., "Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process", *Int. J. Prod. Econ.*, 97: 89-117, (2005)
- [42] Kim, P. P., Lee K. J. and Lee B.W., "Selection of an optimal nuclear fuel cycle scenario by goal programming & analytic hierarchy process", *Ann. of Nucl. Energy*, 26: 449-460, (1999)
- [43] Topraklı, A. Y., Kabak, M., Özceylan, E. and Adem, A., "Prioritization of mosque facility site selection criteria under fuzzy environment", *13. Int. Conf. on Theory and Appl. of Fuzzy Sys. Soft Comp.*, (2018)
- [44] Zhang, X. and Xu, Z., "Extension of topsis to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets" *Int. J. Intel. Syst.*, 1061-1078, (2014)
- [45] Peng, X. and Yong, Y., "Some results for pythagorean fuzzy sets" *Int. J. Intel. Syst.*, 1133-1160, (2014)